

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

# **THÈSE DE DOCTORAT**

En Sciences Agronomiques

**ÉTUDE D'ÉVALUATION DE BIOFERTILISANT SUR LE  
DÉVELOPPEMENT ET L'AGRÉSSIVITÉ DE  
*MELOIDOGYNE SPP.* DES CULTURES MARAÎCHÈRES**

Par

**Fadhéla SAFIDDINE BAH**

Devant le jury composé de :

S.A. SNOUSSI	Professeur	U. Blida 1	Président
Z.E. DJAZOULI	Professeur	U. Blida 1	Directeur de thèse
D. NEBIH	MCA	U. Blida 1	Co-directeur de thèse
M. BAHA	Professeur	ENS Kouba	Examinatrice
M. BICHE	Professeur	ENSA El Harrach	Examineur
S. OUKIL	MCA	INRAA Alger	Examineur

**Blida, Mars 2021**

**RÉSUMÉ**

## ÉTUDE D'ÉVALUATION DE BIOFERTILISANT SUR LE DÉVELOPPEMENT ET L'AGRÉSSIVITÉ DE *MELOIDOGYNE SPP.* DES CULTURES MARAÎCHÈRES

Les nématodes à galles du genre *Meloidogyne* constituent un facteur limitant à la production des cultures maraîchères. La lutte chimique est la méthode la plus utilisée contre ces ravageurs. L'utilisation des biopesticides, notamment d'origine végétale et animal, est une méthode qui contribue à assainir l'environnement et à protéger les cultures. Nous avons entrepris cette étude afin d'évaluer d'une part l'effet de différents biofertilisants d'origine animale et végétale sur la régulation des populations de *Meloidogyne spp.* et d'autre part leur effet biostimulant sur le développement des plants de tomate var. *marmande*. Les produits ont été appliqués comme des amendements organiques apportés au sol selon deux doses : la doses D1 est de 4,98 g et la demi-dose (D2) est 2,49g /pot. Les expérimentations ont été réalisées dans des conditions semi contrôlées (en pots plastiques et sous abri serre) pendant une durée de 45 jours. Les paramètres étudiés relatifs à l'expression végétative sont : la croissance en longueur, le poids racinaire et aérien ainsi que la production florale des plants de tomate. Les résultats ont montré que les amendements organiques d'origine végétale ont favorisé les paramètres de croissance considérés, et semblent plus efficaces que ceux d'origine animale. Les feuilles fraîches et sèches d'*Urginea maritima* et les grignons frais ont montré les croissances les plus élevées, par contre pour les amendements d'origine animale c'est le lombricompost frais et la chitine de crevette qui ont favorisé la croissance en longueur. De même les poids racinaire et aérien ont été favorisés par les grignons d'olive frais et les différents types d'algues marines appliquées, et pour les amendements d'origine animale le lombricompost frais et sec ainsi que la chitine de crevette étaient les plus efficaces. Cependant, les mêmes résultats révèlent l'effet biofertilisant de la majorité des amendements organique appliqués sur la production florale avec un effet plus marqué en faveur des biofertilisants d'origine animale par rapport aux biofertilisants d'origine végétale.

Concernant les paramètres liés au développement des *Meloidogyne spp.*, les résultats relatifs au degré d'infestation, au développement des adultes, à la

fécondité des femelles et à la fertilité des œufs, ont montré que l'ensemble des biofertilisants avaient un effet très satisfaisant par comparaison au témoin. Contrairement à l'expression végétative des plants de tomate, les amendements organiques d'origine animale s'avèrent les plus efficaces envers la régulation des populations de *Meloidogyne spp.*

Quant à l'effet de la dose, les résultats ont montré une différence non significative entre les deux doses appliquées.

**Mots clés :**

Amendement organique d'origine animale, amendement organique d'origine végétale, Tomate *Var. Marmande*, *Meloidogyne*, Stimulant, contrôle.

## **ABSTRACT**

### **BIOFERTILIZER EVALUATION STUDY ON THE DEVELOPMENT AND AGGRESSIVITY OF *MELOIDOGYNE SPP.* OF VEGETABLE CROPS.**

Galls nematodes of the genus *Meloidogyne* are a limiting factor in the production of vegetable crops. Chemical control is the most widely used method against these pests. The use of biopesticides, particularly of plant and animal origin, is a method that contributes to a healthier environment and crop protection. We undertook this study in order to evaluate, on the one hand, the regulating effect of different biofertilizers of animal and plant origin on *Meloidogyne spp.* populations and, on the other hand, to estimate their biostimulant effect on the development of tomato plants var. *marmande*. The products were applied as organic soil improvers at two doses: the D1 dose is 4.98 g and the half-dose (D2) is 2.49g /pot. The experiments were carried out under semi-controlled conditions (in plastic pots and under greenhouse cover) for a period of 45 days. The parameters studied in relation to vegetative expression are: growth in length, root and aerial weight as well as the floral production of tomato plants. The results showed that organic amendments of plant origin favored the growth parameters considered, and seem to be more effective on growth in length than those of animal origin; however the effect on the rest of the growth parameters studied both types of amendments showed a convergent effect. Fresh sage, fresh pomace and fresh Urginea leaf showed the highest growths, whereas for animal-based soil improver's fresh vermicompost and shrimp chitin favoured growth in length. Similarly, root and aerial weights were favoured by fresh olive pomace and the different types of seaweed applied, and for amendments of animal origin fresh and dry vermicompost and shrimp chitin were the most effective. However, the same results reveal the biofertilising effect of the majority of the organic amendments applied on floral production, with a stronger effect in favour of biofertilisers of animal origin compared to biofertilisers of plant origin.

Concerning the parameters linked to the development of *Meloidogyne spp.* the results relating to the degree of infestation, adult development, female fertility and

egg fertility showed that the biofertilisers as a whole had a very satisfactory effect compared to the control. Contrary to the vegetative expression of tomato plants, organic amendments of animal origin are the most effective in regulating the populations of *Meloidogyne spp.*

As for the effect of the dose, the results showed a non-significant difference between the two doses applied.

**Key words:**

Organic amendment of animal origin, organic amendment of plant origin, Tomato Var. *Marmande*, *Meloidogyne*, Stimulant, control.

## ملخص:

دراسة تقييم الاسمدة الحيوية على تطور و عدوانية *Meloidogyne spp* في زراعة الخضروات.

تعد الديدان الخيطية ذات العقد من نوع *Meloidogyne* عاملا مقيدا في إنتاج محاصيل الخضر، المكافحة الكيميائية هي الأسلوب الأكثر استخداما ضد هذه الآفة، إن استخدام المبيدات الحيوية وخاصة النباتية و الحيوانية هي الطريقة التي تساهم في نظافة البيئة وحماية المحاصيل. فمنا بهذه الدراسة من أجل تقييم من جهة أثر المبيدات العضوية من اصل حيواني و نباتي على تنظيم كثافة *Meloidogyne* و من جهة أخرى تقدير تأثيرها في التحفيز البيولوجي لتطور نمو نبات الطماطم من نوع *Marmande* . استخدمت هذه المواد على شكل اسمدة عضوية كانت قد أضيفت للتربة بتركيزين اثنين و هما التركيز الأول D1 هو 4.98 غرام والتركيز الثاني و يمثل نصف التركيز (D2) هو 2.49 غرام / وعاء. أجريت التجارب تحت ظروف شبه خاضعة للرقابة (في أوعية بلاستيكية و داخل بيت بلاستيكي) لمدة 45 يوماً. المعايير الخاصة بالنبات الطماطم و التي تمت معاينتها هي : النمو الطولي للجزء العلوي، وزن الجزء السفلي (الجزور) و العلوي و كذلك كمية الأزهار المنتجة من طرف نبتة الطماطم. اظهرت النتائج أن الاسمدة العضوية من أصل نباتي ساهمت أكثر في زيادة النمو الطولي لنبتة الطماطم بالمقارنة مع الاسمدة ذات اصل حيواني كما أظهرت الأوراق الطازجة ل *Urginea maritima* وقشور الزيتون الطازج و الأوراق الطازجة ل *la Salvia maritima* أعلى معدلات النمو. من ناحية أخرى و بالنسبة للأسمدة الحيوانية ، كان lombricompost الطازج و قشور الجمبري هما الأكثر تأثيرا على النمو الطولي، وبالمثل، كانت قشور الزيتون الطازجة وأنواع الأعشاب البحرية المستعملة أكثر فعالية لوزن الجزور و الجزء الهوائي، و بالنسبة للأسمدة من الاصل حيواني، كان lombricompost الطازج و الجاف و قشور

الجمبري أكثر فعالية. غير ان نفس النتائج كشفت عن أثر التسميد الحيوي لغالبية الاسمدة العضوية المستعملة على إنتاج الأزهار مع فعالية أكثر لتلك ذات أصل حيواني من الأصل النباتي.

فيما يخص المعايير المدروسة والمتعلقة بتطور *Meloidogyne* النتائج المرتبطة بدرجة الإصابة بواسطة *Meloidogyne* (عدد العقد) ، تطور البالغين (من صنف ذكر و انثى)، كذلك خصوبة الإناث وخصوبة البيوض، أظهرت تأثيراً مرضياً وملحوظاً للغاية لجميع الاسمدة المستعملة بالمقارنة مع العينات المستخدمة كشاهد. و على عكس نتائج الاثر النباتي على نبتة الطماطم ، وجد أن الاسمدة العضوية من أصل حيواني كانت الأكثر فعالية في تنظيم عدوانية *Meloidogyne*.

أما بالنسبة لتأثير التركيز، فقد أظهرت النتائج وجود فرق غير مؤثر بين التركيزين المطبقين.

#### كلمات البحث:

اسمدة عضوية من أصل حيواني ، اسمدة عضوية من أصل نباتي ، طماطم نوع *Marmande*، *Meloidogyne* ، محفز ، تحكم.

## **REMERCIEMENTS**

Avant tout, je remercie Dieu de m'avoir donné la force, la patience, le courage et la volonté pour réaliser ce travail.

Je remercie infiniment mes deux encadreurs Professeur **Z.E. DJAZOULI** et Docteur **D. NEBIH**, pour leur encadrement, il est difficile d'exprimer ici toutes mes reconnaissances, remerciement et mon respect. Tant vous avez eu la gentillesse de m'accueillir et de me guider tout au long de ce travail, durant lequel j'ai apprécié vos qualités humaines. Toutes mes gratitudes.

Ma profonde reconnaissance et mon profond respect au **Pr SNOUSSI Sid Ahmed**, qui me fait l'honneur de présider le jury.

Mes sincères remerciements au **Pr BAHA mounia, de** l'École Normale Supérieure de Kouba (Alger) d'avoir bien voulu accepter d'être membre du jury pour examiner ce travail et de l'enrichir.

J'adresse également mes respectueux remerciements au **Pr BICHE Mohamed**, de l'École Nationale Supérieure Agronomique (El Harrach, Alger) **et Dr OUKIL Salah**, Maître de recherche et Directeur de la Division de recherche Protection des Cultures à l'INRAA d'avoir bien voulu accepter d'être membre de jury et d'examiner ce travail.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements et ma reconnaissance à mes parents et mon mari pour leurs soutiens inconditionnels.

J'exprime également mes gratitudes à tous mes enseignants qui ont collaboré à ma formation sans oublier les personnels du département d'agronomie de Blida.

Aux personnels du laboratoire de zoologie et de phytopharmacie pour leur disponibilité toute au long de ce travail.

Je tiens à remercier tous mes amies surtout *Fatma zohra* et *Amina* et ceux qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce travail.

*Fadhéla SAFIDDINE BAHÍ.*

## **DEDICACE**

Je dédie ce travail :

**A** mes très chers parents ma mère et mon père, que dieu les garde.

**A** mon mari et mes deux chers enfants.

**A** ma chère seule sœur et sa petite famille.

**A** mes deux frères et ma belle-sœur.

**A** ma belle-famille.

**A** tous qui me sont chers.

*FADHÉLA*

**TABLE DES MATIERES**

RESUME

ABSTRACT

ملخص

REMERCIEMENTS

DEDICACES

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET DES TABLEAUX

INTRODUCTION..... 23

## **CHAPITRE I.: NUTRITION MINERALE DES PLANTES ET IMPORTANCE DES AMENDEMENTS ORGANIQUES**

Introduction.....	26
I.1. Fraction organique du sol.....	27
I.1.1. Rôle de la matière organique.....	29
I.1.2. Fonctions des Matières organiques du sol .....	30
I.1.3. Effets de la matière organique .....	32
I.1.3.1. Effet de la matière organique sur la structure du sol	32
I.1.3.2. Effet de la matière organique sur la rétention en eau du sol.....	32
I.1.3.3. Effet de la matière organique sur la réserve en éléments nutritifs du sol.....	33
I.1.3.4. Effet de la matière organique sur le stockage du carbone dans le sol.....	33
I.1.4. Evolution des matières organiques dans le sol.....	33
I.1.4.1. Dynamique.....	33
I.1.4.2. Minéralisation et séquestration.....	34
I.1.5. Rôle des éléments nutritifs de la matière organique chez les végétaux.....	36
I.2. Sources organiques d'éléments nutritifs : Les amendements organiques.....	39
I.2.1. Influence des amendements organiques sur la fertilité du sol	40
I.2.1.1. Influence des amendements organiques sur les propriétés physiques du sol.....	40

I.2.1.2.	Influence des amendements organiques sur les propriétés chimiques du sol.....	40
I.2.1.3.	Influence des amendements organiques sur la biologie du sol.....	41
I.2.1.4.	Influence des amendements organiques sur les cultures.....	41
I.2.1.5.	Rôle des amendements organiques dans la lutte...	42
I.2.2.	Amendements organiques utilisés en agriculture.....	43
I.2.2.1	Le compostage et le vermicompost.....	43
I.2.2.1.1.	Effets du lombricompost sur la qualité des sols.....	44
I.2.2.1.2.	Effets du lombricompost sur la croissance des végétaux.....	44
I.2.2.1.3.	Effets du lombricompost sur la résistance aux maladies.....	45
I.2.2.1.4.	Effets du lombricompost sur les ravageurs.....	46
I.2.2.2.	Amendements mixtes et les fumiers de ferme...	47
I.2.2.2.1.	Éléments constitutifs du fumier.....	47
I.2.2.2.2.	Effets des fumiers animaux.....	48
I.2.2.3.	Amendements organiques d'origine végétale et les résidus végétaux.....	49
I.2.2.3.1.	Effet des engrais verts sur le sol et les cultures.....	50
I.2.2.3.2.	Effet des engrais verts sur la matière organique et les éléments nutritifs.....	50
I.2.2.3.3.	Effet des engrais verts sur les populations des nématodes.....	51
I.2.2.4.	Algues marines et les matières chitineuses.....	51
I.2.2.4.1.	Algues marines dans l'agriculture.....	51
I.2.2.4.2.	Effet des algues marines sur les fonctions végétales.....	53
I.2.2.4.3.	Produits chitineux dans l'agriculture.....	53



	ménagers solide frais et sec.....	87
	III.2.1.2.2. Thé de vermicompost.....	88
	III.2.1.2.3. Thé de vermicompost fermenté..	88
	III.2.1.2.4. Fumier des bovins.....	88
	III.2.1.2.5. Chitine de crustacés.....	90
III.2.2.	Préparation des doses.....	90
III.2.3.	Obtention et préparation des larves (L <sub>2</sub> ) de <i>Meloidogyne</i>	91
III.2.4.	Préparation du sol.....	92
III.2.5.	Préparation des pots traités.....	93
III.2.6.	Préparation du matériel végétal.....	93
III.2.7.	Dispositif expérimental.....	95
III.3.	Paramètres analysés.....	98
III.3.1.	Effet biofertilisant des amendements organiques sur les plants de tomate.....	98
	III.3.1.1. Effet sur la croissance des plants.....	98
	III.3.1.2. Effet sur la biomasse fraîche des parties aériennes et des racines des plants.....	98
	III.3.1.3. Effet sur la floraison des plants de tomate.....	99
III.3.2.	Effet des traitements dans le contrôle des nématodes à galles.....	99
	III.3.2.1. Effet sur le taux d'infestation des plants de tomate.....	99
	III.3.2.2. Effet des traitements sur le développement des adultes (mâles et femelles).....	100
	III.3.2.3. Effet sur la fécondité des femelles de <i>Meloidogyne</i> .....	100
	III.3.2.4. Effet sur la fertilité des œufs.....	101
III.4.	Analyse des données.....	101
III.4.1.	Analyses de variance (SYSTAT vers. 12, SPSS 2009)....	102
III.4.2.	Analyses multivariée (PAST vers. 1.37].....	102
III.4.3.	Corrélations-régression (SYSTAT vers. 12, SPSS 2009 et Excel™).....	102

## CHAPITRE IV.: RÉSULTATS

IV.1	Tendance générale de l'effet des amendements organiques apporté sur l'expression végétative des plants de tomate <i>var. Marmande</i> .....	104
IV.1.1	Evaluation de l'activité des amendements organiques d'origine végétale sur l'expression végétative des plants de tomate .....	104
IV.1.1.1.	Variations de la croissance moyenne de la partie aérienne des plants de tomate sous l'effet des différents amendements.....	104
IV.1.1.2.	Variations de la croissance journalière de la partie aérienne des plants de tomate sous l'effet des différents amendements.....	111
IV.1.1.3.	Variations de la biomasse racinaire et aérienne des plants de tomate sous l'effet des différents amendements.....	114
IV.1.1.4.	Variations des paramètres de production des plants de tomate sous l'effet des différents amendements.....	118
IV.1.2	Evaluation de l'activité des amendements organiques apportés d'origine animale sur l'expression végétative des plants de tomate.....	121
IV.1.2.1.	Variations de la croissance moyenne de la partie aérienne des plants de tomate sous l'effet des différents amendements.....	121
IV.1.2.2.	Variations de la croissance journalière de la partie aérienne des plants de tomate sous l'effet des différents amendements.....	128
IV.1.2.3.	Variations de la biomasse racinaire et aérienne des plants de tomate sous l'effet des différents amendements.....	131
IV.1.2.4.	Variations des paramètres de production des plants de tomate sous l'effet des différents amendements.....	135
IV.1.3	Comparaison entre l'activité des amendements organiques d'origine végétale et animale sur l'expression	

	végétative des plants de tomate.....	138
IV.2.	Tendance générale de l'effet des amendements organiques apporté sur la régulation du développement des nématodes à galle.....	140
IV.2.1.	Evaluation de l'activité nématocide des amendements organiques d'origine végétale sur la régulation du développement des nématodes à galle.....	140
IV.2.1.1.	Variations de degré d'infestation des plants de tomate par les <i>Meloidogyne</i> sous l'effet des différents amendements .....	140
IV.2.1.2.	Variations de nombre d'adultes des <i>Meloidogyne</i> sur les plants de tomate sous l'effet des différents amendements.....	144
IV.2.1.3.	Variations de fécondité des femelles de <i>Meloidogyne</i> sur les plants de tomate sous l'effet des différents amendements.....	148
IV.2.1.4.	Variations de la fertilité des œufs des <i>Meloidogyne</i> sur les plants de tomate sous l'effet des différents amendements.....	152
IV.2.2.	Evaluation de l'activité nématocide des amendements organiques d'origine animale sur la régulation du développement des nématodes à galle.....	158
IV.2.2.1.	Variations de degré d'infestation des plants de tomate par les <i>Meloidogyne</i> sous l'effet des différents amendements (nombre de galles).....	158
IV.2.2.2.	Variations de nombre d'adultes des <i>Meloidogyne</i> sur les plants de tomate sous l'effet des différents amendements.....	162
IV.2.2.3.	Variations de fécondité des femelles de <i>Meloidogyne</i> sur les plants de tomate sous l'effet des différents amendements.....	166
IV.2.2.4.	Variations de la fertilité des œufs des <i>Meloidogyne</i> sur les plants de tomate sous l'effet des différents amendements.....	170

IV .2.3.	Comparaison entre l'activité nématocide des amendements organiques d'origine animale et végétale.	175
IV.3.	Relation entre les paramètres du développement des <i>Meloidogyne</i> et les fluctuations de l'expression végétative des plants de tomate sous l'effet des différents biofertilisants.....	177

## **CHAPITRE V: DISCUSSION**

V.1.	Evaluation de l'effet des amendements organiques apporté sur le développement des nématodes à galle du genre <i>Meloidogyne</i> .....	180
V.1.1	Effet sur le degré d'infestation par les <i>Meloidogyne</i> (Nombre de galles).....	181
V.1.2.	Effet sur le développement des adultes (mâles et femelles).....	186
V.1.3.	Effet sur la fécondité des femelles.....	187
V.1.4.	Effets des traitements sur la fertilité des œufs des <i>Meloidogyne</i> .....	187
V.2.	Evaluation de l'effet des amendements organiques apporté sur l'expression végétative des plants de tomate var. <i>Marmande</i> .....	191
V.2.1.	Effet des amendements organiques apporté sur la croissance en longueur des plants de tomate.....	191
V.2.2.	Effet des amendements apportés sur le poids de la partie racinaire et aérienne des plants de tomate.....	195
V.2.3.	Effet des amendements apportés sur la production florale des plants de tomate.....	196
	<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	198
	<b>APPENDICES</b> .....	201
	<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	203

## LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

<b>Figure I.1.</b>	Composant d'un sol idéal, par volume .....	27
<b>Figure I.2.</b>	Continuum de matières organiques dans les sols .....	28
<b>Figure I.3.</b>	Schéma simplifié du complexe Argilo-humique .....	30
<b>Figure I.4.</b>	Rôles et fonctions des Matières Organiques .....	31
<b>Figure I.5.</b>	Schématisation de la mise en place des réponses de défense de la plante suite à la reconnaissance d'un éliciteur .....	58
<b>Figure II. 1.</b>	Femelles matures de nématodes à galles <i>Meloidogyne javanica</i> ...	59
<b>Figure II. 2.</b>	Photographie d'une larve juvénile de stade 2 (J2) de <i>Meloidogyne incognita</i> .....	59
<b>Figure II. 3.</b>	Carte de la distribution planétaire de <i>M. javanica</i> .....	60
<b>Figure II.4.</b>	Masses d'œufs de <i>M. javanica</i> sur les racines de tomates.....	62
<b>Figure II.5.</b>	Cycle de vie de <i>Meloidogyne incognita</i> sur racines de <i>Prunus cerasifera</i> .....	64
<b>Figure II.6.</b>	Sécrétion d'effecteurs par les nématodes à galles au cours des étapes de migration et d'induction des cellules géantes .....	67
<b>Figure II.7.</b>	Photo et représentation 3D simplifiée d'une galle induite par les nématodes à galles.....	68
<b>Figure II.8.</b>	Exemples de dégâts engendrés par les nématodes à galles .....	69
<b>Figure.III.1.</b>	Carte conceptuelle démonstrative de la logique du travail .....	78
<b>Figure III.2.</b>	Plante entière d' <i>Urginea maritima</i> .....	80
<b>Figure III.3.</b>	Structure des grignons d'olive .....	81
<b>Figure III.4.</b>	Protocole globale de préparation des broyats d' <i>Urginea maritima</i> et grignons d'olive.....	82
<b>Figure III.5.</b>	<i>Salvia officinalis</i> .....	83
<b>Figure III.6</b>	Broyats de la sauge <i>Salvia officinalis</i> .....	84

<b>Figure III.7.</b>	Préparation des broyats des algues marines.....	86
<b>Figure III.8.</b>	Processus d'obtention du lombricompost .....	87
<b>Figure III.9.</b>	Fumier de bovin .....	89
<b>Figure III.10.</b>	Poudre du fumier de bovins.....	89
<b>Figure III.11.</b>	Préparation des broyats de chitine de crevette .....	90
<b>Figure III.12.</b>	Racine de tomate infesté par <i>Meloidogyne</i> .....	91
<b>Figure II.13.</b>	Obtention des larves (L2) de <i>Meloidogyne</i> sous une loupe binoculaire.....	92
<b>Figure III.14.</b>	Préparation et mélange de sol .....	93
<b>Figure III.15.</b>	Préparation des pots traités .....	93
<b>Figure III.16.</b>	Préparation du matériel végétal .....	94
<b>Figure III.17.</b>	Infestation des plantes de tomates par les larves de <i>Meloidogyne</i> (L2) au niveau de collet .....	94
<b>Figure III.18.</b>	Mesure de croissance de la plante.....	98
<b>Figure III.19.</b>	Racines infestées dans les boîtes de Pétri .....	99
<b>Figure III.20.</b>	Racine de tomate infestée .....	99
<b>Figure III.21.</b>	Racine infesté .....	100
<b>Figure III.22.</b>	Femelles de <i>Meloidogyne</i> .....	100
<b>Figure III.23.</b>	Œufs de <i>Meloidogyne</i> .....	101
<b>Figure IV.1</b>	Variation de la croissance moyenne des plants de tomate en fonctions des traitements à la forte dose.....	108
<b>Figure IV.2.</b>	Variation de la croissance moyenne des plants de tomate en fonctions des traitements à la faible dose.....	110
<b>Figure IV.3.</b>	Effet des différents traitements sur la croissance journalière des plants de tomate .....	112
<b>Figure IV.4.</b>	Modulation comparée de la croissance journalière des plants de tomate selon les différents traitements .....	114

<b>Figure IV.5.</b>	Projection de la biomasse racinaire et aérienne des plants de tomate sous l'effet des traitements sur les deux axes de l'ACP.....	117
<b>Figure IV.6.</b>	Effet des différents traitements sur les paramètres de production des plants de tomate. ....	120
<b>Figure IV.7.</b>	Modulation comparée de nombre de fleurs des plants de tomate selon les différents traitements.....	121
<b>Figure IV.8.</b>	Variation de la croissance moyenne des plants de tomate en fonctions des traitements à la forte dose. ....	125
<b>Figure IV.9.</b>	Variation de la croissance moyenne des plants de tomate en fonctions des traitements à la faible dose.....	127
<b>Figure IV.10.</b>	Effet des différents traitements sur la croissance journalière des plants de tomate .....	129
<b>Figure IV.11.</b>	Modulation comparée de la croissance journalière des plants de tomate selon les différents traitements .....	131
<b>Figure IV.12.</b>	Projection de la biomasse racinaire et aérienne des plants de tomate sous l'effet des traitements sur les deux axes de l'ACP.....	134
<b>Figure IV.13.</b>	Effet des différents traitements sur les paramètres de production des plants de tomate. ....	137
<b>Figure IV.14.</b>	Modulation comparée de nombre de fleurs des plants de tomate selon les différents traitements.....	138
<b>Figure IV.15.</b>	Modulation comparée de nombre moyen de galles sur les plants de tomate selon les différents traitements.....	142
<b>Figure IV.16.</b>	Variation de nombre moyen de galle sur les plants de tomate en fonctions des traitements à la forte dose .....	143
<b>Figure. IV.17.</b>	Variation de nombre moyen de galle sur les plants de tomate en fonctions des traitements à la faible dose.....	144
<b>Figure. IV.18.</b>	Projection de nombre d'adultes des <i>Meloidogyne</i> sur les plants de tomate sous l'effet des traitements sur les deux axes de l'ACP.....	147
<b>Figure IV.19.</b>	Projection de la variation des paramètres de fécondité des <i>Meloidogyne</i> sur les plants de tomate sous l'effet des traitements sur les deux axes de l'ACP.....	151

<b>Figure. IV.20.</b>	Modulation comparée de la fertilité des œufs sous l'effet des différents traitements à la forte dose.....	155
<b>Figure IV.21.</b>	Modulation comparée de la fertilité des œufs sous l'effet des différents traitements à la faible dose .....	157
<b>Figure IV.22.</b>	Modulation comparée de nombre moyen de galles sur les plants de tomate selon les différents traitements.....	160
<b>Figure IV.23.</b>	Variation de nombre moyen de galle sur les plants de tomate en fonctions des traitements à la forte dose .....	161
<b>Figure IV.24.</b>	Variation de nombre moyen de galle sur les plants de tomate en fonctions des traitements à la forte dose.....	162
<b>Figure IV.25.</b>	Projection de nombre d'adultes des <i>Meloidogyne</i> sur les plants de tomate sous l'effet des traitements sur les deux axes de l'ACP.....	165
<b>Figure IV.26.</b>	Projection de la variation des paramètres de fécondité des <i>Meloidogyne</i> sur les plants de tomate sous l'effet des traitements sur les deux axes de l'ACP.....	169
<b>Figure IV.27.</b>	Modulation comparée de la fertilité des œufs sous l'effet des différents traitements à la forte dose.....	173
<b>Figure IV. 28.</b>	Modulation comparée de la fertilité des œufs sous l'effet des différents traitements à la faible dose.....	175
<b>Figure V.1.</b>	Schéma récapitulatif de l'effet des différents amendements testés sur le développement de <i>Meloidogyne</i> .....	190
<b>Figure V.2.</b>	Schéma récapitulatif de l'effet des différents amendements testés sur les plants de tomate.....	197
<b>Tableau III.1.</b>	Paramètres physico-chimiques de vermicompost .....	88
<b>Tableau III.2.</b>	Dispositif expérimental des différents traitements d'origine végétale et leurs doses.....	96
<b>Tableau III.3.</b>	Dispositif expérimental des différents traitements d'origine animale et leurs doses.....	97
<b>Tableau III.4.</b>	Dispositif expérimental du témoin.....	97

<b>Tableau IV. 1.</b>	Moyennes arithmétique ( $\pm$ standard erreur) de la croissance moyenne de la partie aérienne des plants de tomate par quinzaine.....	106
<b>Tableau IV.2.</b>	Moyennes arithmétique ( $\pm$ standard erreur) de la croissance journalière de la partie aérienne des plants de tomate .....	113
<b>Tableau IV.3.</b>	Moyennes arithmétique ( $\pm$ standard erreur) de la biomasse racinaire et aérienne des plants de tomate....	115
<b>Tableau IV. 4.</b>	Moyennes arithmétique ( $\pm$ standard erreur) des paramètres de production des plants de tomate.....	119
<b>Tableau. IV.5.</b>	Moyennes arithmétique ( $\pm$ standard erreur) de la croissance moyenne de la partie aérienne des plants de tomate par quinzaine.....	123
<b>Tableau IV.6.</b>	Moyennes arithmétique ( $\pm$ standard erreur) de la croissance journalière de la partie aérienne des plants de tomate.....	130
<b>Tableau IV. 7.</b>	Moyennes arithmétique ( $\pm$ standard erreur) de la biomasse racinaire et aérienne des plants de tomate.....	132
<b>Tableau IV.8.</b>	Moyennes arithmétique ( $\pm$ standard erreur) des paramètres de production des plants de tomate.....	136
<b>Tableau IV.9.</b>	Comparaison par paire (Moyenne $\pm$ standard erreur) de l'activité nématocide des amendements organiques d'origine animale et végétale.....	139
<b>Tableau IV.10.</b>	Moyennes arithmétique ( $\pm$ standard erreur) de nombre moyen de galles sur les plants de tomate.....	141
<b>Tableau IV.11.</b>	Moyennes arithmétique ( $\pm$ standard erreur) de nombre moyen des adultes des <i>Meloidogyne</i> sur les plants de tomate.....	145
<b>Tableau.IV.12.</b>	Moyennes arithmétique ( $\pm$ standard erreur) de nombre moyen des paramètres de fécondité des <i>Meloidogyne</i> sur les plants de tomate .....	149
<b>Tableau.IV.13.</b>	Moyennes arithmétique ( $\pm$ standard erreur) de nombre moyen des œufs éclos des <i>Meloidogyne</i> sur 5 masses.....	153
<b>Tableau.IV.14.</b>	Moyennes arithmétique ( $\pm$ standard erreur) de nombre moyen de galles sur les plants de tomate.....	159
<b>Tableau.IV.15.</b>	Moyennes arithmétique ( $\pm$ standard erreur) de nombre moyen des adultes des <i>Meloidogyne</i> sur les plants de tomate.....	163
<b>Tableau.IV.16.</b>	Moyennes arithmétique ( $\pm$ standard erreur) de nombre moyen des paramètres de fécondité des <i>Meloidogyne</i> sur les plants de tomate .....	167

<b>Tableau.IV.17.</b>	Moyennes arithmétique ( $\pm$ standard erreur) de nombre moyen des œufs des <i>Meloidogyne</i> sur dix galles.....	171
<b>Tableau.IV.18.</b>	Comparaison par paire (Moyenne $\pm$ standard erreur) de l'activité nématocide des amendements organiques d'origine animale et végétale.....	176
<b>Tableau.IV.19.</b>	Coefficients de corrélation (C.C.) $r$ de Pearson et probabilités associées pour l'interaction des paramètres du développement des <i>Meloidogyne</i> et l'expression végétative des plants de tomate.....	179

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'agriculture en Algérie, constitue un secteur extrêmement important de l'économie nationale. Elle couvre une grande partie du territoire national et présente dans plus de 90% des 1541 communes existantes [1]

Les cultures maraîchères présentent une place importante dans l'économie du pays. Elle est la deuxième culture après celle des céréales. La tomate occupe une superficie de plus de 23.977 ha avec une production estimée à 1.286.286 de tonnes en 2017 [2]

Le mode de culture sous serre offre un microclimat qui réunit d'une part, les conditions optimales pour accroître la production et augmenter le rendement mais d'autre part, il favorise le développement et la pullulation de nombreux ravageur qui occasionnent chaque année des pertes considérables à la production maraîchère. Néanmoins ces cultures sont sujettes à de nombreux bioagresseurs qui leur infligent de fortes pertes de rendements en quantité et en qualité [3]. Parmi eux les nématodes du genre *Meloidogyne* constituent le groupe le plus redoutable sur ces cultures [4 et 5]. Les nématodes à galles endommages sévèrement les cultures notamment les légumes et causent des pertes considérables de rendement principalement dans l'agriculture tropicale et subtropicale [6]. Ce genre de nématode a une incidence économique non négligeable, notamment dans les zones méditerranéennes où les conditions optimales de leur développement sont réunies [7]. Les pertes agricoles mondiales attribuables à l'infestation par ce nématode varient en moyenne de 14% à 25% [8 et 9].

Les agriculteurs algériens connaissent bien ce type de nématodes par les galles provoquées sur le système racinaire. Ils les désignent sous le nom de « maladie de la patate ». Ces parasites sont capables de se développer sur un grand nombre de plantes cultivées telles que les Cucurbitacées, les Solanacées, les légumineuses [10].

Les *Meloidogyne* constituent une menace sérieuse pour toutes les cultures maraîchères sous abris-serres aussi bien dans les zones littorales que dans les

zones sahariennes (Adrar, Biskra et Ouargla) [11]. Les taux d'infestation varient sensiblement, Nadji [12] signale les infestations de 88%, Laalam et al [13] les estiment à 49% et Boumada [14] à évaluer les taux d'infestations des nématodes à galles à 60%.

En Algérie, le recours aux nématicides reste le moyen le plus usité par les agriculteurs pour désinfecter le sol. Leur efficacité est en effet indéniable, du fait que ces produits ont eu souvent des effets positifs sur l'amélioration des rendements et la qualité des produits agricoles. Cependant, ces composés organiques de synthèse causent de sérieux problèmes à la santé humaine et à l'environnement [15] s'expliquant par l'accumulation des résidus toxiques au niveau des récoltes et ne présentent pas une solution intéressante pour la promotion d'une Agriculture durable [16].

Devant cette situation, les recherches se sont orientées vers une stratégie non polluante ; la lutte biologique, avec entre autre, l'utilisation de plantes nématicides de la famille des Apocynaceae, telles que la pervenche de Madagascar (*Catharanthus roseus*) et les chrysanthèmes qui, cultivées conjointement avec la tomate, diminuent les populations de *Meloidogyne incognita* d'environ 30% [17]. L'utilisation d'amendements organiques offrent également des avantages écologiques, économiques et agronomiques [18].

L'utilisation d'amendements organiques du sol est une pratique culturelle traditionnelle visant à améliorer la fertilité et la structure du sol; il est également connu comme méthode de lutte contre les maladies des sols, y compris les nématodes phytoparasites. Les amendements organiques peuvent également être appliqués dans les systèmes d'agriculture biologique ou durable et permettre aux agriculteurs conventionnels de réduire leur utilisation de nématicide. De nombreux types d'amendements organiques ont été testés pour la lutte contre le nématode, et ceux-ci sont examinés dans Rodri guez-Ka bana (1986) [19].

Récemment en Algérie, quelques plantes ont fait l'objet de travaux, et ont montré une certaine efficacité contre les *Meloidogyne* nous citons; *Tagetes patula*, *T. minuta*, *T. erecta*, *Crotalaria saharae* [20], *Ricinus communis* [21 et 22] *Artemisia herba-alba* et *Artemisia judaïca* [23], *Sinapsis arvensis* [24]. Alors que nombreux travaux ont montré que l'application des éliciteurs [25] et des extraits d'algues [26]

ainsi que le vermicompost [27], sur une plante, peuvent activer préventivement ses réactions de défense qui conduit à l'augmentation de sa résistance aux bioagresseurs. Ainsi, l'utilisation judicieuse des stimulateurs pourrait permettre de diminuer la quantité des intrants phytosanitaires nécessaire pour protéger une culture. Cette stratégie, peu exploitée suscite de plus en plus d'intérêt dans le domaine phytosanitaire.

Vu l'importance des amendements dans le développement des cultures et la régulation des bioagresseurs nous avons jugé opportun d'entamer ce travail afin d'évaluer *in vivo* l'effet des potentialités biocides et stimulantes des amendements organiques suivants : les broyats secs et humides des feuilles et de bulbe de la plante *Urginea maritima*, broyats secs et humides des feuilles de la plante *Salvia officinalis*, les broyats secs et humides des grignons d'olive, les broyats des algues marines, le vermicompost brute sec et frais, le vermicompost fermenté, le thé du vermicompost, le fumier des bovins ainsi que la chitine de crevette ; dans la régulation de population des nématodes à galles du genre *Meloidogyne* et évaluer par la même occasion leur potentialité biofertilisante sur les plantes de tomate var. *Marmande*.

# **CHAPITRE I.**

## **NUTRITION MINÉRALE DES PLANTES ET IMPORTANCE DES AMENDEMENTS ORGANIQUES**

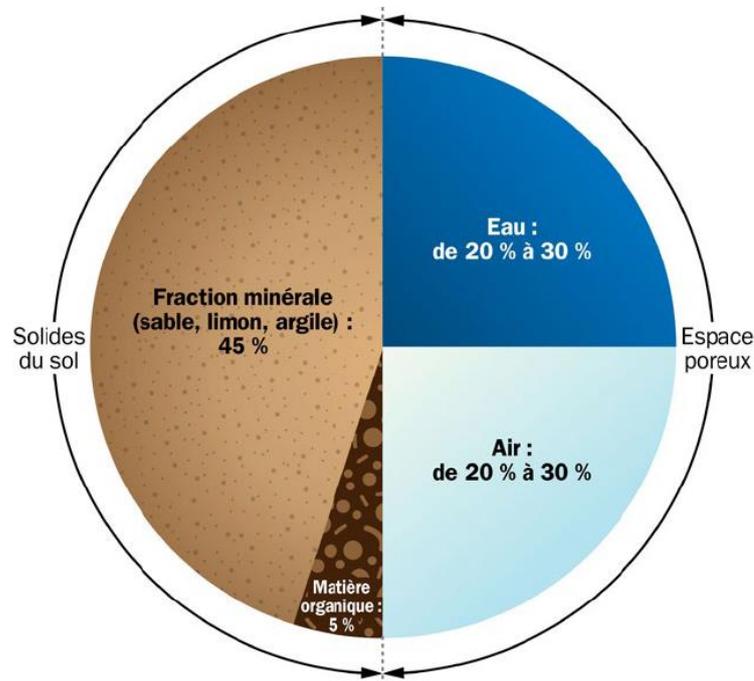
### Introduction

L'acceptation du terme sol a beaucoup varié au cours des temps; elle a dépendu essentiellement de la façon dont on envisageait le sol et son utilisation. Certaines définitions furent donc très marquées par cette conception. C'est ainsi, par exemple, que MITSCHERLICH donne la formulation suivante: «Le sol est un mélange de particules solides pulvérisées, d'eau et d'air, qui servent de support aux éléments nutritifs des plantes ». De son tour DOKUCHAEV avait considéré le sol sous un angle véritablement pédologique il prend une individualité propre différente de la roche-mère dont il est issu; il est constitué par les horizons supérieurs d'une roche qui a subi, plus ou moins, un changement sous l'influence de l'eau, de l'air et différentes espèces d'organismes vivants ou morts; ce changement se traduit, dans une certaine mesure, dans la composition, la structure, la couleur des produits d'altération. Par la suite la définition se progresse encore et les différents auteurs s'efforcent de bien montrer l'individualité du sol qui est considéré comme un corps naturel. Pour JOFFE, « le sol est un corps naturel, de constituants organiques et minéraux, différencié en horizons d'épaisseur variable, qui diffèrent du matériau sous-jacent par leur morphologie, constitution physique, propriétés chimiques et composition des caractères biologiques

Il convient de rappeler ici qu'un " sol agricole," résulte de la transformation par l'homme des sols vierges en vue de l'obtention de récoltes. Cette transformation s'accompagne de modifications de la morphologie, des propriétés, et de la composition des sols [28].

La fertilité du sol est la capacité d'un sol à fournir les éléments nutritifs essentiels aux végétaux en quantités et en proportions adéquates pour leur croissance et leur reproduction. La nature et les propriétés physiques d'un sol notamment la texture, la porosité et la composition minérale déterminent sa fertilité inhérente.

Les sols sont constitués de quatre principaux composants. La couche arable idéale est souvent présentée comme contenant approximativement 25 % d'eau, 25 % d'air, 45 % de minéraux et 5 % de contenu organique par volume (la figure I.1). En réalité, ces proportions varient grandement en fonction du type de sol et de son historique de gestion, qui ont à leur tour de grandes répercussions sur la productivité du sol [29].



**Figure I.1 :** Composant d'un sol idéal, par volume [29].

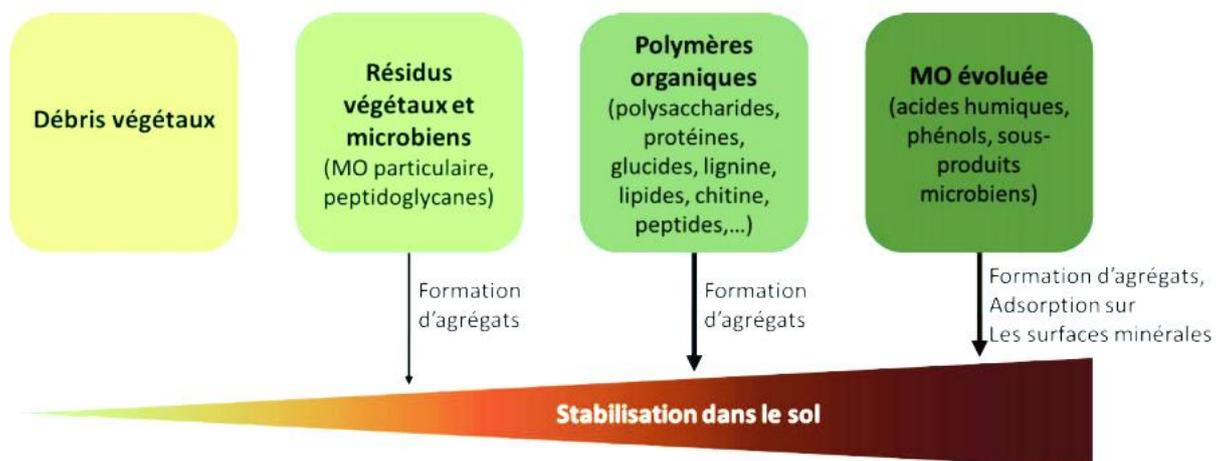
### I.1. La fraction organique du sol

La matière organique du sol est tout matériau produit à l'origine par les organismes vivants, végétaux ou animaux, qui est retourné au sol et passe par le processus de décomposition. À un moment donné, il consiste en une série de décomposition de matériaux originaux à partir des tissus intacts aux mélanges de matériaux substantiellement décomposés appelés humus [30].

Les matières organiques jouent des rôles importants dans les sols. Elles constituent une source considérable de carbone, d'énergie et de nutriments pour les organismes vivants du sol : avec la biomasse végétale, la matière organique du sol est un des principaux réservoirs de carbone. De plus, les matières organiques participent de la qualité des sols.

La matière organique du sol peut représenter jusqu'à 98% du carbone organique total d'un sol. Selon les auteurs, la définition de la matière organique du sol varie : certains considèrent la matière organique du sol comme l'ensemble de la matière organique vivante et de la matière organique morte [31], alors que d'autres limitent la matière organique du sol au produit non vivant de la décomposition de plantes et d'animaux [32].

La matière organique du sol englobe la matière organique vivante (organismes du sol, racines de végétaux...), la matière organique fraîche (MOF), constituée de résidus végétaux et d'exsudats racinaires, et la matière organique évoluée (MOE) composée de résidus microbiens, de matériaux végétaux non reconnaissables et de substances humiques [33 et 34]. Elle forme ainsi un continuum constitué d'un large spectre de matériaux organiques (Figure I.2), issus de la litière et des produits microbiens, de différentes structures moléculaires [35] et qui sont à différentes étapes de décomposition [35 et 34]



**Figure I.2 :** Continuum de matières organiques dans les sols [35].

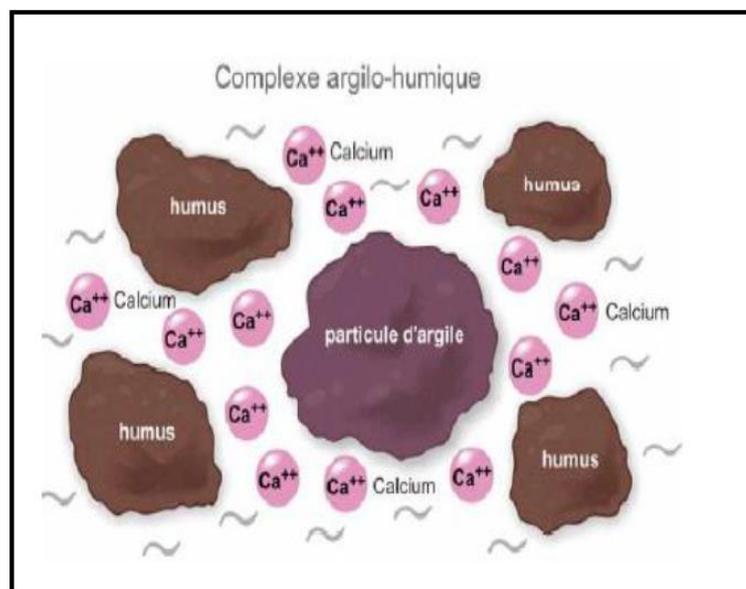
La matière organique du sol dérivée de la matière végétale est constituée à 50% de C. Ce carbone y est présent sous de nombreuses formes chimiques allant des composés solubles à faible poids moléculaire à des lipides insolubles et des monomères à des polymères complexes [37]. La matière organique du sol dérivée des microorganismes du sol est principalement constituée de protéines, lipides et chitine fongique mais également d'azotes non protéiques, polysaccharides et composés aromatiques [38]. Dans le sol, la matière organique correspond à un continuum d'état entre la matière organique labile riche en carbone à signature

végétale, et la matière organique évoluée riche en N et P à signature microbienne. La matière organique labile est principalement constituée de composés à faible poids moléculaires qui sont rapidement déstabilisés par les microorganismes. A l'opposé, la matière organique évoluée est principalement constituée de composés à fort poids moléculaires et à structures complexe qui sont lentement déstabilisés par les microorganismes. Ainsi, le turnover du fort poids moléculaires et à structures complexe qui sont lentement déstabilisés par les microorganismes. Ainsi, le turnover de la matière organique du sol dépend notamment de sa qualité [35].

### I.1.1. Le rôle de la matière organique

Le Complexe Argilo-Humique (CAH) est le relais entre les MO du sol et la plante. L'humus et l'argile sont associés en un complexe : le Complexe Argilo-Humique. L'humus protège l'argile en retenant l'eau, il évite sa dispersion. L'argile protège l'humus de l'action des micro-organismes en ralentissant sa minéralisation. Le tout forme un colloïde qui permet de stabiliser un sol. Argile et humus sont reliés entre eux par des cations comme le  $Ca^{2+}$  et le  $Fe^{2+}$  ou  $Fe^{3+}$ . Ainsi, parce qu'il fixe les cations, le CAH est le garde-manger de la plante.

L'absorption est la rétention de composants à la surface d'autres composés sans liaison. Le CAH, chargé négativement sur sa surface peut fixer les cations du sol (La Figure I.2) [39].



**Figure I.3** : Schéma simplifié du complexe Argilo-humique [39].

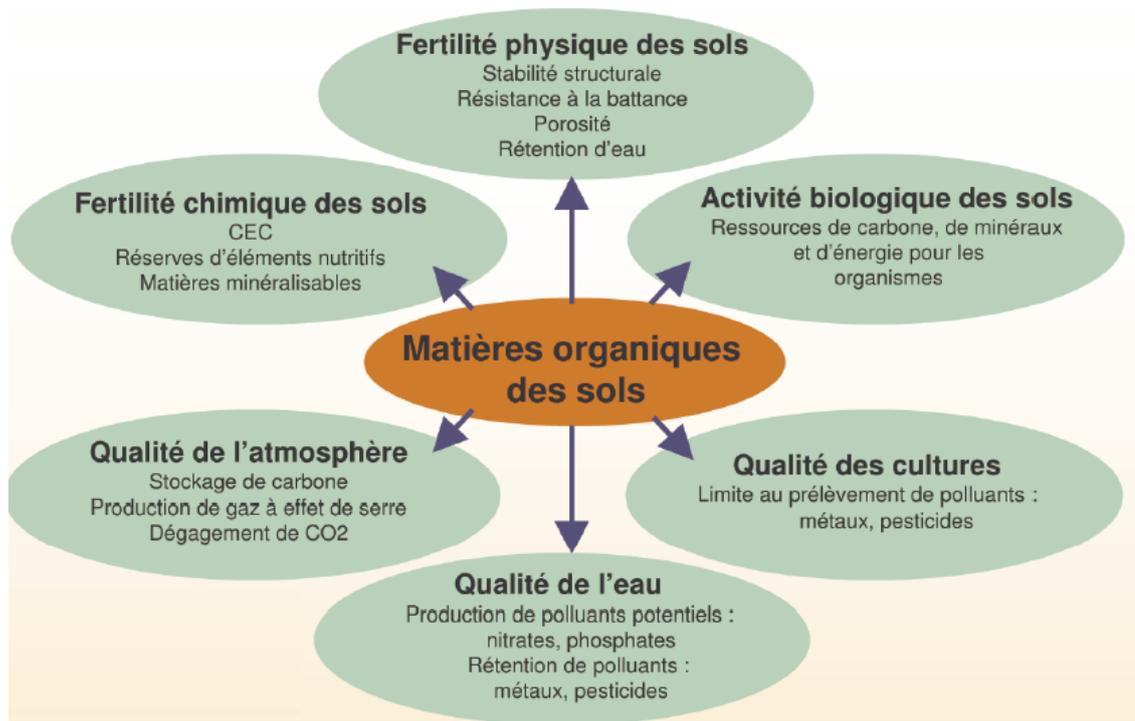
La Capacité d'Echange en cations (*CEC*) est la quantité maximale de cations qu'un poids déterminé de sol peut retenir. Elle joue un rôle fondamental pour l'alimentation en éléments minéraux de la plante. La *CEC* dépend essentiellement du CAH du sol. La *CEC* sera élevée pour des sols argileux et/ou humifères et très basse pour des sols sableux. L'apport de MO dans un sol sableux a pour but d'augmenter cette *CEC*. L'apport de matière organique dans un sol argileux vise à stabiliser les argiles, limiter le lessivage et augmenter la *CEC* [40].

I.1.2. Les fonctions des Matières Organiques du sol

Dans le sol, les MO assument de nombreuses fonctions agronomiques et environnementales synthétisées dans la Figure I.4

- Elles assurent le stockage et la mise à disposition pour la plante, par minéralisation, des éléments nutritifs dont elle a besoin.
- Elles stimulent l'activité biologique, étant à la fois source d'énergie et d'éléments nutritifs pour les organismes du sol.
- Elles ont un rôle central dans la structuration du sol et participent à sa stabilité vis-à-vis des agressions extérieures (pluie, tassement...) en limitant notamment l'érosion hydrique
- Elles favorisent le réchauffement du sol (coloration plus sombre des matières organiques).
- Elles contribuent à la perméabilité, l'aération du sol et la capacité de rétention en eau.
- Elles jouent un rôle fondamental pour les autres compartiments de l'environnement en participant au maintien de la qualité de l'eau par leur forte capacité de rétention des polluants organiques (pesticides, hydrocarbures...) et minéraux (éléments traces métalliques).
- Mais elles peuvent être aussi source de polluants potentiels, comme les nitrates et les phosphates.
- Elles influencent également la qualité de l'air, par le stockage ou l'émission de gaz à effet de serre. Elles ont un rôle de puits ou d'émetteur de carbone (principalement sous forme de CO<sub>2</sub>). Certains changements d'usage des pratiques agricoles favorisent le stockage du carbone dans les sols

(conversion de cultures en prairies). Au contraire, la mise en culture de ces prairies entraîne une diminution du stock de carbone [29].



**Figure I.4** : Rôles et fonctions des Matières Organiques [29].

### I.1.3. Effets de la matière organique

#### I.1.3.1. Effet de la matière organique sur la structure du sol

Un des rôles de la matière organique est l'amélioration de la structure du sol, surtout dans les sols pauvres en agents d'agrégation de nature physico-chimique comme les argiles et les oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium, et dans les milieux secs [41 ; 42 et 43]. La matière organique du sol intervient dans la formation et la stabilité des agrégats [44 et 45]. Elle augmente la cohésion entre les particules minérales du sol par la formation de complexes organo-minéraux (argilo-humiques) et induit une hydrophobicité qui peut augmenter la résistance du sol à l'éclatement par humectation [46]. La fraction humique est la principale fraction organique identifiée comme étant impliquée dans la stabilité structurale d'un sol [47]. La formation des complexes argilo-humiques peut s'effectuer de plusieurs manières, notamment soit par fixation des macromolécules électronégatives de l'humus sur les sites électropositifs situés au niveau des bords externes des minéraux argileux, ou par l'intermédiaire de cations polyvalents tels

que  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  ou  $\text{Fe}^{2+}$  formant des ponts cationiques entre le feuillet argileux et l'humus. Les molécules électriquement neutres de l'humus peuvent quant à elles être fixées aux minéraux argileux par des forces de van der Waals ou par des liaisons hydrogène. Les MOS stimulent l'activité biologique du sol, consolidant ainsi la cohésion et la stabilité des agrégats via plusieurs mécanismes : (i) la sécrétion de substances agrégeantes à fort pouvoir collant comme les polysaccharides et les gommes ; (ii) l'enchevêtrement mécanique des particules minérales entre les hyphes mycéliens. Une agrégation stable procure une bonne structure au sol, une porosité plus élevée, et une protection contre l'érosion et la formation d'une croûte de battance [46].

#### 1.1.3.2. Effet de la matière organique sur la rétention en eau du sol

Une étude bibliographique faite par HUDSON [48] montre que la matière organique augmente la capacité de rétention du sol d'une manière significative et par la suite sa réserve utile. Il a été observé que l'augmentation de la rétention en eau du sol avec sa teneur en matière organique est plus importante à la capacité au champ qu'au point de flétrissement. De même, RAWLS et al [49] ont trouvé que la rétention en eau du sol dépend à la fois de la texture du sol et de la teneur en carbone organique du sol.

#### 1.1.3.3. Effet de la matière organique sur la réserve en éléments nutritifs du sol

La matière organique assure le stockage et la mise à disposition pour la plante et les organismes vivants du sol, par minéralisation, des éléments dont ils ont besoin [46]. L'enrichissement en matière organique contribue aussi à une élévation significative de la CEC, liée à la quantité de substances humiques, et en conséquence la capacité d'adsorption du sol, ce qui amplifie le stockage des éléments nutritifs nécessaires aux plantes [50 et 51].

#### 1.1.3.4. Effet de la matière organique sur le stockage du carbone dans le sol

La matière organique du sol peut jouer un rôle de puits ou d'émetteur de carbone, principalement sous forme de dioxyde de carbone. La séquestration du carbone organique dans les sols est un moyen de réduire la concentration en  $\text{CO}_2$  de l'atmosphère [46].

#### I.1.4. L'évolution des matières organiques dans le sol

##### I.1.4.1. Dynamique

La décomposition des résidus végétaux par les microorganismes entraîne l'évolution de la matière organique depuis une matière organique fraîche jusqu'à sa stabilisation sous une forme communément appelée humus. Au fur et à mesure de cette décomposition, les métabolites et matériaux cellulaires liés à l'anabolisme microbien sont relâchés dans le sol à la mort des cellules et y sont soumis à leur tour à la décomposition [52, 53]. Cependant, sous l'action de phénomènes physiques, une part de ces résidus microbiens se complexe peu à peu pour donner à très long terme une matière organique sans structure et très récalcitrante, de type colloïdale, qui est l'humus. Ainsi, l'humus a principalement une signature microbienne, qui lui confère cette richesse en N et P ; il est caractérisé par un désordre moléculaire qui ralentit considérablement sa décomposition par les enzymes et requiert de l'énergie.

Cette récalcitrance constitue la voie biochimique de stabilisation de la matière organique dans le sol. La matière organique du sol peut également être physiquement protégée de la décomposition via l'occlusion dans des agrégats ou par encapsulation hydrophobique [54 et 52]. Cela rend ainsi la matière organique du sol inaccessible aux enzymes extracellulaires et engendre des contraintes environnementales limitant l'activité microbienne. En effet, quand un résidu végétal est incorporé au sol, les microorganismes à sa surface commencent leur travail de décomposition et sécrètent des exo-polysaccharides qui vont les protéger de l'environnement extérieur mais également agréger des particules minérales pour former des micro-agrégats [55]. La décomposition se continue à l'intérieur de ces micro-agrégats jusqu'à ce que les microorganismes soient limités par les conditions environnantes. La stabilité structurale du micro-agrégat empêchant tout apport nouveau venant de l'extérieur (O<sub>2</sub>, nutriments...), la matière organique du sol est donc physiquement protégée de la décomposition. La récalcitrance biochimique et la protection physique permettent une stabilisation de la matière organique du sol sur le moyen terme. Enfin la matière organique du sol peut être protégée de la biodégradation en raison de ses caractéristiques chimiques et sa capacité d'adsorption sur les minéraux du sol. Ce mécanisme est

lié à la quantité et la qualité des limons et argiles présents dans le sol. Ceux-ci peuvent emprisonner la matière organique entre leurs feuillets de phyllosilicates et à plus forte raison dans les sols acides. Ce mécanisme permet ainsi une stabilisation physicochimique, sur le long terme, de la matière organique du sol dans des complexes organo-minéraux [35].

#### I.1.4.2. Minéralisation et séquestration

La décomposition de la matière organique entrant dans le sol comprend plusieurs étapes de dégradation des molécules organiques sous l'action de la faune du sol et des microorganismes. Cette dégradation progressive des molécules organiques entraîne la formation de molécules organiques stables accompagnée d'une libération de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère et de molécules inorganiques dans la solution du sol. Ce processus est la minéralisation. Les molécules inorganiques libérées peuvent ensuite être assimilées par les plantes, adsorbées sur la phase minérale du sol, perdues par lessivage ou être incorporées dans la biomasse microbienne et ainsi réintégrer la matière organique vivante du sol. Ainsi, la minéralisation ne mène pas systématiquement au déstockage de carbone ou d'éléments minéraux. L'humification est la formation de molécules organiques complexes et stabilisées dans le sol durant la décomposition de matière organique du sol. Dans les sols bien aérés, les molécules stables sont obtenues via la déstabilisation oxydative de la part labile de la matière organique du sol entraînant ainsi la polymérisation et la recombinaison de molécules organiques complexes. Ce processus d'humification conduit à un stockage dans le sol d'azote et de phosphore sous forme organique stabilisée dans le sol. La séquestration de carbone et d'éléments nutritifs est donc le résultat de l'équilibre entre minéralisation et immobilisation dans la biomasse [56]. Cette immobilisation dans la biomasse microbienne entraîne ainsi une séquestration sur le long terme car les dérivés microbiens ayant subi une déstabilisation oxydative sont plus réfractaires à la minéralisation que les dérivés végétaux de type cellulose ou même lignine. En effet, KALLENBACH et *al* en 2016 [57] ont pu montrer que la formation de résidus microbiens augmentait l'hétérogénéité chimique de la matière organique du sol, augmentant ainsi son potentiel déstabilisation physique et ses interactions avec les argiles. Cette

hétérogénéité de la matière organique du sol est dépendante de l'efficacité d'utilisation du carbone (CUE) de la communauté microbienne [57]. L'humification de la matière organique est donc couplée également à sa minéralisation. Un déterminant de la minéralisation peut faire diminuer la minéralisation et la séquestration, augmenter les deux, ou diminuer l'un et augmenter l'autre s'il joue sur l'efficacité d'utilisation du carbone des communautés microbiennes. Il a ainsi été montré qu'une hausse de la température augmentait la décomposition de la matière organique du sol par les microorganismes mais également la formation de matière organique dérivée de matériels microbiens. Une autre étude a montré qu'une hausse de température diminuerait dans un premier temps l'efficacité d'utilisation microbienne du carbone issu de la matière organique récalcitrante, entraînant ainsi une perte de carbone par respiration. Par contre, à long terme cette hausse de la température entraînerait plutôt une augmentation de l'efficacité d'utilisation du carbone CUE microbienne pour le carbone de la matière organique du sol récalcitrante, favorisant à nouveau l'incorporation dans la biomasse microbienne et ainsi la séquestration dans les sols [35].

#### 1.1.5. Rôle des éléments nutritifs de la matière organique chez les végétaux

Les éléments nutritifs assimilables par les végétaux sont retenus à l'intérieur de la matière organique et adsorbés sur ses surfaces [29]. La matière organique est un réservoir d'éléments nutritifs, qui grâce à la minéralisation peuvent être libérés et rendus disponibles pour l'absorption par les plantes ou d'autres organismes du sol.

Les tissus végétaux sont essentiellement constitués de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, que les plantes extraient de l'eau et du dioxyde de carbone. Les autres éléments nutritifs indispensables sont en général combinés avec ces éléments pour jouer différents rôles liés tantôt à la structure, tantôt au transfert d'énergie, tantôt aux réactions enzymatiques. Par commodité, les éléments nutritifs sont divisés en éléments nutritifs primaires, éléments nutritifs secondaires et oligo-éléments, ce qui reflète les quantités relatives exigées pour la croissance et la reproduction de la plante.

Les végétaux ont besoin d'éléments nutritifs en quantités suffisantes pour afficher une croissance optimale. Toute carence en l'un ou l'autre des éléments nutritifs indispensables amènera une baisse de rendement ou de qualité. Les besoins particuliers des cultures en éléments nutritifs dépendent aussi de facteurs environnementaux, comme une diminution de la croissance entraînée par une carence. Par exemple, une carence en potassium ou en chlorure peut accroître la susceptibilité d'une plante d'être malade et la réponse à ces éléments nutritifs peut donc être supérieure lorsque la maladie est présente [29].

A l'exception du carbone (C), les éléments nutritifs sont tous prélevés par la plante dans la solution du sol. On les répartit en deux catégories (classification quantitative):

- a) *Les macroéléments*, répartis en "éléments majeurs" et "éléments secondaires"; et
- b) *Les oligo-éléments* ou *les éléments traces*.

**Les Macro-éléments** sont nécessaires en grandes quantités et des applications importantes peuvent être indispensables si le sol est carencé en un ou plusieurs de ces éléments. Les sols peuvent être pauvres en éléments nutritifs, soit naturellement, soit à cause des prélèvements effectués par les cultures pendant plusieurs années ou encore du fait que l'on cultive des variétés à haut rendement (HYV) qui sont plus exigeantes en éléments nutritifs que les variétés locales. Contrairement aux macro-éléments, des quantités infimes de *micro-éléments* ou *oligo-éléments* suffisent à une croissance correcte des plantes et ceux-ci doivent être apportés en très petites quantités lorsque le sol n'est pas en mesure de les fournir. Parmi les *macro-éléments*, dont la plante a besoin en grandes quantités pour sa croissance, les principaux éléments sont *l'azote*, *le phosphore* et *le potassium* [58].

**Azote (N):** Il est le moteur de la croissance végétale. Il représente 1 à 4 pour cent de la matière sèche végétale. Il est prélevé dans le sol sous forme soit nitrique ( $\text{NO}_3^-$ ) soit ammoniacale ( $\text{NH}_4^+$ ). Il se combine aux composés du métabolisme des hydrates de carbone de la plante pour donner des acides aminés et des protéines.

Etant le constituant essentiel de protéines, il intervient dans les principaux processus de développement de la plante et de détermination du rendement. Un bon apport d'azote à la plante est aussi important pour l'absorption d'autres éléments nutritifs :

**Phosphore (P):** Il compte pour 0,1 à 0,4 pour cent de la matière sèche, et joue un rôle déterminant dans le transfert d'énergie. Ainsi il est indispensable à la photosynthèse et aux autres processus chimico-physiologiques de la plante. Il est essentiel à la différenciation cellulaire et au développement des jeunes tissus à partir desquels se fait la croissance de la plante. La plupart des sols cultivés et ceux non cultivés sont carencés en phosphore ou ont une fixation élevée vis-à-vis du phosphore limitant ainsi sa biodisponibilité.

**Potassium (K):** Il représente 1 à 4 pour cent de la matière sèche de la plante et ses fonctions sont multiples. Il active plus de 60 enzymes (substances chimiques qui gouvernent la vie). Il joue ainsi un rôle vital dans la synthèse des hydrates de carbone et des protéines. K améliore le régime hydrique de la plante et accroît sa tolérance à la sécheresse, au gel et à la salinité. Les plantes bien alimentées en potassium sont moins sensibles aux maladies [58].

**Les éléments secondaires** sont le *magnésium*, le *soufre* et le *calcium*. Ils sont également absorbés par les plantes en grandes quantités.

**Magnésium (Mg):** Il est le constituant central de la chlorophylle, le pigment vert des feuilles qui capte l'énergie fournie par le soleil: c'est ainsi que 15 à 20 pour cent du magnésium contenu dans la plante se trouvent dans les parties vertes. Mg intervient aussi dans les réactions enzymatiques relatives au transport de l'énergie dans la plante. **Soufre (S):** Il est un constituant essentiel des protéines. En outre, il intervient dans la formation de la chlorophylle. Il représente dans la plupart des plantes 0,2 à 0,3 (0,05 à 0,5) pour cent de la matière sèche. Il joue un rôle aussi important que le phosphore et le magnésium dans la croissance des plantes; mais son rôle est souvent sous-estimé.

**Calcium (Ca):** Il est indispensable pour la croissance des racines et aussi comme constituant des matériaux de la membrane cellulaire. Bien que la plupart des sols soient abondamment pourvus en calcium assimilable, une carence en Ca peut se produire en sols tropicaux fortement épuisés en calcium. Toutefois, l'application de

Ca est généralement considérée comme un chaulage qui vise à corriger l'acidité du sol. [58].

**Les oligo-éléments ou éléments traces** sont le fer (Fe), le manganèse (Mn), le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le molybdène (Mo), le chlore (Cl) et le bore (B). Ils font partie des substances clés de la croissance des plantes et sont comparables aux vitamines dans la nutrition humaine. Comme ils sont absorbés en quantités infimes, leur apport pour obtenir leur seuil optimal se situe à des niveaux très faibles. Leur disponibilité pour les plantes (biodisponibilité) dépend principalement de la réaction du sol. Une application abondante de bore peut avoir un effet défavorable sur la culture suivante dans la rotation. Certaines cultures peuvent tirer avantage d'autres *éléments nutritifs utiles* tels que le *sodium (Na)* pour la betterave, et la *silice (Si)* pour les céréales, qui renforce leurs tiges et, ainsi, leur résistance à la verse. Le *Cobalt (Co)* joue un rôle important dans le processus de fixation de l'azote par les légumineuses.

Par ailleurs, certains oligo-éléments peuvent être toxiques aux plantes, mais à des concentrations plus ou moins élevées par rapport à la normale. Dans la plupart des cas, cette toxicité se manifeste quand le pH est faible à très faible. Les toxicités aluminiques et manganiques sont les plus courantes. Elles ont une relation directe avec les sols acides. Il est important de savoir que tous les éléments nutritifs, que leurs besoins pour la plante soient importants ou très faibles, jouent chacun un rôle propre pour la croissance des plantes et la production alimentaire [58].

D'autres éléments chimiques sont également absorbés et peuvent être bénéfiques pour certaines plantes, mais ils ne sont pas indispensables à toutes les plantes pour leur croissance. Les engrais, le fumier et les résidus de récolte appliqués au sol augmentent l'apport d'éléments nutritifs [58].

## 1.2. Sources organiques d'éléments nutritifs : Les amendements organiques

Les sources organiques d'éléments nutritifs sont des matières qui renferment du carbone et qui ont déjà fait partie d'un organisme vivant [58].

Le terme amendement organique recouvre une très large gamme d'intrants, ayant des propriétés très variables [58]. Les amendements organiques sont le plus

souvent des produits principalement composés de résidus de végétaux, fermentés ou fermentescibles riche en humus, ils sont destinées à l'entretien ou à la reconstitution du stock de la matière organique du sol et à l'amélioration de ses propriétés physiques, chimiques et biologiques [61].

Il existe aussi des amendements organiques avec une moindre proportion de végétaux, notamment ceux à base de déjections animales [58].

Les amendements organiques libèrent une part plus ou moins importante d'éléments minéraux qui participent à la nutrition des plantes cultivées. Ce sont donc des engrais ils se différencient des engrais organiques par une teneur en azote, phosphate et potasse inférieure à 3 % du produit brut pour chaque élément [61]. En plus les pourcentages en matière sèche et en matière organique (sur produit brut), doivent être respectivement inférieurs à 30% et supérieurs à 20%. L'ITAB (2001) considère comme amendements organiques, la fraction fermentescible des déchets d'une part et les composts qui en résultent d'autre part [62].

### I.2.1. Influence des amendements organiques sur la fertilité du sol

#### I.2.1.1. Influence des amendements organiques sur les propriétés physiques du sol

TEJADA *et al.* [63] ont étudié la stabilité structurale d'un sol 4 ans après l'enfouissement d'amendements organiques. Ils obtiennent un effet notable de la perméabilité hydrique du sol, de la capacité de rétention en eau et de la densité apparente du sol. Ces résultats ont été obtenus bien avant par Kielh [64] après un épandage de compost sur une période de cinq ans.

Ces résultats montrent que l'effet des amendements organiques sur les propriétés physiques du sol est perceptible uniquement lorsque les épandages se font sur une période assez longue [62].

#### I.2.1.2. Influence des amendements organiques sur les propriétés chimiques du sol

SNAPP et *al.* [65] montre qu'en se décomposant, la matière organique libère plusieurs éléments nécessaires à la croissance des plantes. C'est en effet la source de presque la totalité de l'azote et du soufre absorbés par les plantes dans un sol n'ayant pas reçu d'apport de ces éléments sous forme d'engrais. La décomposition de la matière organique fournit aussi d'importantes quantités de phosphore, de potassium, de calcium, de magnésium, de bore, de molybdène ainsi que du cuivre et du zinc. La libération de ces éléments est lente et progressive, en harmonie avec les besoins nutritionnels de la plante qui sont échelonnés dans le temps. Le rythme de libération maximum a lieu lorsque les conditions de température et d'humidité sont favorables à la fois pour l'activité des microorganismes du sol et pour la croissance rapide des cultures. Ceci confère à la matière organique un avantage certain sur les engrais minéraux azotés et soufrés, qui tendent à être drainés par les eaux de lessivage [66]. Ces auteurs expliquent ceci par l'hypothèse selon laquelle les colloïdes humiques ont une capacité d'échange cationique élevée qui confère à la matière organique la capacité de mieux retenir les engrais, assurant ainsi une meilleure nutrition des cultures. Cette hypothèse est vérifiée par BENGTON et *al.* [67] qui signalent un modeste accroissement de la capacité d'échange cationique (CEC) d'un sol argileux après épandage de doses importantes de composts.

En se décomposant, les amendements organiques libèrent certains anions (citrate, oxalate, tartrate, lactate) qui ont plus d'affinités avec les cations  $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$  et autres métaux lourds que l'ion  $H_2PO_4$ . Ainsi, les anions organiques vont se combiner avec ces métaux lourds libres pour former des molécules complexes, débarrassant ainsi la solution du sol de ces cations métalliques. Partis sur cette hypothèse, Vishnu et *al.* [68] montrent que l'enrichissement d'un compost avec des oxydes de fer réduit la capacité d'absorption du cuivre par une graminée (*Lolium perenne L.*). Les mêmes auteurs montrent que la combinaison compost/zéolite réduit la capacité d'absorption du cadmium sur la même plante [62].

#### 1.2.1.3. Influence des amendements organiques sur la biologie du sol

L'enrichissement des sols en matières organiques par épandage d'amendements organiques influence significativement les propriétés biologiques

du sol [63]. Bien avant, CUINIER [69] a montré que le compost a un rôle proche de celui du fumier dans la stimulation de la micro flore d'un sol de vignoble. Cette stimulation peut jouer un rôle important dans l'absorption des éléments nutritifs. L'impact des amendements organiques sur la microflore tellurique a été confirmé par ONWUENE et al [70] qui montrent que la matière organique en se décomposant fournit un substrat nutritif pour la multiplication d'organismes du sol dont l'activité est en retour bénéfique au sol et aux plantes [62].

#### 1.2.1.4. Influence des amendements organiques sur les cultures

Les divers effets d'une application des amendements organiques sur les caractéristiques physiques, chimiques et microbiologiques du sol se traduisent le plus souvent sur la plante par une meilleure croissance et une augmentation de rendement par rapport aux témoins. Cet effet est plus perceptible sur le rendement frais que sur le rendement sec, même en condition d'alimentation d'eau favorable.

Tout récemment, BUSTAMANTE et al [71] ont testé sur la culture de la laitue deux co-composts. Ces derniers sont constitués d'un mélange de sous-produits agro industriels et des déchets d'élevage. Les résultats de ces travaux montrent que les co-composts n'ont pas eu d'effet significatif sur la germination de la laitue. Cependant une différence a été observée sur la masse fraîche. Les auteurs expliquent ces résultats par l'amélioration de la fertilité du sol que l'on observe à la suite des épandages [62].

#### 1.2.1.5. Rôle des amendements organiques dans la lutte

En plus de leur effet sur la structure du sol Les amendements organiques modifient également la structure des peuplements de nématodes. L'utilisation d'amendements organiques du sol est une pratique culturelle traditionnelle visant à améliorer la fertilité, la structure du sol; et ses caractéristiques chimiques, ainsi que l'amélioration de la nutrition des plantes et la stimulation de l'activité biologique globale. Il est également connu comme méthode de lutte contre les maladies des sols, y compris les nématodes phytoparasites. Les amendements organiques peuvent également être appliqués dans les systèmes d'agriculture biologique ou durable et permettre aux agriculteurs conventionnels de réduire leur

utilisation de nématicide. De nombreux types d'amendements organiques ont été testés pour la lutte contre le nématode, Plusieurs facteurs interviennent dans ce phénomène [19].

- Emission de composés toxiques. Les matières organiques à carbone-azote de rapport C/N inférieur à 15, dégageant de fortes quantités d'ammoniac et de produits dérivés sont les plus intéressants car ce gaz affecte sérieusement la survie de certains nématodes (en particulier les *Meloidogyne*) et la germination de certains champignons (notamment les champignons à sclérotés : *Verticillium spp*, *Sclerotium rolfsi*, *Sclerotinia spp*, *Rhizoctonia spp...*). L'acide nitreux ( $\text{HNO}_2$ ), autre produit de dégradation de la matière organique, tue les microsclérotés de *Verticillium dahliae*. Toutefois, ces matières organiques riches en carbone peuvent, elles aussi, avoir un effet suppressif sur certains nématodes et champignons grâce aux composés phénoliques et aux tannins qu'elles contiennent [72].

- Augmentation de la température du sol lors de la minéralisation de la matière organique. Cet effet peut améliorer l'efficacité des traitements par solarisation. L'effet suppressif des composts sur les champignons telluriques a été montré essentiellement en mélanges en pot (culture sous abri). Leur efficacité est souvent liée à des apports très importants. Cependant des effets positifs ont été observés au champ, même à faible dose [73].

## 1.2.2. Les amendements organiques utilisés en agriculture

### 1.2.2.1. Le compostage et le vermicompost

Le compostage est un processus de décomposition et de transformations contrôlées de produits organiques sous l'action de populations microbiennes évoluant en milieu aérobie [74]. Selon DEVISSCHER [75], le compostage consiste en une fermentation en présence de l'oxygène de l'air des déchets organiques pour obtenir un amendement riche en humus. Pour DE BERTOLDI et al [76] et LECLERC [77], le compost est un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques d'origine végétale et animale par une succession de communautés microbiennes évoluant en condition aérobie, entraînant une montée de température et conduisant à l'élaboration d'une matière organique riche en

humus et stabilisée. Pour la FAO [78], le compostage est un processus naturel de dégradation et de décomposition de la matière organique par les microorganismes. Dans un objectif de valorisation, le compostage représente une stratégie de transformation de la matière organique en produit de qualité constituant un amendement organique intéressant pour les sols [79].

Le vermicompost est un type particulier de compost. Il résulte de l'interaction entre les vers épigés et les microorganismes qui décomposent la MO dans des conditions non thermophiles [80]. Les deux principaux types de vers utilisés pour le vermicompostage sont *Eisenia andrei* et *Perionyx excavatus*. Les deux sont souvent appelés « vers rouges » ou « vers du fumier ». L'action des vers de terre dans ce processus est à la fois physique (fragmentation et aération) et biochimique (minéralisation, humification). Ces vers peuvent consommer pratiquement tous les types de déchets organiques et peuvent consommer quotidiennement plus que leur propre poids [81]. Les déjections des vers de terre sont riches en nitrates, et en formes disponibles de P, K, Ca et Mg. La consommation des substrats organiques par les vers de terre favorise également la croissance des bactéries et des actinomycètes.

Comme les vers de terre ont besoin d'une température allant de 0 à 35°C (la température optimale étant de 25°C, les systèmes de vermicompostage prévus pour fonctionner toute l'année doivent être conçus en fonction du climat. Le processus ne dégage pas d'odeurs et il ne produit pas de chaleur [82].

#### 1.2.2.1.1. Les effets du lombricompost sur la qualité des sols

Comme le compost, le lombricompost a un grand potentiel pour améliorer la qualité des sols et les rendements des cultures. Le lombricompost est un produit plus homogène avec une structure plus fine, et plus riche en éléments nutritifs solubles et disponibles pour les végétaux, en comparaison avec les composts traditionnels [83 et 84]. Du point de vue strictement chimique, Ndegwa et al [84] a montré que les excréments de vers de terre sont plus riches en nitrates et autres éléments fertilisants majeurs sous leurs formes solubles, comme le phosphore, le potassium, le magnésium et le calcium que les matières organiques de départ. Selon ALBANELL et al [85], le lombricompost possède un taux de sels solubles

inférieurs, une capacité d'échange cationique supérieure et un plus fort taux de substances humiques par rapport aux matériaux initiaux. De plus, les nutriments y sont présents sous une forme plus facilement assimilable, ce qui laisse supposer un intérêt particulier pour la fertilisation organiques des cultures. Il a été démontré par des expérimentations effectuées en serre, ainsi que via des essais au champ que le lombricompost peut augmenter le taux de croissance des plantes ACEVEDO et al [87] ; CANELLAS et al [88] confirma la présence d'hormones de croissance végétales en relation avec l'humus du lombricompost et remarqua que ces dernières améliorent la croissance des racines et la formation de sites d'initiation de racines latérales chez le maïs exposé aux acides humiques issus du lombricompost du fumier de vache.

#### 1.2.2.1.2. Les effets du lombricompost sur la croissance des végétaux

C'est le domaine où l'on a obtenu les résultats les plus intéressants et les plus convaincants. Nombre de chercheurs ont constaté que le lombricompost stimule encore la croissance des plantes même si elles reçoivent déjà une nutrition optimale. ATIYEH et al [86] ont effectué une analyse élaborée de la littérature portant sur ce phénomène. Ils soulignent que « ces études ont prouvé à maintes reprises que les déchets organiques vermicompostés ont des effets bénéfiques sur la croissance des végétaux indépendamment des transformations nutritionnelles et de la disponibilité. Qu'ils soient utilisés comme amendements ou qu'ils entrent dans les milieux d'horticulture hors-sol, les lombricomposts ont à maintes reprises amélioré la germination, la croissance et le développement des semis, et accru la productivité des plantes beaucoup plus qu'il ne serait possible avec la simple transformation de substances minérales nutritives en vue de les rendre plus disponibles. » De plus, les auteurs font état d'une découverte déjà signalée par d'autres [89] : l'apport bénéfique maximum du lombricompost est obtenu à des proportions de 10 à 40 % du substrat de culture. Il semble qu'au-dessus de 40 %, l'apport de lombricompost n'est plus bénéfique et qu'il peut même se traduire par une baisse de la croissance ou du rendement, Arancon [89] envisage la possibilité que les réactions observées sur le plan de la croissance soient attribuables à une activité de type hormonal associée aux taux élevés d'acides humiques et d'humates dans les lombricomposts : « il est fort possible

que les régulateurs de croissance, relativement éphémères, soient adsorbés aux humates et agissent de concert avec eux pour influencer la croissance des végétaux. » Cet important concept -le lombricompost contiendrait des régulateurs de croissance bénéfiques à la croissance et au rendement- a été mentionné et a fait l'objet d'études plus poussées de la part de plusieurs chercheurs [91]

#### 1.2.2.1.3. Les effets du lombricompost sur la résistance aux maladies

Au cours des dernières années, MUNROE [90] a fait état d'une somme de rapports non scientifiques quant à la capacité du lombricompost à protéger les végétaux contre diverses maladies. La théorie sous-jacente à cette affirmation est que les teneurs élevées en micro-organismes bénéfiques du lombricompost protègent les plantes en concurrençant les organismes pathogènes sur le plan des ressources (autrement dit, en les affamant), tout en bloquant également leur accès aux racines par une occupation des sites disponibles. Cette analyse s'appuie sur le concept de « réseau trophique du sol », une approche fondée sur l'écologie du sol mise de l'avant par la Dre Elaine Ingham. Le travail sur cette caractéristique du lombricompost en est encore à ses débuts, mais les recherches menées tant dans le laboratoire de la Dre Ingham sont très prometteuses. Chercheurs de cette institution, EDWARDS et al [92] rapportent qu'ils ont « étudié les effets d'assez faibles applications de lombricomposts commerciaux sur des infections de pythium (concombres), de rhizoctone (radis de serre), de verticilliose (fraises), d'excoriose et d'oïdium (vignes). Dans toutes nos expériences, les applications de lombricompost ont réduit notablement l'incidence de la maladie. » Les auteurs ajoutent que l'élimination des pathogènes cessait après la stérilisation du lombricompost, ce qui indique que le mécanisme en jeu fait appel à un antagonisme microbien [90].

#### 1.2.2.1.4. Les effets du lombricompost sur les ravageurs

La recherche dans ce domaine est assez récente, et les résultats manquent de consistance. Néanmoins, les preuves semblent s'accumuler quant à l'effet parfois répulsif des turricules de vers sur des ravageurs à corps rigide ; [89 et 92]. Il reste encore à déterminer pourquoi ces effets ne sont pas constants. George

Hahn, un producteur californien de lombricompost, propose une explication, tout en affirmant que son produit repousse de nombreux insectes nuisibles différents : ce serait dû à la production de chitinase par les vers, une enzyme qui détruit la chitine de l'exosquelette des insectes [90]. Des tests indépendants de son produit n'ont, toutefois, pas donné de résultats uniformes [90]. ARANCON [89], croit que ce potentiel existe mais que les facteurs sont complexes et qu'ils sont liés à l'ensemble du réseau trophique du sol plutôt qu'à une unique substance comme la chitinase. Dans une recherche récente, EDWARDS et al [92] rapportent des diminutions statistiquement significatives des populations d'arthropodes (pucerons, cochenilles, tétranyques) et des réductions corollaires des dégâts infligés aux plantes dans des essais portant sur la tomate, le poivron et le chou grâce à des ajouts de 20 % et 40 % de lombricompost au Metro Mix 360 (témoin). Ils signalent également une suppression significative des nématodes endoparasites au cours d'essais en champs sur des poivrons, des tomates, des fraises et du raisin. Il faudra cependant davantage de recherches avant qu'on puisse considérer le lombricompost comme une solution de rechange aux pesticides ou aux autres méthodes non toxiques de protection phytosanitaire [90].

#### 1.2.2.2. Les amendements mixtes et les fumiers de ferme

De tous les amendements organiques, c'est le fumier qui est le plus abondamment produit et le plus communément employé dans la fertilisation des terres. C'est un engrais mixte, formé de substances animales (déjections) et de litières (paille) qui participe à la fois des propriétés des substances fertilisantes animales et végétales. Son importance agricole est considérable. La composition du fumier, et par suite sa valeur fertilisante, varie beaucoup avec la nature des animaux qui le produisent, leur mode d'alimentation; le genre et la quantité de litière, enfin le mode de préparation et de conservation [94].

##### 1.2.2.2.1. Les éléments constitutifs du fumier

La texture des fumiers animaux varie en fonction principalement de la teneur en eau des déjections animales, des quantités de litières utilisées et de leur teneur en eau. Les fumiers peuvent également contenir des refus d'alimentation, de la terre ou de l'eau qui influenceront sa teneur en eau et sa texture. La texture

des déjections animales varie en fonction du type d'animal, de la diète et de leur stade de croissance. De façon générale, les bovins à l'engraissement produiront des déjections semi-solides [95]. Le fumier animal est constitué par :

**Les déjections solides** : La quantité de déjections rendues par les animaux de la ferme varie également avec le régime auquel ils sont soumis, L'aspect physique de ces déjections solides varie, elles sont plus ou moins aqueuses, plus ou moins actives et aussi de composition chimique variables ; ainsi les fumiers produits par les chevaux, par exemple, ' n'ont-ils pas les mêmes propriétés que les fumiers de bovidés par exemple. La plupart du temps on les mélange tous, pour produire du fumier mixte. Cependant les fientes de moutons contiennent moins d'eau, mais renferment plus d'azote; celles des bovidés, au contraire, sont très aqueuses et très pauvres en azote [94].

**Déjections liquides** : Sont beaucoup plus riches en azote, ce qui montre tout l'intérêt qu'il y a à les recueillir avec soin, non seulement dans la masse des fumiers, mais encore dans les fosses à purin. Les quantités émises sont également très variables, suivant le genre d'animaux et la nourriture plus ou moins aqueuse qu'ils reçoivent. Quant à la composition chimique, plus encore que pour les déjections solides, elle varie avec le régime auquel les animaux sont soumis.

**Les litières** : La distribution des litières n'a pas seulement en but la production du fumier, elle vise encore, et surtout, le bien-être et l'hygiène des animaux de travail et de rente entretenus dans la ferme. Aussi le choix de ces matières est-il très important puisqu'il vise un double but. Heureusement, sous ce rapport, l'agriculteur n'a que l'embarras du choix ci-dessous les types de litières qui existent

- **Litières de paille** : Une litière, quelle qu'elle soit, doit réunir trois conditions : Constituer pour les animaux un coucher convenable ; avoir les propriétés absorbantes poussées au humus haut degré ;et être riches en azote et en matières minérales.
- **Les pailles de céréales**, en raison de leur élasticité de leur flexibilité réunissent parfaitement la première condition. De plus, leur texture tubulaire leur permet d'absorber très facilement les liquides des étables et d'en retenir une quantité plus forte de toutes les autres matières; enfin,

elles contiennent d'assez fortes quantités d'azote, moins cependant que les fanes des légumineuses, mais ces dernières n'ont pour ainsi dire que cette unique qualité, constituent aux deux autres points de vue, des litières fort médiocres.

- **Autres litières** : Indépendamment des pailles des céréales, on se sert quelquefois, comme litière, de fanes de colza, de féveroles, de pois, de pommes de terre, dans quelques pays même on emploie les bruyères, les fougères, les varechs, les feuilles mortes, et depuis quelques années la tourbe au sujet de laquelle on a fait beaucoup de bruit. Il en est de même de la sciure de bois et de la tannée [94].

#### 1.2.2.2. Les effets des fumiers animaux

L'application des fumures organiques a contribué à augmenter les rendements de nombreuses plantes. En outre, cette fumure se révèle souvent plus efficace que la fertilisation minérale [96]. Des études menées par ZOUGMORE et al [97] ont montré que l'application du fumier permet d'obtenir des rendements 20 à 39 fois le rendement obtenu sans aucun amendement.

Les amendements organiques d'origine animale se présentent sous forme sèche ou liquide selon la manière dont ils sont stockés. Leur teneur en éléments minéraux dépend de l'espèce animale, des aliments consommés par les animaux et des modalités de stockage des déchets [98].

Le fumier ou le compost d'origine animale est l'un des amendements organiques les plus populaires pour les sols. Outre les composés toxiques produits par le fumier dans le sol, la suppression des nématodes peut également être causée par des changements dans la microfaune et la microflore du sol et par l'augmentation des populations et des activités des microorganismes antagonistes des nématodes; toutefois, il n'a jamais été démontré qu'il existe une relation claire entre les effluents d'élevage, les microorganismes antagonistes et la suppression des nématodes. Encore une fois, la suppression des nématodes peut être fortement affectée par le type et la dose de fumier, ainsi que par sa microflore endogène [19].

### 1.2.2.3. Les amendements organiques d'origine végétale et les résidus végétaux

Selon le Soil Science Society de 1965, un engrais vert est un matériel végétal incorporé vert dans le sol, après le stade de maturité, avec le but d'améliorer le sol dans sa fertilité. Il peut s'agir de toute sortes de matière végétale (brindilles, feuilles, plantes...). De nos jours, les engrais verts sont des cultures souvent insérées dans les plannings de rotation en tant qu'inter-culture. Ceci a pour but de créer une couverture végétale sur le sol jusqu'à leur destruction, par broyage ou gel, et leur enfouissement [99]. Les engrais verts jouent un rôle important dans le maintien ou l'augmentation de la fertilité des sols : ils protègent et améliorent la structure, stimulent l'activité biologique, et permettent une meilleure disponibilité des éléments fertilisants pour la culture [100].

#### 1.2.2.3.1. L'effet des engrais verts sur le sol et les cultures

Les engrais verts permettent une meilleure croissance de la culture par la suite en améliorant la structure du sol. Une meilleure croissance des plantes signifie un meilleur état sanitaire et donc une meilleure résistance aux maladies. Lorsqu'un débris végétal atteint le sol, il est rapidement colonisé par des bactéries et des champignons qui attirent d'autres acteurs de la méso-faune du sol. En fournissant de la matière organique, les engrais verts stimulent la vie du sol. Pour un maximum d'animation, il faut enfouir les plantes lorsque l'activité biologique est à son maximum soit, au printemps ou en été [100].

#### 1.2.2.3.2. L'effet des engrais verts sur la matière organique et les éléments nutritifs

Selon ALLISON, plus la production d'humus est grande, plus le taux de la matière fraîche dégradable incorporée est grande [101]. Les engrais verts ne permettent pas d'augmenter le taux de matière organique de manière durable car ils sont très peu lignifiés et donc leur matière organique est très peu humifiable. Par contre, ils assurent la disponibilité en matière organique vite dégradable. Selon LÖHNIS [102], la mise en place des engrais verts ne sert pas à augmenter la quantité de matière organique, mais à la diminuer parce que la culture des engrais verts implique des perturbations du sol ce qui favorise une oxydation accélérée et donc une dégradation accélérée de la matière organique [100].

Cependant Les engrais verts piègent les éléments en profondeur dans le sol et les remontent en surface, ce qui facilite leur accès pour la culture suivante. Les capacités à piéger l'azote sont différentes d'une espèce à l'autre. Les brassicacées ont une forte puissance à piéger l'azote, ceci, grâce à leur développement rapide. Les légumineuses elles, captent d'abord l'azote du sol avant de capter l'azote atmosphérique. A côté de ces objectifs il y en a d'autres, qui sont pris en compte avec une installation d'engrais verts : ils sont pris en compte dans la partie « matériel et méthodes ». Tous les objectifs ont influencé le choix des espèces utilisées comme engrais vert [100].

#### 1.2.2.3.3. L'effet des engrais verts sur les populations des nématodes

Les cultures de couverture et les engrais verts sont des amendements organiques très populaires pour la fertilité des sols et le contrôle des maladies du sol. L'incorporation de résidus végétaux augmente généralement le nombre de nématodes vivants libres, mais l'augmentation de certains genres de nématodes peut être influencée par le type de résidus végétaux [103], qui peuvent à leur tour affecter les organismes antagonistes, comme les nématodes prédateurs et les champignons parasites. L'incorporation du sunnhemp (*Crotalaria juncea*) dans le sol a augmenté le nombre de champignons piégeant-nématode, de champignons parasites des œufs de *Rotylenchulus reniformis*, de parasites au stade vermiforme et de nématodes bactérivores plus efficacement que les modifications apportées par *Brassica napus* ou *Tagetes erecta* [104]. Comme on l'a mentionné plus tôt, on a suggéré que les composés fongicides et nématicides présents dans ces derniers végétaux inhibaient l'augmentation des populations de nématodes libres, ce qui, à son tour, inhibait le développement d'organismes antagonistes des nématodes phytoparasites [19].

#### 1.2.2.4. Les algues marines et les matières chitineuses

##### 1.2.2.4.1. Les algues marines dans l'agriculture

Depuis longtemps, les algues sont utilisées dans les régions côtières comme fertilisants pour les sols. Leur utilisation est déjà mentionnée au XVI<sup>ème</sup> siècle dans les fermes écossaises proches des côtes.

Initialement employées entières, sous forme d'amendement organique, les algues sont actuellement de plus en plus utilisées sous forme d'extraits liquides. Les premières pulvérisations foliaires d'extraits d'algues sur les plantes ont eu lieu en 1950, époque où le concept de nutrition des plantes était encore fondé sur le principe que les racines étaient les organes d'absorption des éléments minéraux du sol et les feuilles ceux de l'assimilation carbonée. Bien que la nutrition foliaire soit déjà utilisée à cette époque pour corriger les carences en oligoéléments, elle ne s'est développée dans le cadre de la fertilisation générale des plantes que vers les années 1960, favorisant la vente d'extraits d'algues. Depuis cette époque, de nombreux essais ont été entrepris pour montrer l'efficacité de ces produits. Toutefois, beaucoup d'articles ont été écrits dans un intérêt plus commercial que scientifique, et doivent donc être considérés avec prudence. Divers effets phytoactifs de ces extraits d'algues marines ont cependant pu être mis en évidence malgré des résultats parfois irréguliers [105]. Une synthèse bibliographique des effets observés suite à l'application de ces extraits sur les plantes cultivées a été réalisée par JOLIVET et al [106]. De nombreux effets bénéfiques y sont rapportés, tel l'amélioration du taux de germination, l'augmentation des rendements, l'augmentation de la résistance au froid, à certaines maladies, l'intensification de l'absorption des éléments minéraux du sol ou encore la durée de conservation des fruits [105].

A l'heure actuelle, les mécanismes d'action de ces extraits ne sont pas connus de façon satisfaisante. Quels que soient leur origine, ou leur mode de préparation, ces extraits sont très complexes et renferment de nombreux éléments minéraux et constituants organiques. Aujourd'hui, on s'accorde à dire que les algues marines contiennent quatre types de composants particulièrement intéressants : (i) colloïdes, (ii) acides aminés et éléments minéraux, (iii) sucres et (iv) phytohormones [105].

Plusieurs phytohormones ont été identifiées dans des produits obtenus au départ d'algues marines. Ainsi, on trouve la présence d'auxines et cytokinines dans la

plupart des extraits. La présence de gibbérellines a aussi été constatée dans les produits frais, mais leur activité chute drastiquement jusqu'à des niveaux négligeables suite au conditionnement. L'acide abscissique a également été identifié dans ces produits [105].

Bien que le mode d'action des extraits d'algues ne soit pas entièrement élucidé, les effets observés suite à l'application de ces produits proviendraient essentiellement des phytohormones et des polysaccharides. Les phytohormones présentes en faibles quantités (principalement cytokinines) agiraient au niveau du développement des organes, tandis que les polysaccharides seraient impliqués dans la stimulation des réactions de défenses naturelles des plantes (*éliciteurs*). La présence de mannitol et d'acide alginique contribuerait également à l'absorption et la translocation des éléments minéraux grâce à leur propriété chélatante. Quant aux éléments minéraux présents dans les extraits d'algues, ils ne contribueraient que pour une portion insignifiante aux besoins de la plante traitée, vu la faible quantité de produit appliquée [106].

#### 1.2.2.4.2. L'effet des algues marines sur les fonctions végétales

Les algues marines et les matériaux chitineux ont attiré une attention particulière pour leur lutte contre les nématodes et les maladies fongiques du sol, car la chitine est présente dans les coquilles d'œufs de nématodes ainsi que dans les parois cellulaires de la plupart des champignons phytopathogènes. L'épandage de ces matières dans le sol augmente le nombre de microorganismes chitinolytiques et l'activité de la chitinase dans le sol, ce qui à son tour a des effets néfastes sur les nématodes et les champignons [19]. L'amendement du sol avec des matériaux chitineux a entraîné la suppression des nématodes par au moins deux mécanismes différents. Premièrement, la suppression des nématodes est apparue peu de temps après l'application de la modification en raison des composés azotés toxiques, principalement l'ammoniac et l'acide nitreux [107]. Deuxièmement, une suppression qui a duré même après l'épuisement des composés azotés toxiques ou qui n'est apparue que quelques mois plus tard pourrait être causée par l'augmentation du nombre et de l'activité des organismes antagonistes [19].

#### 1.2.2.4.3. Les produits chitineux dans l'agriculture

Au niveau de l'agriculture, la chitine et le chitosane sont capables de déclencher chez les plantes des mécanismes de défense contre les infections et les agressions parasitaires à des doses très faibles (de l'ordre de quelques mg par m<sup>3</sup> d'eau). Le chitosane sert ainsi d'enrobage de semences des céréales. Il renforce par la même occasion le système racinaire et induit l'épaississement de la tige. De tels effets physiologiques ne peuvent conférer à la plante qu'une meilleure résistance lors de la germination et conduire à de meilleurs rendements lors de la période de récolte. En outre, le chitosane a une action fongicide propre. Le chitosane a été décrit pour agir comme un éliciteur, en effet, plusieurs plantes possèdent des enzymes chitinolytiques, qui les aident à se défendre contre les agresseurs de pathogènes, tels que les champignons. L'introduction du chitosane dans le milieu de croissance stimule la production d'enzymes chitinolytiques dans les plantes, les rendant ainsi plus résistantes à leurs agresseurs naturels [108].

#### 1.2.2.5. Les bio-stimulateurs

Les bio-stimulants des plantes contiennent une ou des substances ou microorganismes dont la fonction est, après application à la plante ou dans la rhizosphère, de stimuler les processus naturels pour stimuler ou augmenter l'absorption des éléments nutritifs, leur efficacité, la tolérance aux stress abiotiques, et la qualité des récoltes. Les bio-stimulants n'ont pas d'action directe vis-à-vis des agents pathogènes et de ce fait ne tombent pas sous le coup de la réglementation des pesticides [109].

Les auteurs classent les biostimulants en fonction de divers critères tels que l'origine et la nature des ressources utilisées pour leur fabrication, leur fonction, leur utilisation ou type d'effets observés. On retrouve une classification allant de 9 groupes de matières premières décrits par IKRINA et al [110] à 5 groupes décrits par TORRE et al [111] qui sont pour ce dernier : les substances humiques, les extraits d'algues, les hydrolysats de protéines et acides aminés, les sels inorganiques et les micro-organismes (bactéries et champignons bénéfiques). Selon les travaux de YAKHIN et al [112], on retrouve par exemple les substances humiques décrites comme des amendements de sols pour la santé des plantes, tandis que les PGPRs (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) sont classés comme des biofertilisants, phytostimulants et biopesticides. DU JARDIN [113]

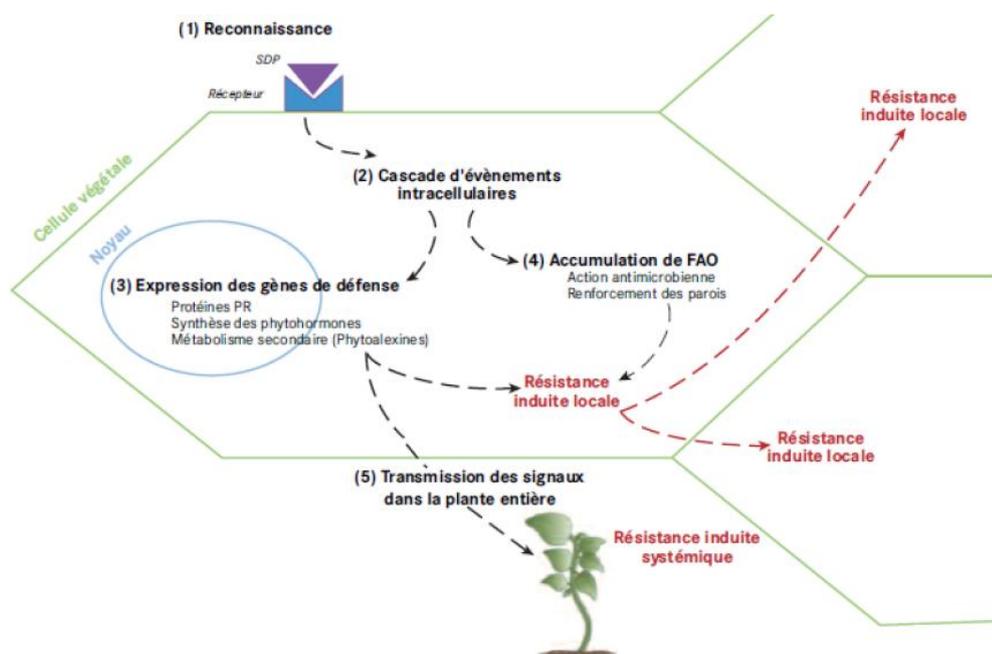
considèrent les biofertilisants comme une sous-catégorie de biostimulants. Les extraits d'algues et les micro-organismes sont considérés par d'autres auteurs comme des biofertilisants.

En considérant ces définitions, décrites précédemment, la classification des produits « biostimulants », mise en regard de celle des biofertilisants ou biopesticides se fait dans la catégorie des produits de protection des plantes et fertilisants de composition chimique inconnue, mais dont les effets sur la croissance ou la protection des plantes ont été clairement identifiés. Ils sont donc tous les trois, issus de ressources naturelles, à l'opposé des produits issus de la chimie de synthèse, dont les principes actifs et les mécanismes d'action sont connus, tels que les régulateurs de croissance, les pesticides et les fertilisants minéraux. La classification par origine, telle que proposée par les auteurs, ne donne a priori pas d'information sur le mode d'action des produits, mais permet de comparer plus aisément les produits entre eux [114].

Ainsi, la composition chimique des biostimulants et biofertilisants est complexe et les principes actifs méconnus. Cependant, les connaissances sur les modes d'actions et mécanismes évoluent rapidement en raison de l'augmentation des travaux scientifiques dans ce domaine au cours de ces dernières années. D'après les études bibliographiques recensées par YAKHIN et *al* [112] et FAESSEL et *al* [115], les principaux modes d'actions des biostimulants se déclinent de la manière suivante :

- (i) La stimulation de la germination, de la croissance racinaire, de la mise en place et de la croissance des plantes, de la photosynthèse, de l'absorption des nutriments du sol (Azote, Phosphore...), de la résistance au stress biotique, du métabolisme de N et P du sol, de l'activité microbienne des sols ;
- (ii) La réduction ou l'amélioration des effets négatifs des facteurs de stress abiotiques (sécheresse, chaleur, froid, salinité, oxydation, stress mécaniques ou chimiques). Les mécanismes impliqués dans la mise en place d'une résistance induite porteraient sur 5 étapes clés que sont :

- la reconnaissance des principes actifs sur des récepteurs spécifiques permettant la pénétration des molécules actives dans les cellules et tissus ;
- la translocation et la transformation dans les plantes ;
- L'expression de gènes de défense, de signaux et de régulation du statut hormonal permettant une résistance locale induite;
- L'activation du processus métabolique et enfin,
- La transmission de signaux et l'intégration de la résistance induite à la plante entière (Figure I.5) [114].



**Figure I.5 :** Schématisation de la mise en place des réponses de défense de la plante suite à la reconnaissance d'un éliciteur [114].

## CHAPITRE II

### Les nématodes à galles du genre *Meloidogyne*.

Les espèces endoparasites de nématodes sont les espèces les plus nuisibles à l'agriculture à l'échelle de la planète [116]. Parmi celles-ci, les nématodes à galles du genre *Meloidogyne* se placent en tête par leur impact économique et l'intérêt scientifique qui leur est porté [117]. La distribution mondiale des nématodes à galles et leur grande polyphagie expliquent en grande partie cette importance [116]. Dès 1965, plus de 5500 espèces de plantes

susceptibles d'être parasitées par ce groupe de nématodes avaient été répertoriées [118]. La plupart des espèces végétales cultivées sont en fait touchées par ces parasites. A ce jour 98 espèces appartenant au genre *Meloidogyne* sont décrites [117] parmi lesquelles quatre espèces, *M. incognita*, *M. arenaria*, *M. javanica* et *M. hapla* sont responsables à elles seules de 90% des dégâts engendrés par ces nématodes au niveau mondial [119]. *M. incognita*, dont le génome a été séquencé en 2008 [120], est l'espèce modèle du genre. Avec les modifications climatiques et les échanges commerciaux accrus, des espèces décrites plus récemment telles que *M. enterolobii*, *M. floridensis* et *M. ethiopica* sont en émergence. Les nématodes à galles contiennent également les espèces de quarantaine, *M. chitwoodi* et *M. fallax*, uniquement présentes dans les régions septentrionales sur les espèces annuelles [116].

### II.1. Systématique des nématodes à galles

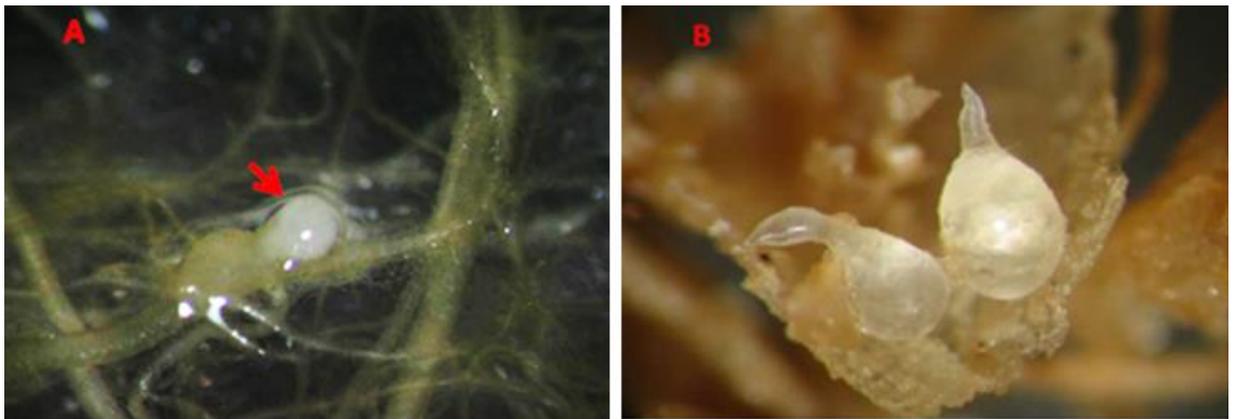
Les nématodes à galles sont des animaux de l'embranchement des Nemathelminthes du phylum des Nematoda. La classification complète de l'espèce *Meloidogyne javanica* est décrite ci-dessous [121 ; 122] d'après HUNT et al [123] :

- Phylum :** Nematoda (Cobb, 1919)
- Classe :** Secernentea (Von Linstow, 1905)
- Sous-classe :** Diplogasteria (Inglis, 1983)
- Ordre :** Tylenchida (Thorne, 1949)
- Sous-ordre :** Tylenchina (Thorne, 1949; Chitwood, 1950)
- Super famille :** Hoplolaimidae (Filipjev, 1934)
- Famille :** Meloidogynidae (Scarbilovich, 1959)

**Genre :** *Meloidogyne* (Goldi, 1892)

## II.2. Morphologie des nématodes à galles

Les nématodes à galles qui ont deux sexes sont sexuellement dimorphiques. Les femelles, intégrées dans le tissu racinaire, sont globuleuses avec un mince col (Figure II.1). Ils ont un diamètre de 0,3 à 0,7 mm. La vulve est sub-terminale et localisée près de l'anus. La cuticule est blanchâtre, mince et annelée. Le stylet est court et modérément clarifié. [124]



**Figure II.1 :** Femelles matures de nématodes à galles *Meloidogyne javanica* [124].

(A) : Sur des racines d'*Arabidopsis* ; grossissement X4 et (B). Sur tomate grossissement X5  
Les mâles, adultes après la 4<sup>ème</sup> mue, sont pelotonnés à l'intérieur des enveloppes cuticulaires des stades précédents. Ils les percent avec leur stylet et quittent la racine pour se déplacer librement dans le sol. Ils sont vermiformes, de 1 à 2 mm de longueur. Ils possèdent un stylet mais il est probable qu'il ne soit pas fonctionnel et que les males ne se nourrissent pas, mais vivent sur les réserves contenues dans la paroi de leur intestin [125]. La queue est courte et hémisphérique, les spicules sont robustes et le bursa est absent [123].

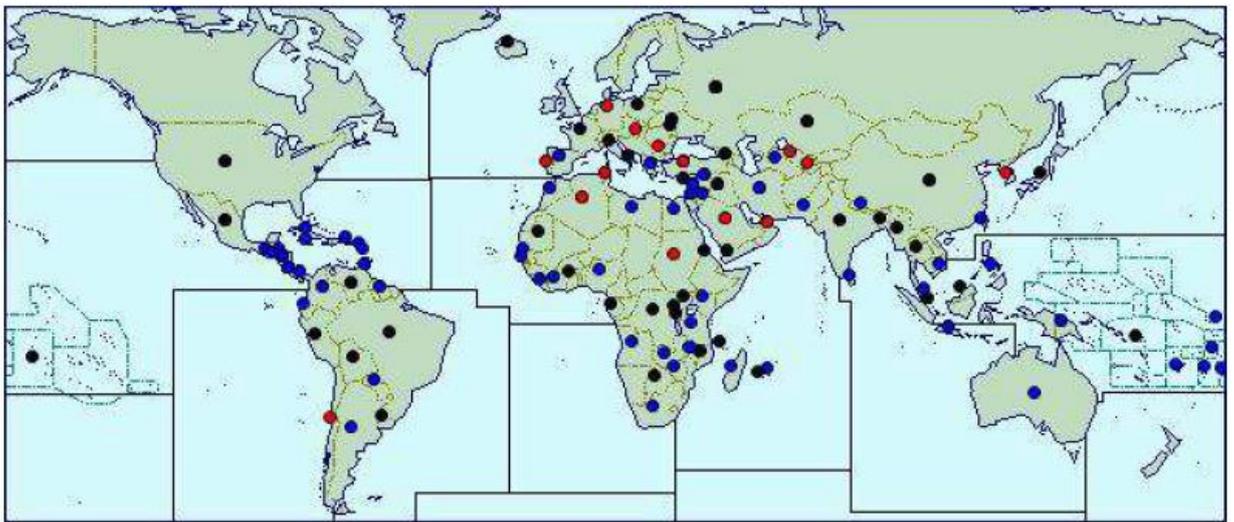
Les juvéniles J2 (après la 2<sup>ème</sup> mue) sont minces, vermiformes, et d'environ 0,45 mm de long (Figure II.2). Le stylet et le squelette de la région labiale sont faiblement sclérifiés. La queue est conique avec une partie hyaline près de son extrémité [123]



**Figure II.2** : Photographie d'une larve juvénile de stade 2 (J2) de *Meloidogyne incognita* [123].

### II.3. Les espèces du genre *Meloidogyne* spp. et leur distribution

Bien que plus de 90 espèces du genre *Meloidogyne* aient été décrites à ce jour, quatre espèces revêtent une importance économique particulière de la production alimentaire du monde. Il s'agit de *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* et *M. hapla*, qui ont une large gamme d'hôtes [127]. Parmi plus de 1000 populations de nématodes à galles collectées dans 75 pays, 53% de ces populations ont été identifiées comme appartenant à l'espèce *M. incognita*, 30% à l'espèce *M. javanica*, 8% à *M. arenaria*, 7% à l'espèce *M. hapla* et 2% à *M. exigua* ou d'autres espèces peu représentées. *M. incognita* et *M. javanica* se retrouvent souvent dans les régions tropicales (Figure II.3), tandis que *M. arenaria*, qui est également présent sporadiquement dans les régions tropicales, est plus fréquente dans les régions subtropicales. *M. hapla* est une espèce commune des régions tempérées, qui est retrouvée aussi dans les hautes-terres froides des régions tropicales [123].



**Figure II.3** : Carte de la distribution planétaire de *M. javanica* [124].

Points noirs : présents, non détaillé ; Points bleus : très répandus ; Points rouges : présents localement.

En Algérie, l'étude de l'état d'infestation des serres dans 9 wilayas (Tipaza, Alger, Blida, Boumerdes, Ain Defla, Chlef, Ghilizane, Tizi Ouzou, Ourgla) montre que sur 1977 serres étudiées, 57,66% sont infestées par les *Meloidogyne*, mais ce taux d'infestation diffère d'une région à une autre, il est plus élevé au littoral que dans la plaine [124].

De leur tour SELLAMI et al [5] ont présenté les résultats de leur étude qui a été menée à travers les principales zones pratiquant les cultures sous abri plastique durant la période 1990-1995 a permis de déterminer la distribution des espèces de *Meloidogyne* dans huit wilayates. Les quatre principales espèces sont présentes avec une dominance de *M. javanica* dans les zones sahariennes et *M. incognita* dans les zones littorales, *M. arenaria* et *M. hapla* sont faiblement représentées. Au total 54 plantes appartenant à 21 familles botaniques différentes sont infestées par ces nématodes, parmi lesquelles 30 sont des plantes spontanées [5].

Une récente étude de TEBIB [129] a permis, à travers une prospection sur la culture de tomate, de mettre en évidence la répartition de l'infestation par les *Meloidogyne*, sur le transect Boumerdes, Alger et Tipaza en prenant en considération les conditions agronomiques entourant cette culture dans les régions prospectées, les taux d'infestations enregistrées : Alger (63,33 %), à Tipaza (25 %) et à Boumerdes un taux d'infestation égale à 1,66 %

A l'échelle des trois wilayas, l'infestation a été décelée dans 54 parcelles parmi 180 exploitations examinées, soit un taux d'infestation de 30 %.

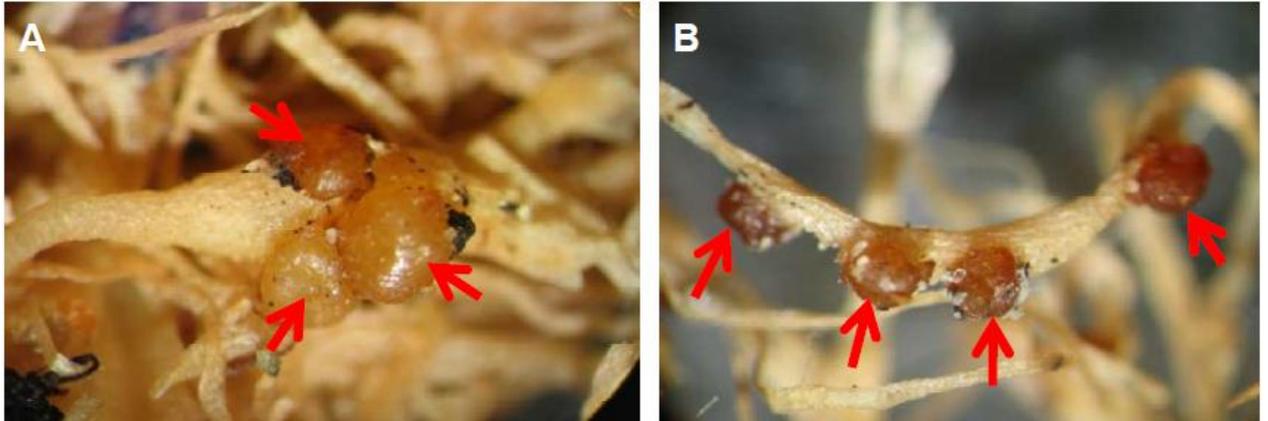
#### II.4. Modes de la reproduction

Il existe des modes différentes de la reproduction chez les nématodes à galles, incluant l'amphimixie, la sexualité facultative, l'automixie et l'apomixie. Certaines espèces du genre *Meloidogyne* se reproduisent par l'amphimixie obligatoire, telles que *M. carolinensis*, *M. megatyta*, et *M. microtyla* [130 ; 131]. Par contre, *M. incognita*, *M. javanica* et *M. arenaria* se reproduisent par pathogénèse mitotique (apomixie) uniquement [132 ; 133]. Chez *M. hapla*, il existe des souches qui diffèrent de mode de reproduction ; la souche A peut se reproduire soit par amphimixie soit par la parthénogénèse méiotique (automixie), alors que l'apomixie est obligatoire chez la souche B [132 ; 134 ; 133].

#### II.5. Cycle de vie

En plus de leur polyphagie, des paramètres inhérents à leur cycle de vie sont déterminants pour expliquer l'impact de ces parasites. En effet, à 25-28°C, ce cycle peut être complété en moins d'un mois chez *M. incognita*. A l'issue de son

cycle, chaque femelle est capable de produire environ un millier d'œufs qui sont inclus dans une masse gélatineuse disposée à la surface de la racine ou dans la racine elle-même [135] (Figure II.4).

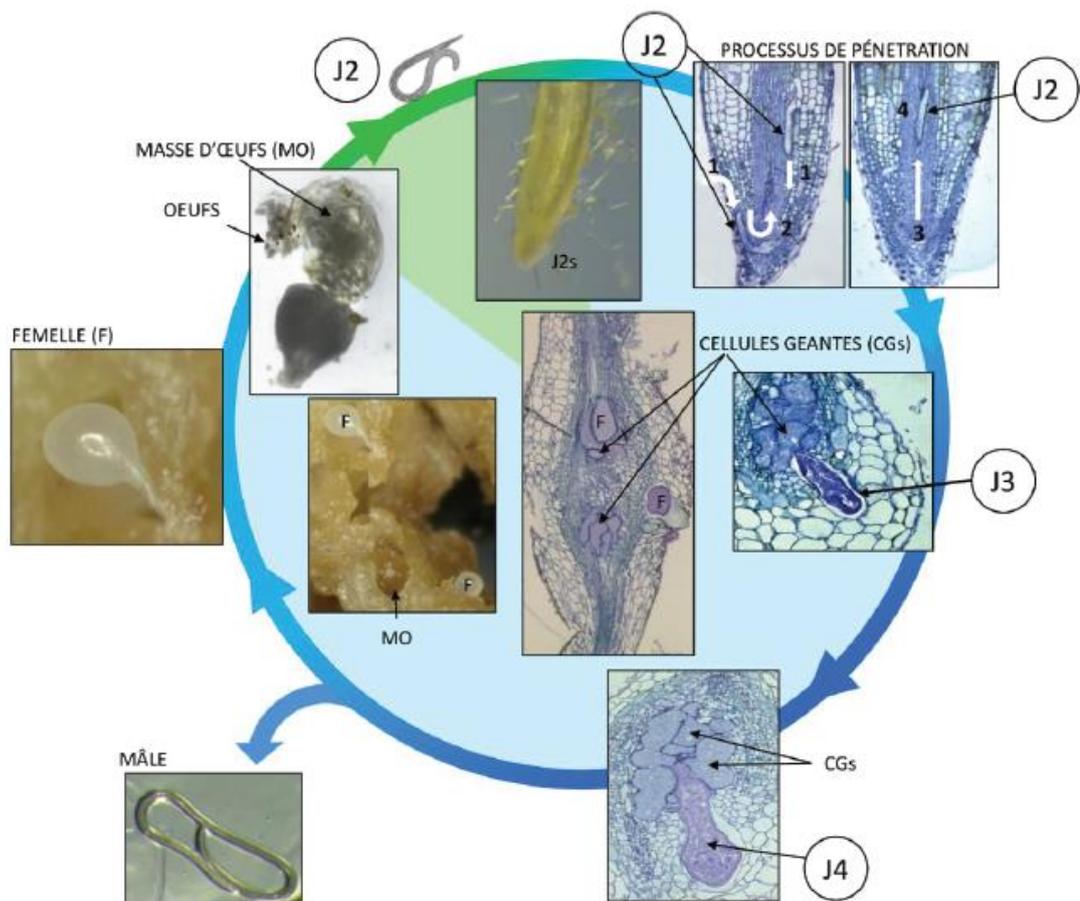


**Figure II.4 :** Masses d'œufs de *M. javanica* sur les racines de tomates [124].

**A.** plusieurs masses d'œufs sont attachées à une seule galle; **B.** une seule masse d'œufs est attachée à une seule galle.

Lorsque les conditions environnementales sont favorables, chaque œuf libère directement une larve de 2<sup>ème</sup> stade (J2) car la mue J1-J2 a lieu dans l'enveloppe de l'œuf. Ces J2s sont filiformes et mobiles dans le sol (phase exophyte) et, attirées par les exsudats racinaires, elles pénètrent à l'intérieur de leur hôte. Cette pénétration a lieu préférentiellement au niveau de l'apex des racines en croissance (début de la phase endophyte). Une fois à l'intérieur, les larves migrent entre les cellules en direction de l'extrémité apicale de la racine grâce à l'utilisation d'enzymes de dégradation (étape 1 ; Figure II.5). Après avoir atteint la zone méristématique terminale, les J2s effectuent un demi-tour pour remonter le long du cylindre central et trouver un site favorable dans celui-ci (étapes 2 et 3 ; Figure II.5). Les larves vont alors se fixer définitivement (étape 4 ; Figure II.5) et induire leur site nourricier constitué de cellules géantes [135]. Le nématode injecte des molécules majoritairement produites dans ses glandes œsophagiennes (deux glandes subventrales et une glande dorsale) via son stylet. Elles induisent des modifications des parois (migration) puis des cellules du site nourricier (fixation) de son hôte. En effet par cette action du nématode, la machinerie cellulaire végétale est activée et génère, à la suite de divisions nucléaires sans cytodierèse, des cellules géantes, multi-nucléées, et

particulièrement enrichies en nutriments qui favorisent son développement et aboutissent à la formation de galles. Dans ce processus, les *Meloidogyne* détournent amplement le métabolisme cellulaire à leur profit pour s'alimenter [116]. Les larves J2 se développent et évoluent en stades juvéniles 3 (J3) puis 4 (J4). La mue de ces J4s aboutit au stade adulte femelle pyriforme (Figure II.5). Ces femelles produisent alors une masse d'œufs qui, une fois libérés, démarrent un nouveau cycle [120]. Des mâles sont présents et leur effectif est d'autant plus élevé que les larves J2 sont confrontées à des conditions défavorables de développement (très forte densité rendant difficile la nutrition ou mauvais état des racines nourricières de la plante hôte). Les mâles restent filiformes, ne s'alimentent pas et quittent la racine. Les variations de la sex-ratio reflètent une adaptation aux conditions du milieu [116].



**Figure II.5 :** Cycle de vie de *Meloidogyne incognita* sur racines de *Prunus cerasifera* [116].

La phase exophyte est illustrée en vert et la phase endophyte en bleu. La larve juvénile mobile de stade 2 (J2) migre en 4 étapes : elle pénètre au niveau de l'apex pour descendre (1) vers son extrémité et effectuer un demitour (2) avant de remonter le long du cylindre central (3) et d'atteindre l'emplacement du futur site nourricier (4). Les stades juvéniles 3 (J3) et 4 (J4) fixés sont visibles en coupe racinaire avec les cellules géantes.

## II.6. L'éclosion

L'éclosion des œufs de *Meloidogyne spp.* se produit lorsque la température est favorable, et se fait chez la plupart des espèces sans d'avoir besoin de stimulation par des substances diffusées par les racines. Cependant, chez *M. hapla*, *M. triticoryzae* et *M. chitwoodi* l'éclosion est aussi dépendante des diffusats racinaires [137 ; 138]. Le processus d'éclosion chez les nématodes peut être divisé en trois phases, (i) un changement dans la perméabilité de coquilles d'œuf, (ii) une activation métabolique du juvénile et (iii) l'éclosion proprement dite. L'ordre chronologique de première et deuxième phases diffère selon les genres, et chez *Meloidogyne spp.*, il semble que l'activation de juvénile se produit d'abord et cause des changements au niveau des coquilles d'œuf [116].

## II.7. Les effecteurs de nématodes : manipulateurs de cellules

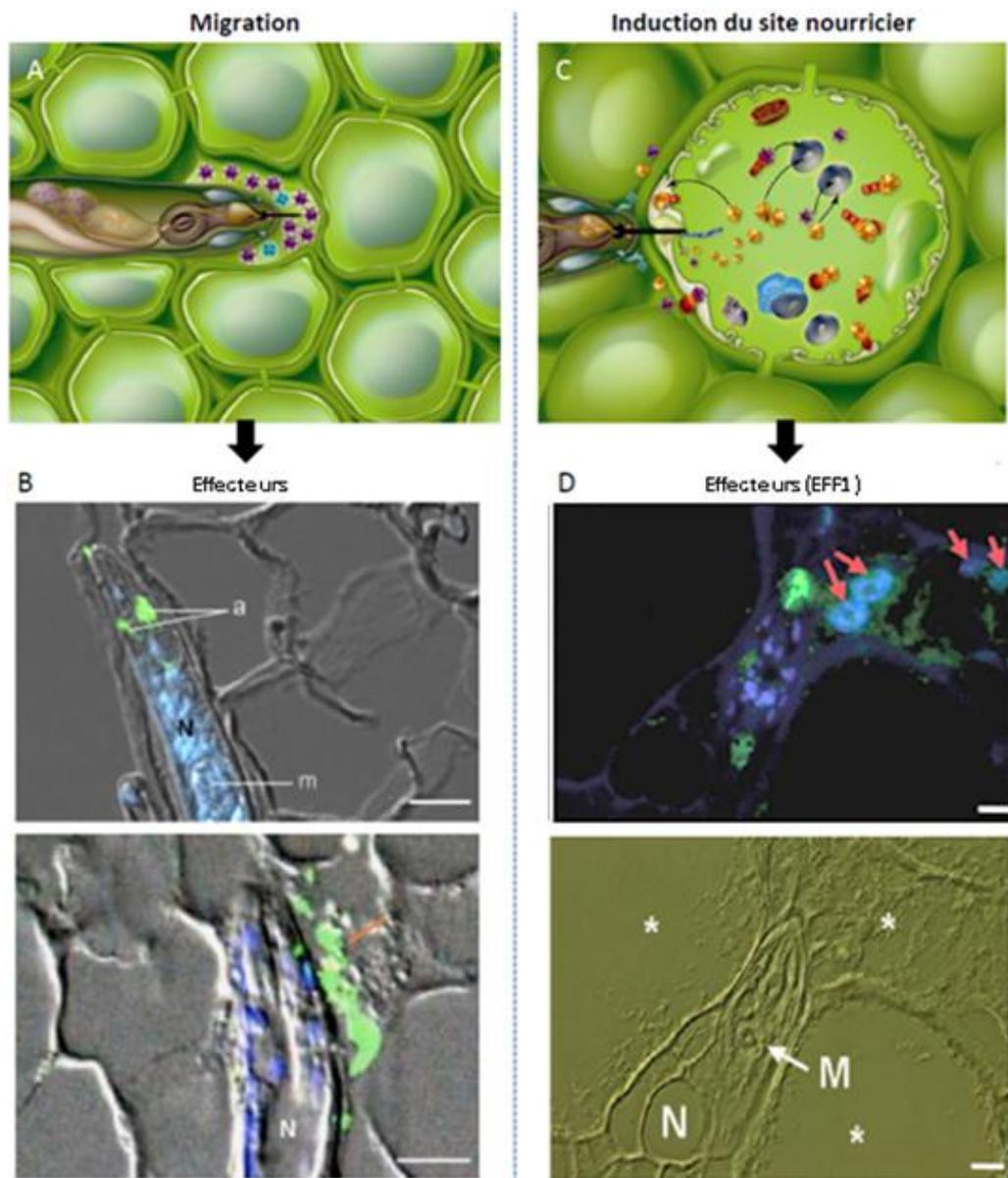
Tout au long du parasitisme, les nématodes sécrètent des molécules dans les racines qui vont favoriser la migration et participer à l'induction du site nourricier. Le terme d'effecteur est utilisé très largement par les chercheurs travaillant sur les interactions plantes-bioagresseurs. Il est défini comme « toutes les molécules des agents pathogènes / parasites sécrétées dans l'hôte, qui modifient la structure et/ou la fonction de la cellule hôte et qui favorisent le parasitisme [139].

Les effecteurs de nématodes phytoparasites, et particulièrement des nématodes à galles, font l'objet depuis plusieurs années d'efforts importants d'identification et de caractérisation fonctionnelle. Les effecteurs sécrétés dans la cellule hôte agissent de façon redondante et coopérative lors des différentes étapes de l'infection : la pénétration et la migration, la suppression des défenses de la plante et l'initiation et le maintien du site nourricier [139]. Les effecteurs sont produits dans divers compartiments sécrétoires du nématode parmi lesquels les trois glandes œsophagiennes sont de première importance. Leurs activités respectives

semblent liées au stade de l'infection : schématiquement les deux glandes sub-ventrales agissent dans les phases précoces et la glande dorsale plus tardivement pour la maintenance parasitaire dans le temps. Les premiers effecteurs identifiés chez *Meloidogyne* impliquaient des fonctions de dégradation de la paroi cellulaire (cellulases) [140], puis des familles telles que les calréticulines et 14-3-3 ont été identifiées [141 ; 142]. Plus récemment et avec le développement de technologies haut-débit plusieurs centaines de protéines sécrétées ont été identifiées dans le genre *Meloidogyne* (revue par TRUONG [143]) et ont permis une estimation du secrétome de *M. incognita* à environ 500 protéines [144]. Parmi toutes ces protéines sécrétées, seul un nombre restreint présente des domaines protéiques connus. Cependant leur localisation ainsi que des données de silencing ou de surexpression en plante ont permis de suggérer dans quel processus ils pouvaient être impliqués (revue par TRUONG [143]). Parmi les effecteurs les mieux caractérisés on retrouve **Mi-CRT**, une calréticuline ciblant la paroi cellulaire (apoplasme) des cellules géantes. L'effecteur **Mi-EFF1** est lui retrouvé préférentiellement dans les noyaux des cellules géantes et semble être produit uniquement dans les stades fixés de *M. incognita*. Plus récemment, des effecteurs contenant des domaines lectine de type C, capables de lier des sucres en présence de calcium, ont été identifiés comme importants pour le parasitisme notamment en modulant la réponse immune de la plante [145]. L'effecteur Mj-FAR-1 chez *M. javanica* semble promouvoir l'induction des galles et la formation des cellules géantes du site nourricier chez la tomate et ainsi permettre le développement complet du nématode. Même si l'on commence à disposer d'une image moins parcellaire des processus dans lesquels sont impliqués ces effecteurs, le défi reste d'identifier précisément leurs cibles. Nombre d'entre elles ont déjà été identifiées chez des pathogènes moins évolués tel que le modèle bactérien *P. syringae* sur *A. thaliana* qui illustre bien la diversité des actions combinées réalisées par les effecteurs (clivage, protection, phosphorylation, ou uridylylation de protéines hôtes) [146]. En revanche les couples cibles/effecteurs identifiés chez les nématodes tels que elf18/Mi-CRT, scarecrowlike TF/16D10 ou TIP2/8D05 sont beaucoup plus rares

Ainsi de nombreux effecteurs sont engagés dans le parasitisme d'une grande diversité d'espèces végétales. Parmi celles-ci, on trouve les espèces pérennes du

genre *Prunus* d'une grande importance économique et que leur statut de plante ligneuse ne préserve pas des attaques des *Meloidogyne* [146].



**Figure II.6** : Sécration d'effecteurs par les nématodes à galles au cours des étapes de migration et d'induction des cellules géantes [139].

**A** : Schéma d'un nématode sécrétant des effecteurs dans l'espace inter-cellulaire lors de l'étape de migration. **B** : Localisation de MAP-1 chez les amphidés d'un juvénile en migration dans les racines [147].

**C** : Schéma d'un nématode sécrétant des effecteurs dans la cellule végétale pour initier ou contribuer au maintien de la cellule géante. **D** : Localisation in planta de Mi-EFF1 chez la tomate. Le signal s'accumule dans les noyaux des cellules géantes (flèches rouges) et dans les glandes dorsales du nématode [148].

Barre d'échelle: 10µm. \*: cellules géantes, N: nématodes, M: métacorpus et a, amphid.

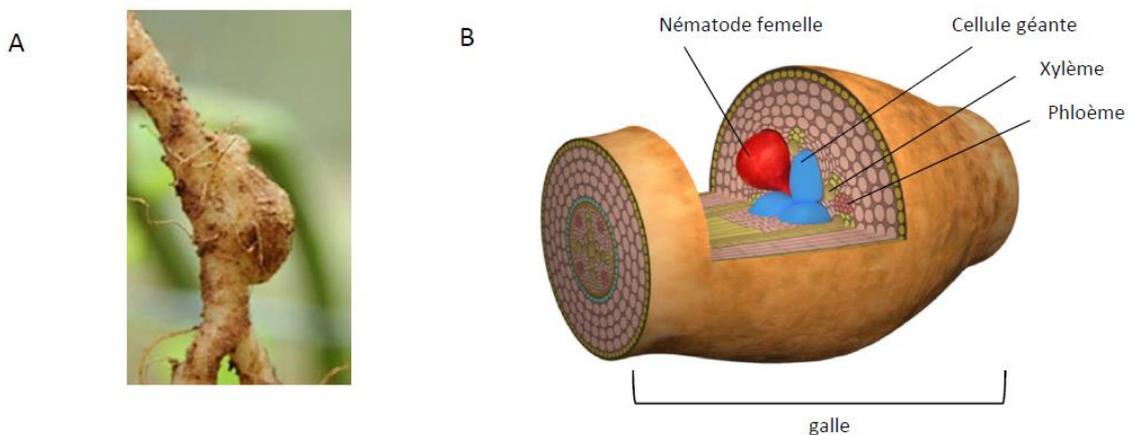
## II.8. Symptômes et dégâts causés par les nématodes à galles

Les symptômes liés aux attaques de *Meloidogyne spp.* se développent souvent lentement, elles sont généralement plus facilement reconnaissables et aisées à remarquer du fait de la production caractéristique de galles [148].

### II.8.1. Symptômes sur la partie souterraine

La présence des galles sur le système racinaire constitue les symptômes spécifiques des attaques de *Meloidogyne*. L'espèce de *Meloidogyne* et la sensibilité de la plante hôte influencent la forme, le nombre et la taille des galles sur les racines [150 ; 151].

Les galles causées par la *Meloidogyne hapla* sont beaucoup plus petites que celles causées par d'autres espèces. Elles endommagent les tissus vasculaires des racines et entravent ainsi le mouvement normal de l'eau et des nutriments à travers la plante. Elles augmentent également la vulnérabilité du système racinaire à l'envahissement par les champignons et les bactéries pathogènes [152]. OLSEN [153] A déclaré que les galles sont faciles à identifier, mais pour que le nématode à galle soit déterminé, elles sont trop petites et doivent être identifiées au microscope.



**Figure II.7 :** Photo et représentation 3D simplifiée d'une galle induite par les nématodes à galles.

A. Galle de tomate induite par *M. incognita* ; B. Représentation 3D simplifiée d'une galle En rouge la femelle nématode qui a initié le site nourricier composés de cellules géantes. (Source:

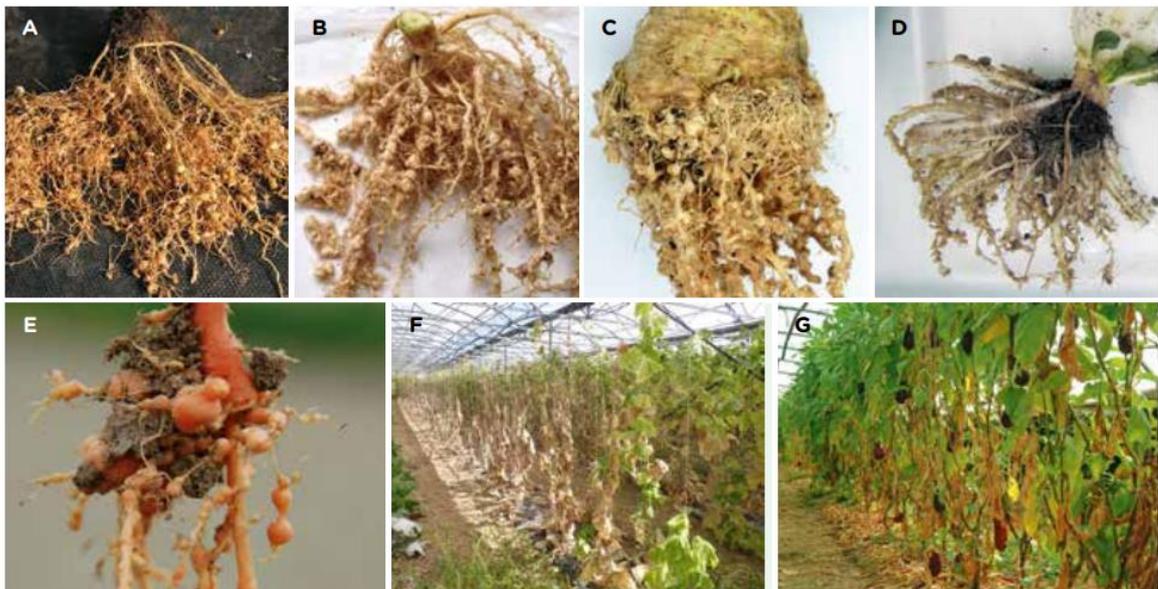
Programme investissement d'avenir, MEDITES *in* [157].

### II.8.2. Symptômes sur la partie aérienne

Les symptômes ne sont pas spécifiques sur la partie aérienne de la plante et se traduisent par un ralentissement de la croissance et une diminution de vigueur du végétal ainsi qu'une déficience généralisée due à l'action du pathogène comme on peut observer un flétrissement et un jaunissement des feuilles et par la suite la floraison et la fructification se réduisent et la production chute [154 ; 155].

En outre, les plantes malades peuvent également présenter des symptômes de carences en azote, en potassium ou en phosphore, même si les niveaux adéquats de ces minéraux sont dans le sol. Pendant la température chaude de jour, les plantes infectées flétrissent et se rétablissent la nuit [156].

Au champ : les symptômes sont caractérisés par la présence de « plages » dans les parcelles infestées représentant les foyers de regroupement des *Meloidogyne*.



**Figure II.8. :** Exemples de dégâts engendrés par les nématodes à galles [157].

a : laitue ; b : melon ; c : céleri rave ; d : blette ; e : carotte.

Dépérissement de cultures, f : concombre ; g : aubergine.

### II.8.3. Dégâts

Les nématodes phytoparasites sont d'une importance considérable et leurs effets nocifs sur les cultures ont de grands effets économiques et sociaux [158].

En outre, par les lésions qu'ils provoquent, ces nématodes entraînent des infestations secondaires d'autres pathogènes fongiques ou bactériens (ex : *Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Pythium*, *Fusarium*, *Pseudomonas*, *Agrobacterium*). Les problèmes phytoparasites causés par les *Meloidogyne* se révèlent de plus en plus préoccupants et peuvent devenir dramatiques dans les années à venir [159].

Ainsi, selon WESEMAEL et al [160], des dégâts importants causés par les *Meloidogyne* dans les conditions de plein champ sont observés à une densité initiale de 5 à 10 larves par gramme de sol sur tomate. Sur cette même culture, [161] rapportent qu'une densité de 25 larves /cm<sup>3</sup> de sol peut causer des pertes considérables.

En Algérie, Plusieurs travaux ont montré l'importance des infestations des cultures maraichères par le genre *Meloidogyne*, aussi bien dans zones du littoral, avec des pourcentages d'infestations allant de 49 à 100 % ([128] ; [5] et [10]), que dans les zones sahariennes ([162] et [163]).

#### II.9. Gestion de nématodes phytoparasites

Comme pour tous les nématodes phytoparasites dont une partie du cycle se déroule dans le sol, il est pratiquement impossible d'éliminer complètement les *Meloidogyne* d'un champ infesté. Les méthodes de lutte auront donc pour but de maintenir la population suffisamment basse pour qu'une culture sensible réinstallée sur ce terrain n'y subisse pas de grands dommages [125]. Plusieurs méthodes s'offrent aux producteurs agricoles pour combattre ce phytoparasites, nous nous sommes intéressés aux moyens biologiques [164].

### II.9.1. La lutte biologique

La lutte biologique est une méthode alternative à la lutte chimique qui se base sur l'utilisation de microorganismes bénéfique ou biopesticides de diverse origine permettant de contrôler les agents phytopathogènes [165]. L'activité antagoniste est souvent associée à la production de métabolites secondaires dans le cas des plantes [166].

#### II.9.1.1. Utilisation des microorganismes nématopathogènes

Des essais de lutte biologique au moyen du champignon nématophage prédateur *Arthrobotrys irregularis* capable de prendre au piège des nématodes et de s'en nourrir ont été signalés par B'CHI [167] et DJIAN-CAPORALINO [159]. Le mycélium de ces champignons est pourvu de ramifications formant des boucles, boutons ou anneaux sécrétant une glu. Lors de ses déplacements, le nématode peut se trouver piégé dans ce réseau mycélien [168].

*Paecilomyces lilacinus* et *Verticillium chlamydosporium* des Champignons ovicides ont la propriété de tuer les œufs des Nématodes. Les filaments de *P. lilacinus* percent la coque de l'œuf grâce à des enzymes appropriées, puis pénètrent à l'intérieur et parasitent l'embryon [168] ; [169]. *Paecilomyces lilacinus* a été largement étudié. Il n'est cependant utilisé qu'aux Philippines, en Afrique du Sud et en Angleterre et n'est actif qu'en sols acides. *Verticillium chlamydosporium*, parasite des œufs de *Meloidogyne*, est étudié mais il est encore loin d'être commercialisé en France. Il montre une bonne efficacité en conditions tropicales mais moins bonne dans les conditions du sud de l'Europe [159].

La symbiose mycorhizienne est un phénomène habituel chez la plupart des végétaux terrestres [170]. Certaines protègent la plante contre les nématodes. Leur emploi en lutte biologique est à l'étude. Les endomycorhizes à arbuscules et vésicules (vesicular-arbuscular mycorrhizaé) forment une association symbiotique avec les racines des plantes [169]. Ils permettent une meilleure nutrition de la plante, stimulent l'enracinement des boutures et la croissance des racines lors de la transplantation, diminuent la sensibilité des plantes aux agents pathogènes et seraient des antagonistes intra-racinaires des nématodes [159], Ils sont de deux

types le champignon endomycorhizien, comme *Glomus sp.* [171] et le champignon ectomycorhizien (*Pisolithus tinctorius*, *Paxillus involutus*) [172].

Les champignons agissent également sur les nématodes par leurs toxines présentes dans les filtrats de cultures. Des recherches ont montré que les filtrats de cultures de *Fusarium solani* et *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporium*, présentent un effet toxique pour les œufs et les larves de 2<sup>ème</sup> stade de *Meloidogyne incognita* et *M.arenaria* [173] ; [174] et [175].

De même les espèces de *Lecanicillium* sont bien connues et représentent d'importants champignons avec un potentiel biopesticide vis-à-vis de nématodes phytophages [176]. Des travaux ont signalé que *L. psalliotae*, *L. antillanum* et d'autres espèces de *Lecanicillium* se développent sur les œufs de *M.incognita* [177] et [178].

D'autres microorganismes ont été testés contre les *Meloidogyne*, comme les bactéries. Ces derniers revêtent une grande importance grâce à leurs antibiotiques. La bactérie *Streptomyces avermitilis* produit l'ivermectine qui est une toxine très efficace contre différentes espèces de nématodes notamment le genre *Meloidogyne* [179] et [180].

Les bactéries du genre *Pasteuria* sont des parasites obligatoires (trois espèces parasites des nématodes sont actuellement connues *P. penetrans*, *P. nishizawae* et *P. thornei*. Cependant, leur utilisation en conditions réelles pour contrôler les phytoparasites connaissent un succès limité [181].

D'après [182], les antibiotiques de certaines bactéries tel que le genre *Actinomycètes*, *Bacillus*, et *Pseudomonas* sont utilisés dans la lutte contre les nématodes phytoparasites.

#### II.9.1.2. Utilisation des prédateurs supérieurs

Il existe plusieurs organismes prédateurs des nématodes du genre *Meloidogyne* [168]. Alors que la principale relation trophique évoquée pour le contrôle des nématodes phytoparasites est la prédation qui est effectuée par les organismes appartenant aux niveaux trophiques supérieurs [181] et [183]. Les nématodes

prédateurs, les acariens (*Hypoaspis aculei* Jer, *Asca* spp.) et les collemboles tels que : Entomobryoides dissimilis, *Sinella caeca* [184].

Les nématodes prédateurs appartiennent à l'un des quatre groupes suivants : *Mononchida*, *Dorylaimida*, *Diplogasterida* et *Aphelenchida*. Différentes études ont montré une augmentation des nématodes prédateurs et une diminution des phytoparasites après amendement organique l'étude de a révélé que les endoparasites migrants apparaissent être les plus sensibles à la prédation, mais l'efficacité en conditions réelles et les mécanismes impliqués restent encore à découvrir [185].

### II.9.1.3. Utilisation des plantes nématicides

Plus de 200 espèces de plantes sont signalées pour leurs propriétés nématicides. Les substances actives peuvent être exsudées au niveau racinaire et agir soit en inhibant la pénétration des juvéniles dans les racines (effet répulsif), soit en inhibant l'éclosion des œufs (effet ovicide) de la graminée *Eragrostis curvula* soit en empoisonnant les nématodes (effet nématicide) [159].

Nombreuses espèces sont étudiées pour leurs propriétés nématicides, tel que (*Tagetes* spp, *Crotalaria spectabilis*, *Chrysanthemums* spp, *Allium sativum*, le radis fourrager « boss », *Cinnamomum verum* « Cannelle » et *Azadiracta indica* « Neem ») [186].

Le travail de [187] ont dévoilé l'effet nématicide des extraits aqueux de quatre plantes médicinales (*Artemisia campestris*, *Ziziphus lotus*, *Datura stramonium* et *Urginea maritima*) in vitro sur les larves (L2) *Meloidogyne*. Selon [169] l'extrait aqueux des espèces d'algue *Spateoglossum schroedi*, *Phormidium tenue* et extrait lipidique d'*Asterionella japonica* (Diatomée) se sont montré efficace contre *Meloidogyne* sp.

Les extraits foliaires et racinaires de *punica granatum*; *Lawsonia inermis* ; d'*Arachis hypogaea* ont montré un effet larvicide et inhibiteur d'éclosion des œufs de *Meloidogyne* sp. [188].

L'utilisation de la décoction de l'iboga a permis une réduction considérable des populations de *Meloidogyne* et la protection des cultures [17].

Divers investigations rapportent que l'effet nématocide des plantes est dû aux huiles volatiles qu'elles contiennent. DAHMANE et al [189] affirment que les huiles essentielles de *Salvia officinalis*, *Origanum glandulosum* et *Artemisia herba alba* ont provoqué la mortalité des juvéniles et inhibé l'éclosion des œufs de *Meloidogyne incognita*. La toxicité de ces huiles varie selon l'espèce végétale, le temps d'exposition et la concentration.

Beaucoup de plantes sont utilisées comme amendement organiques certaines notamment les *Brassicaceae* sont enfouies comme engrais vert. Les espèces de cette famille botanique comme la moutarde, colza fourrager, choux et d'autres renferment des glucosinolates, dont la dégradation par la myrosinase produit dans le sol des isothiocyanates, très toxiques pour les nématodes. Ces substances sont voisines de certains fumigants comme le metham-sodium d'où le nom de biofumigation qui a été donné à l'enfouissement des résidus de Brassicacées [190].

Les propriétés biocides des *Allium spp.* (Ail, oignon, poireau, échalote ...) ou alliées sont attribuées aux composés soufrés volatils produits par la dégradation des tissus. Ces molécules sont principalement des disulfures : le disulfure de diméthyle (DMDS), le disulfure de dipropyle (DPDS) et le disulfure de diallyle (DADS). L'utilisation d'alliées en tant que biofumigants en enfouissant dans le sol des déchets, ou un précédent cultural d'oignons et de poireaux a montré un effet nématocide. L'activité larvicide et ovicide de ces produits testée au laboratoire se traduit donc effectivement par une diminution des infestations de *Meloidogyne spp*, jusqu'à 87 % [191].

Les composts de résidus végétaux tel que jacinthe d'eau et de Neem à 30g/ha permettent le contrôle de *M. incognita* aussi bien que l'aldicarbe à 2kg/ha [192]. Certains auteurs ont exploré des techniques basées sur l'addition de matière organique au sol comme méthode alternative de lutte contre des nématodes phytoparasites. Il s'agit de débris de plantes, de cultures, de foin [193]. L'utilisation des grignons d'olive comme biopesticide exprime un décroissement des maladies causées par les nématodes mais les recherches restent toujours en voie d'exploitation [194].



## **CHAPITRE III**

### **MATÉRIELS ET MÉTHODES.**

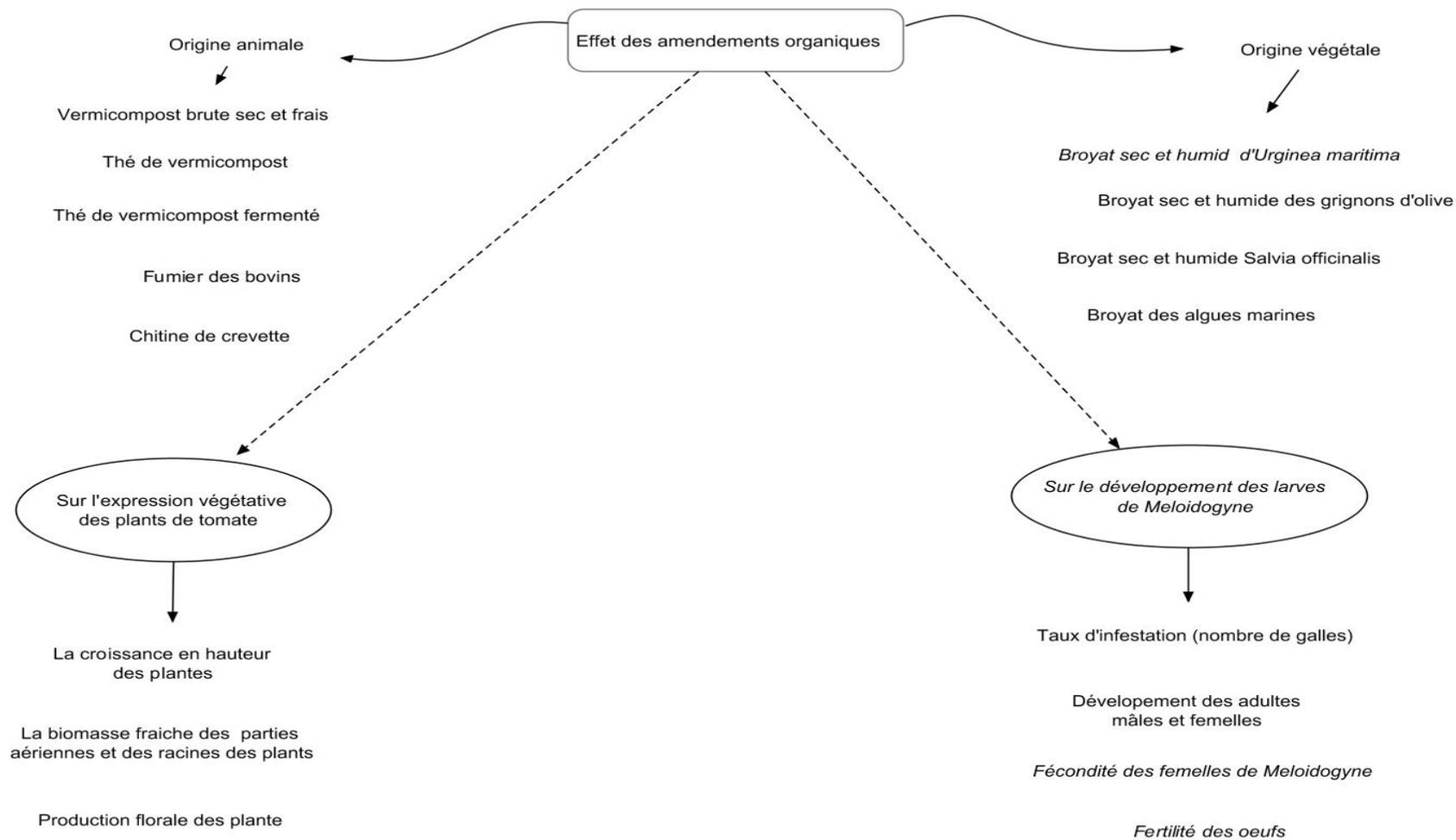
#### Introduction

Les nématodes phytoparasites sont l'une des principales contraintes biologiques à la production de diverses cultures importantes sur le plan économique, réparties dans le monde entier en causant de grandes pertes. Ces nématodes peuvent être gérés par des pratiques culturales, des nématicides chimiques et des cultivars résistants. Dans les systèmes de production intensive, les nématodes phytoparasites ont été contrôlés principalement par des nématicides et des fumigants de sol chimiques pendant des décennies. Cependant, ces dernières années, plusieurs nématicides ont été retirés du marché en raison de leurs préoccupations environnementales et leurs effets sur la santé humaine [195]. Dans de nombreux cas, les pertes de récolte sont réduites par l'application annuelle de fumigants de sol et nématicides non fumigants qui sont coûteux et hautement toxiques. Ces produits chimiques entraînent de graves risques pour la santé et l'environnement, et donc leur application n'est pas durable. Par conséquent, il est nécessaire de développer d'autres alternatives et approches de lutte. Actuellement, les recherches sont détournées vers la lutte par l'utilisation des amendements organiques [196 ; 197] comme l'une des solutions les plus prometteuses pour la gestion des nématodes parasites des plantes [196] et d'améliorer la fertilité et la structure du sol. Au cours des dernières années, il y a eu un intérêt croissant en utilisant des amendements de sol et d'autres matières compostées pour la régulation des nématodes parasites des plantes [181]. Comparés à d'autres agents pathogènes, les nématodes phytoparasites sont parfois difficiles à contrôler car ils vivent dans le sol et possèdent une grande capacité à attaquer presque toutes les parties de la plante. De nombreux types d'amendements organiques comme les plantes nématicides, le compost, les déchets riches en protéines, animaux et engrais verts ont été examinés pour leur effet sur la suppression des nématodes phytoparasites [19]. L'utilisation de bio-amendements peut réduire les maladies causées par les nématodes directement en affectant les propriétés du sol et indirectement par l'amélioration de la

croissance des plantes, changement de la physiologie des racines augmentation de la productivité et les populations de micro-organismes antagonistes [198].

### III.1. Les objectifs

Le contexte général de la présente étude, vise à rechercher des approches alternatives des fumigants chimiques et la valorisation des différents amendements organiques. Dans notre travail nous avons évalué et comparé l'efficacité des amendements organiques d'origine animale et végétale sur l'agressivité et le contrôle des nématodes à galles du genre *Meloidogyne* et sur l'expression végétative des plants de tomate. Les amendements organiques testés sont de nature différente. Les amendements d'origine végétale sont représentés par les broyats sec et frais des feuilles et des bulbes d'*Urginea maritima*, les grignons d'olives sec et frais, les broyats sec et frais des feuilles de la sauge *Salvia officinalis*, et trois types d'algue marine (l'algue verte, l'algue rouge et l'algue brune), alors que les amendements organiques d'origine animale testés sont le vermicompost brute sec et frais, le thé de vermicompost, thé de vermicompost fermenté, le fumier des bovins, et la chitine des crustacés.



**Figure III.1 :** Schéma conceptuel démonstratif de la logique du travail.

## III.2. Méthodologies

### III.2.1. Préparation des amendements organiques testés

Dans la présente étude nous avons testé l'efficacité de douze amendements de nature différente, ces derniers sont répartis en deux groupes : les amendements organiques de nature végétale et les amendements organiques d'origine animale.

#### III.2.1.1. Amendements organiques d'origine végétale

Les biofertilisants d'origine végétale employés en amendement au sol dans ce travail sont

- les broyats sec et frais des feuilles et des bulbes d'*Urginea maritima*,
- les grignons d'olives sec et frais,
- les broyats sec et frais des feuilles de la sauge *Salvia officinalis*,
- Trois types d'algue marine (l'algue verte, l'algue rouge et l'algue brune)

##### III.2.1.1.1. Les broyats d'*Urginea maritima*

*Urginea maritima* est une plante à bulbe de la famille des *Liliacées* [199]. Elle croît dans les steppes, les broussailles et les pâturages pierreux ou sablonneux des plaines et des basses montagnes. Spontanée dans la région méditerranéenne [200]. Elle est souvent distribuée dans toutes les régions littorales de la méditerranée et la région indienne [199]. Est une plante herbacée, vivace. Les feuilles entières, lancéolées, longues de 50 à 80 cm. Le bulbe est pyriforme, tunique ovoïde et peut atteindre 15 à 30 cm de diamètre et son poids peut aller jusqu'à 3 à 4 kg (Figure III. 2). Les fleurs sont blanches, petites, nombreuses et disposées en grappes terminales.

L'étude phytochimique d'*Urginea maritima* a fait l'objet de plusieurs investigations Chimiques, Les constituants les plus abondants rencontrés sont des glucosides cardiaques de type bufadiénolide. Les anthocyanes, les flavonoïdes, les acides gras, les polysaccharides et l'oxalate de calcium sont également présent de nombreux composés hétérosidiques sont régulièrement isolés à partir des bulbes du genre *Drimia* : plus d'une cinquantaine pour *Drimia maritima* [201]. Et la présence d'hétérosides, de mucilages et de lipides à des quantités relativement

importantes aussi on note la présence de certains dérivés phénoliques. Le dosage des polyphénols des différents extraits a révélé que le macérât d'*Urginea maritima* recèle une quantité élevée en polyphénols [202].



**Figure III.2 :** Plante entière d'*Urginea maritima* (Originale).

Les feuille et le bulbe d'*Urginea maritima* contiennent des réserves glucidiques sont constituées essentiellement par des fructosanes et des matières minérales : riches en oxalate de calcium et citrate de calcium [203].

Pour la réalisation de notre travail, la plante entière d'*Urginea maritima* a été récoltée au mois de janvier 2015 dans le département des biotechnologies, de l'université de Blida1. Après la séparation des feuilles et du bulbe d'*Urginea maritima* ces derniers sont étalés sur du papier journal et séchées à l'ombre pendant 30 jours. Après séchage des différentes parties de la plantes, elles sont broyée séparément et ensuite tamisées en une poudre fine, puis rangé dans un sac en papier jusqu'au moment de son utilisation. Les produits frais de la plante sont également broyés est incorporée au sol au moment des essais. (Figure III.2)

#### III.2.1.1.2. Les grignons d'olive

Les grignons d'olive sont collectés de la huilerie (Maâsra) à Draa ben khada (Tizi Ouzou) au mois d'avril 2015.

Les grignons d'olive (Figure III.3), résidu solide de l'industrie de l'extraction de l'huile d'olive [204] sont des produits plus ou moins pâteux [205]. Ils sont composés des peaux (épicarpe), des résidus de la pulpe (mésocarpe) et des fragments des noyaux (endocarpe) [206].

Le grignon d'olive représente environ 25 % des olives traitées. Il est composé de la coque du noyau, réduit en morceaux, de la peau et de la pulpe broyée de l'olive. Il contient également une certaine quantité de matières grasses et une importante quantité d'eau, variant selon les variétés d'olives [204]. Ainsi sa composition varie dans très larges limites selon le stade de maturité et le procédé d'extraction de l'huile [204].

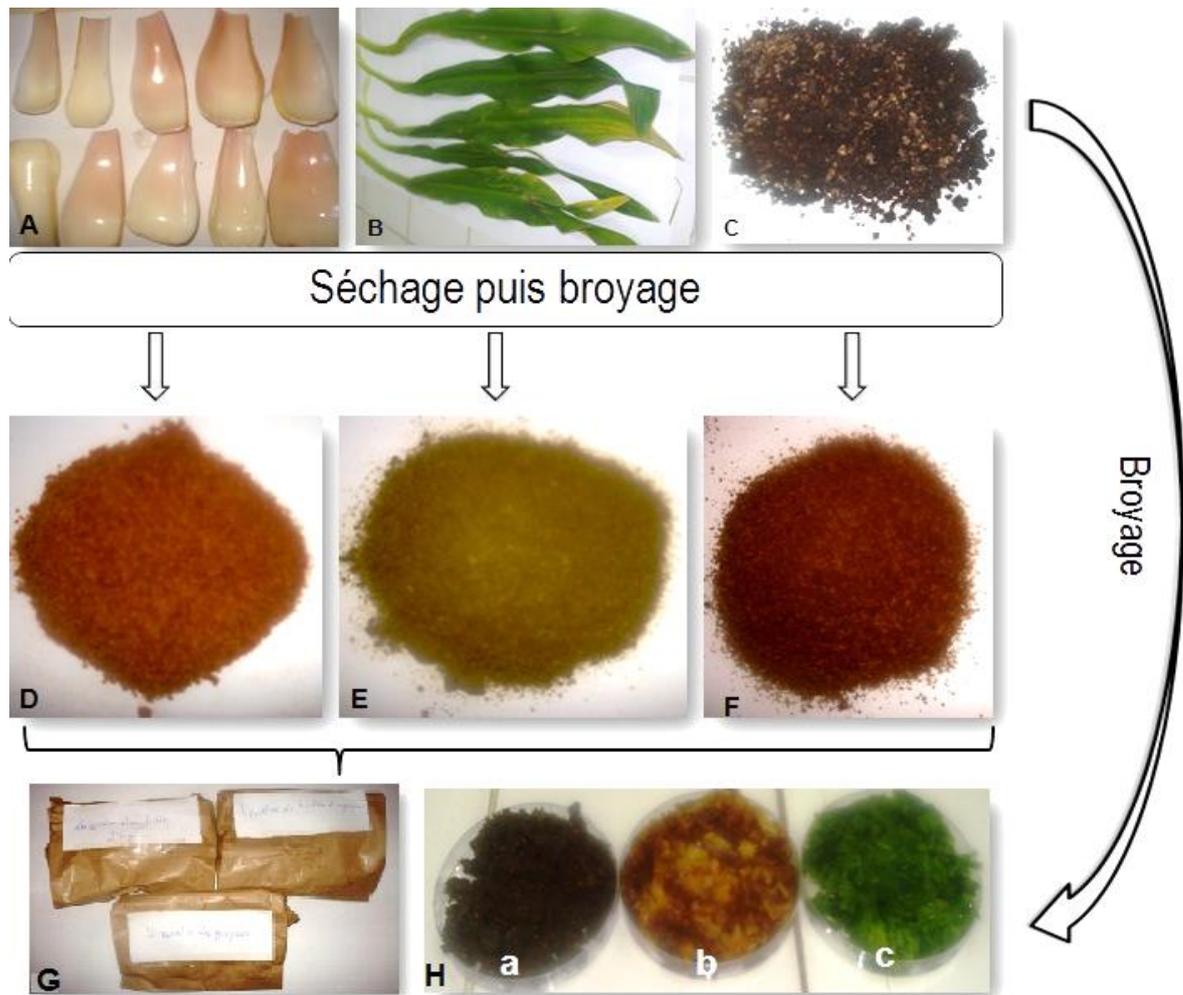


**Figure III.3** : Structure des grignons d'olive (Originale)

**A:** pulpe d'olives; **B:** fragment des noyaux d'olives

Nous avons trié et étalé les grignons d'olive sur du papier journal et séchées à l'ombre pendant 30 jours. Après séchage le matériel est séparément broyé ensuite tamisé en une poudre fine, puis rangé dans un sac en papier jusqu'au moment de son utilisation. Les produits frais sont également broyés est incorporée au sol au moment des essais.

La Figure III.4 résume les différentes étapes réalisées pour procéder le protocole de préparation des broyats secs et frais d'*Urginea maritima* et des grignons d'olive.



**Figure III.4:** Protocole global de préparation des broyats d'*Urginea maritima* et grignons d'olive. (Originale)

**A:** écailles de bulbe d'*U. maritima*, **B :** feuilles d'*U. maritima* ; **C :** grignon d'olive ; **D:** poudre des écailles de bulbe d'*U. maritima*, **E :** poudre des feuilles d'*U. maritima*, **F :** poudre des grignons d'olive, **G:** la conservation des amendements dans des sacs en papier, **H :** les broyats frais: **a :** grignon d'olive, **b :** bulbe d'*U. maritima*, **c :** feuilles d'*U. maritima*.

#### III.2.1.1.3. Les broyats de la sauge *Salvia officinalis*

*Salvia* est une plante annuelle et biennale. Elle est d'origine méditerranéenne de la famille des labiées [208]. C'est un arbuste vivace à tige ligneuse à la base, formant un buisson dépassant parfois 80cm, rameaux vert-blanchâtre. Feuilles opposées, pétiolées, ovale assez épaisses, vert-blanchâtres; d'une odeur forte, pénétrante et comme camphré qui diminué peu par la dessiccation ; d'une saveur amère, chaude et aromatique [209]. Fleurs bleu-violacé clair en épis terminaux lâches, disposées par 3 à 6 en verticilles espacés.

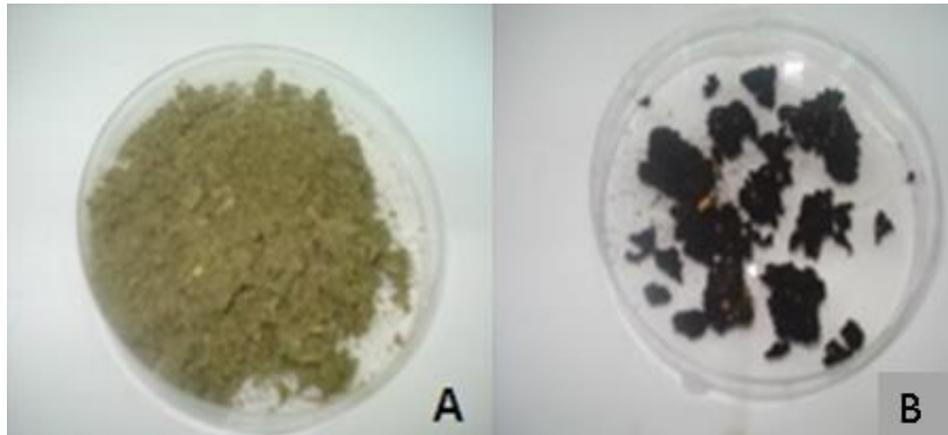
Calice campanulé à 5 dents longues et corolle bilabée supérieure en casque et lèvre inférieure trilobée; fruits en forme de tétrakènes [210] (Figure III.5).

La feuille de sauge contient essentiellement de nombreux polyphénols : des flavonoïdes et des acides phénoliques (acide caféique, acide chlorogénique, acide rosmarinique, etc...), l'acide diterpénique (la salvine), un principe amer (la picrosalvine) et un tanin de nature catéchique responsable de son action astringente [211]. Huile essentielle de *Salvia officinalis* est constitué de  $\alpha$ -thujone (7,8-20,1%), Camphre (8,4-20,8%), bornéol (2,5-16,9%),  $\gamma$ -muurolène (2,9-13,8%), sclareol, alcool diterpénique bicyclique et parfum balsamique (5,9-23,1%). Les différents pourcentages de ces composants dépendent des saisons, l'origine géographique, les facteurs de l'environnement, méthode de l'extraction, les organes de la plante, stage phonologique et les différences génétiques [212] et [213].



**Figure III.5:** *Salvia officinalis* (Originale)

Les feuilles de sauge ont été récoltées au mois de février 2015 dans le département des Biotechnologies, de l'Université de Blida1. Ces derniers sont étalés sur du papier journal et séchés à l'ombre pendant 30 jours. Après séchage le matériel est séparément broyé ensuite tamisé en une poudre fine, puis rangé dans un sac en papier jusqu'au moment de leur utilisation. Les produits frais de la plante sont également broyés est incorporée au sol au moment des essais (Figure III.6).



**Figure.III.6:** Les broyats de la sauge *Salvia officinalis* (Originale)

**A** : broyat sec, **B** : broyat frais.

#### III.2.1.1.4. Les broyats des algues marines

Les algues regroupent un ensemble de végétaux photosynthétiques très divers dont l'appareil végétatif relativement simple est appelé «thalle» et est dépourvu de racine, de tige, de feuilles et de tissus conducteurs. Elles ont des formes et des dimensions très variables. Certaines sont microscopiques et d'autres mesurent plusieurs mètres de longueur. Les algues marines appartiennent en quatre grands groupes : algues brunes, algues rouges, algues vertes et algues bleues, soit respectivement les Phéophycées, les Rhodophycées, les Chlorophycées, et les Cyanophycées comme les désignent les botanistes. La composition chimique des algues révèle la présence : des protéines, éléments minéraux, les fibres, les lipides : (les phospholipides, les glycolipides, les lipides neutres), les composés phénoliques : telles que les acides phénoliques, acides hydroxybenzoïques, acides hydroxycinnamiques, les flavonoïdes : (les flavones, flavonols, flavanones, flavanonols, anthocyanes), les isoflavonoïdes (isoflavones, coumestans), les stilbènes, les lignanes et les polymères phénoliques (proanthocyanidines, tanins condensés et tanins hydrolysables), alcaloïde, caroténoïdes et des polysaccharides [214].

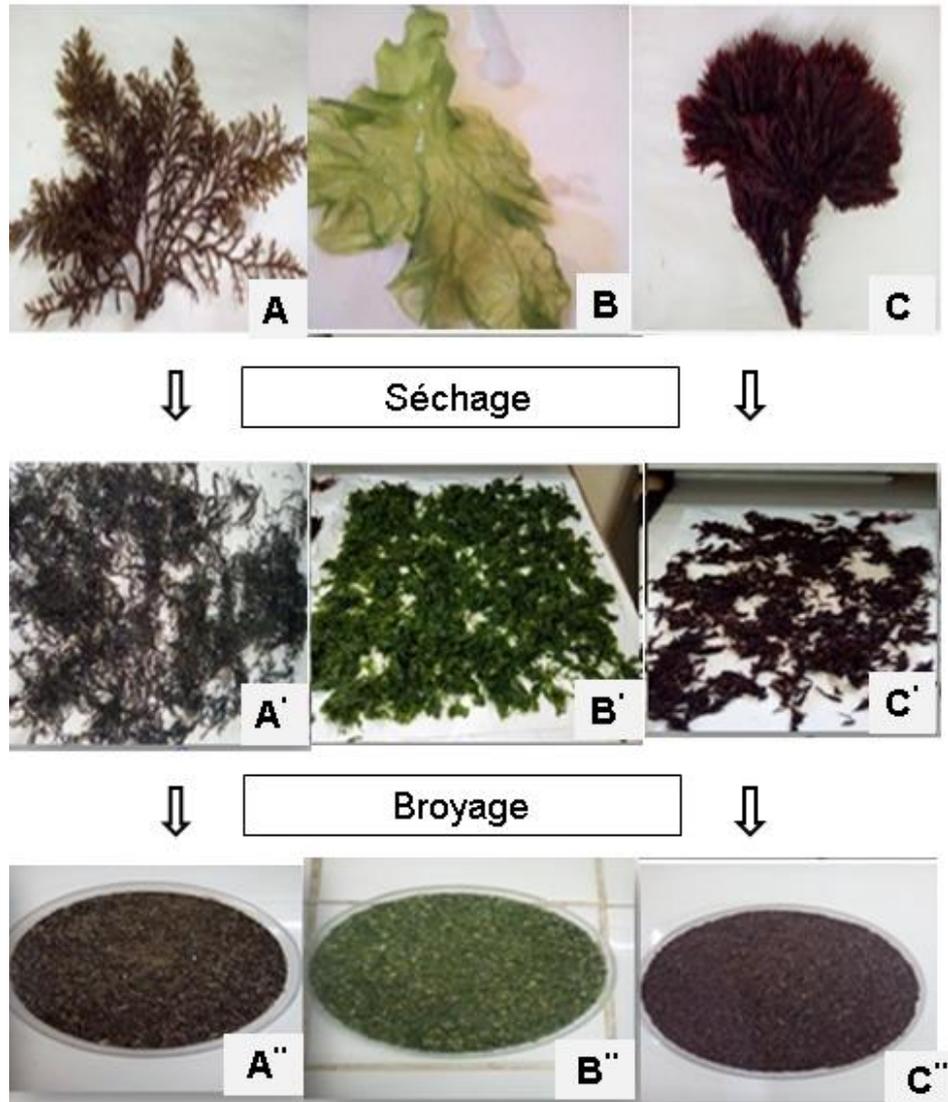
Nous avons choisi la plage de Tizirine située à la wilaya de tipaza, comme un site de collecte des trois types d'algue utilisés. Elle se situe dans la wilaya de Tipaza qui se trouve sur la rive sud du bassin méditerranéen et au Nord-Ouest de

l'Algérie. Trois espèces d'algues sont collectées, il s'agit d'une algue verte, algue brune et l'algue rouge.

Après une bonne stratégie d'échantillonnage, la caractérisation botanique et l'identification phénotypique par le microscope optique est effectuée à l'aide de guide d'identification, «guide FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche Méditerranée et mer noire» et sur les connaissances d'un spécialiste en biologie marine au niveau du laboratoire de l'Ecole de formation technique de la pêche et de l'aquaculture – Cherchell.

L'algue brune correspond à l'espèce *Cystoseira compressa*, l'algue verte correspond à l'espèce *Ulva lactuca*, appelée «Laitue de mer», et L'algue rouge correspond à l'espèce *Plocamium sp.* Plusieurs échantillons sont prélevés du même site en pleine période hivernale au mois de novembre 2016.

Les algues marines employées ont été transportées directement au laboratoire de Zoophytiatrie dans des sacs en plastique. Les trois types d'algue marins (algue verte : *Ulva*, algue rouge : *Plocamium.sp* et algue brune : *Cystosiera*) sont triées manuellement afin d'éliminer toute source de contamination (épiphytes, larves, crustacées, sable...) puis lavées à l'eau. Ces derniers sont étalés sur du papier blanc et séchées à l'air libre durant 30 jours. Après séchage le matériel est séparément broyé ensuite tamisé en une poudre fine, puis rangé dans un sac en papier jusqu'au moment de leur utilisation (Figure III.7).



**Figure III.7 :** Préparation des broyats des algues marines. (Originale)

**A :** algue brune ; **B :** algue verte ; **C :** algue rouge, **A' :** algue brune séchée, **B' :** algue verte séchée, **C' :** algue rouge séchée, **A'' :** poudre d'algue brune, **B'' :** poudre d'algue verte, **C'' :** poudre d'algue rouge.

### III.2.1.2. Amendements organiques d'origine animale

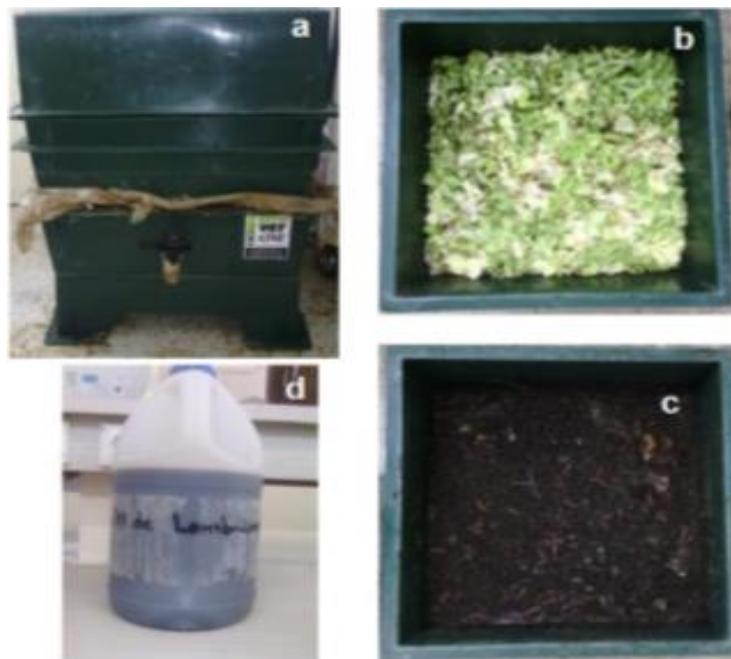
Les biofertilisants d'origine animale employés en amendement au sol dans ce travail sont :

- Vermicompost brut sec et frais,
- Thé de vermicompost,
- Thé de vermicompost fermenté,
- Fumier de bovins,
- Chitine de crustacés.

### III.2.1.2.1. Vermicompost des déchets ménagers solide frais et sec

Dans un vermicomposteur, les vers *Eisenia foetida* et *Eisenia andrei* sont placés avec les déchets ménagers qui leur serviront de nourriture. Grâce à la nourriture apportée, les vers vont se développer et se reproduire, et ainsi, le nombre de vers augmentera jusqu'à atteindre un équilibre. Le vermicompostage produit deux types d'engrais, le vermicompost et le jus de vermicompost. Le vermicompost a la consistance d'un terreau 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. Le jus 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 (Figure III.8).

Ce dernier est étalé sur du papier journal et séché à l'ombre pendant 30 jours. Après séchage le matériel est séparément broyé ensuite tamisé en une poudre fine, puis rangé dans un sac en papier jusqu'au moment de leur utilisation. Les produits frais du vermicompost sont également broyés et incorporés au sol au moment des essais.



**Figure III.8:** Processus d'obtention du lombricompost (Originale)

**a :** composteur ; **b:** déchets ménagers et lombrics ; **c:** compost solide ; **d :** jus de lombrics

#### III.2.1.2.2. Thé de vermicompost

Le thé de vermicompost, est la solution obtenue après macération de 100 gramme de vermicompost solide dans 1 litre d'eau. Le produit final sera prêt à l'utilisation qu'après 24 heures

#### III.2.1.2.3. Thé de vermicompost fermenté

Le thé de vermicompost fermenté est un liquide provenant de la fermentation d'un substrat lignocellulosique (paille de blé) saturé en thé de vermicompost brut. D'après Chaichi 2018 ; les propriétés physiques et chimiques de vermicompost utilisés sont présentées dans le tableau III.1. [215].

**Tableau III.1.** : Paramètres physico-chimiques de vermicompost.

<b>Paramètres</b>	<b>Vermicompost</b>
La conductivité électrique	4.2 ± 0.2
pH	8.6 ± 0.1
Acide humique mg/L <sup>-1</sup>	1278 ± 12.1
Nitrogène mg/L <sup>-1</sup>	90.5 ± 1.3
Calcium mg/L <sup>-1</sup>	286 ± 4.1
Magnésium mg/L <sup>-1</sup>	6.5 ± 0.7
Phosphore mg/L <sup>-1</sup>	5.7 ± 0.7
Potassium mg/L <sup>-1</sup>	8.1 ± 0.6

#### III.2.1.2.4. Fumier des bovins

Les fumiers sont le résultat du mélange dans le bâtiment des déjections animales avec de la paille Ils sont stockés après raclage sur une plate-forme (Figure III.9). Les fumiers le plus souvent retournent sur les parcelles agricoles, pour apporter des éléments fertilisants et de la matière organique, qui améliorent la structure du sol, car leur composition chimique est riche en azote, phosphore,

potassium, et de la matière séché, cette composition varie considérablement selon l'animal à savoir l'espèce, l'âge, le sexe, son type d'alimentation et selon la manière dont le fumier est traité (C'est-à-dire sa fraîcheur relative et les conditions de stockage et le taux de dilution avec l'eau) [216].



**Figure III.9** : Fumier de bovin (Originale).

Le fumier testé d'origine animal (bovin), provient de la station expérimentale de département des Biotechnologies (Figure III.6).

Ce dernier est étalé sur du papier journal et séché à l'ombre pendant 30 jours. Après séchage le matériel est séparément broyé ensuite tamisé en une poudre fine, puis rangé dans un sac en papier jusqu'au moment de leur utilisation.



**Figure III.10** : Poudre du fumier de bovins. (Originale)

#### III.2.1.2.5. Chitine de crustacés

La chitine est le deuxième composant très abondant dans la nature après la cellulose, elle n'existe que sous la forme de complexe avec des protéines et des minéraux. Ce biopolymère est présente principalement dans l'exosquelette des arthropodes (crustacés), l'endosquelette des céphalopodes (calamars) et les cuticules des insectes. La chitine se trouve dans la paroi de la plupart des champignons et de certaines algues chlorophycées, levures et bactéries. Bien que les sources potentielles de chitine soient très nombreuses, elle est essentiellement produite aujourd'hui à partir des carapaces de crevettes. Les carapaces de crustacés contiennent environ 30-40% de protéine, 30-50% decarbonate de calcium, et 20-30% de chitine par rapport au poids sec [217].

La chitine de crevette est ramenée d'un poissonnier à Blida, il s'agit de carapaces (y compris têtes et thorax) des crevettes rouges du genre *Parapenaeus* Les carapaces de crevette sont triées manuellement afin d'éliminer toute source de contamination (épiphytes, larves, crustacées, sable...) puis lavées à l'eau. Ces derniers sont étalés sur du papier blanc et séchés à l'air libre durant 30 jours. Après séchage le matériel est séparément broyé ensuite tamisé en une poudre fine, puis rangé dans un sac en papier jusqu'au moment de leur utilisation (Figure III.11).



**Figure III.11** : Préparation des broyats de chitine de crevette. (Originale).

### III.2.2. Préparation des doses

Les doses utilisées pour les amendements solides frais et secs testés sont de l'ordre de 3% du poids du pot [218]. Après calcul par rapport au poids du pot de 166 g, la dose D1 est de 4.98 g et la demi-dose (D2) est 2.49 g.

Par contre les amendements utilisés sous forme liquide (le thé de vermicompost fermenté et le thé de vermicompost) ont été apportés à la dose V/10V (soit  $V_{\text{Thé de vermicompost}} / 10V_{\text{eau}}$ ) Le choix de cette dilution était sur la base d'une étude précédente réalisée dans notre laboratoire [219].

### III.2.3. Obtention et préparation des larves (L<sub>2</sub>) de *Meloidogyne*

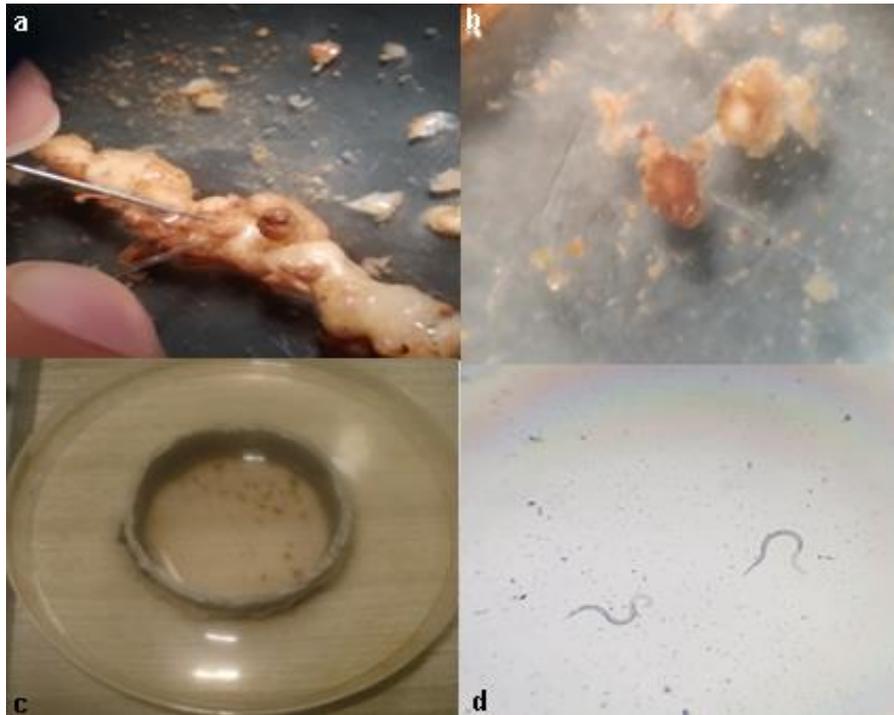
Les échantillons de racines de la tomate infestées par les nématodes à galles *Meloidogyne spp* ont été collectés en fin de culture dans des serres à Douaouda, Chenoua, fouka et Gouraya, dans la wilaya de Tipaza. (Figure III.12)



**Figure III.12** : Racine de tomate infesté par *Meloidogyne* (Originale).

Les racines ramenés au laboratoire de biotechnologie, sont lavées à l'eau courante puis mises dans une boîte de Pétri en verre en vue d'extraire les masses d'œufs. Cette opération s'est déroulée sous une loupe binoculaire au grossissement (×10) ou (×25), par la méthode de forceps en utilisant deux aiguilles entomologiques (Figure III.13).

Les masses d'œufs isolées des femelles de *Meloidogyne* (15 à 30 masses) sont déposées dans de petits tamis en plastiques de 2 à 4cm de diamètre. Ces derniers sont placés dans des boîtes de Pétri contenant de l'eau puis sont mises à l'étuve à 25C° en vue d'éclosion massive. Après éclosion, les larves (L<sub>2</sub>) libérées progressivement dans l'eau sont récupérées et comptées quotidiennement à l'aide d'une loupe binoculaire (×40).



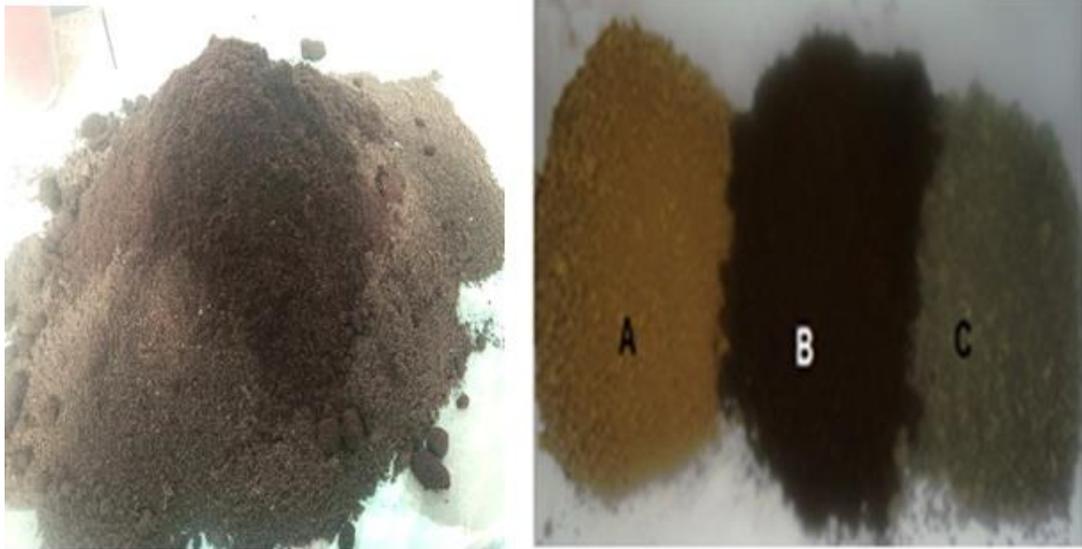
**Figure III.13** : L'obtention des larves (L<sub>2</sub>) de *Meloidogyne* sous une loupe binoculaire grossissement (X25). (Originale)

**a** : L'extraction des masses d'œufs ; **b** : masse d'œufs ; **c** : masses d'œufs dans un petit tamis .**d** : des larves de *Meloidogyne*.

Pour les infestations, nous avons compté et réparti les larves de *Meloidogyne* en des lots de 100 larves (L<sub>2</sub>) dans des tubes à hémolyse. Un total d'environ 14000 larves a été compté.

#### III.2.4. Préparation du sol

Nos tests ont été réalisés dans un mélange de sol composé par 1/3 de terre, 1/3 de sable et 1/3 de tourbe. Le sol et le sable proviennent de la station expérimentale du département des Biotechnologies. Ces dernier ont été tamisé (tamis 2mm) puis stérilisé par incubation pendant 2h à 180°C. La tourbe a subi également une stérilisation à 100°C pendant 24h. Les trois éléments (sol, sable et tourbe) sont mélangés ensemble puis répartis dans des pots en plastique à raison de 166g par pot. (Figure III.14)

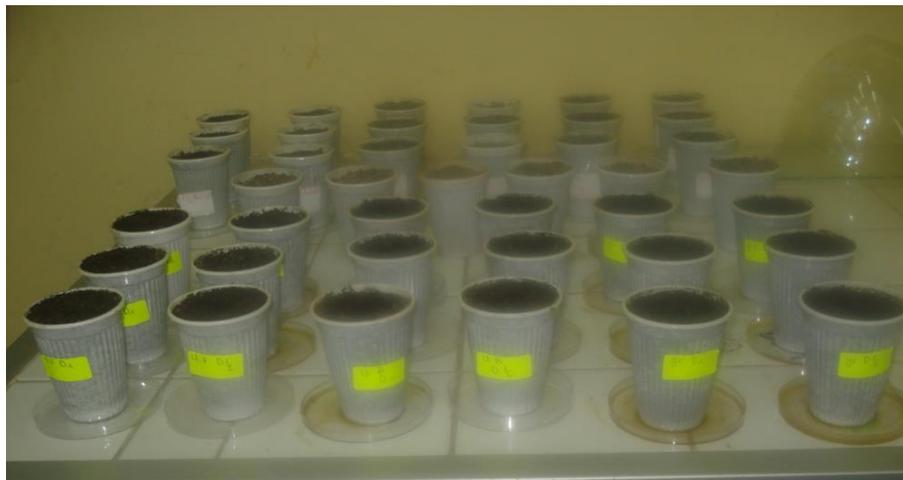


**Figure III.14:** Préparation et mélange de sol (Originale)

A : terre ; B : tourbe ; C : sable

#### III.2.5. Préparation des pots traités

Les pots ont été préparés avec leur sol et leurs traitements selon les doses testées à raison de 4 répétitions pour chaque dose et chaque traitement. Tous ont été ensuite arrosés tous les deux jours pendant une semaine avec de l'eau de robinet pour permettre la répartition de la matière organique (Figure III.15).



**Figure III.15 :** Préparation des pots traités (Originale).

#### III.2.6. Préparation du matériel végétal

Les essais ont été réalisés sur la variété de tomate (*Lycopersicum esculentum* var. « Marmande ») (Figure III.16.B). Les semences sont déposées

dans des alvéoles en plastique contenant de la tourbe imbibé d'eau, puis sont installer dans une serre.



**Figure III.16:** Préparation du matériel végétal (Originale).

**A :** semis de tomate dans des alvéoles ; **B :** plant de tomate ; **C :** transplantation des plants dans les pots.

Les plants à quatre vrais feuilles ont été transplantés immédiatement dans les pots (Figure III.16.C).

En ce qui concerne les plantes infestées l'infestation est réalisée par les larves de *Meloidogyne* ( $L_2$ ) à raison de 100  $L_2$ /pot au niveau de collet 3 jours après transplantation (Figure III.17).



**Figure III.17 :** l'infestation des plantes de tomates par les larves de *Meloidogyne* ( $L_2$ ) au niveau de collet (Originale).

### III.2.7. Dispositif expérimental

Un total de 280 pots a été préalablement préparé avec leur sol et leur traitement selon les doses testées à raison de 4 répétitions pour chaque dose et chaque traitement.

Des témoins pour comparer l'effet des traitements ont été préparé ils sont représentés par un lot de 4 pots sans aucun amendement et infestés avec les larves de *Meloidogyne* et un lot de 4 pots neutre sans amendements et sans infestation. Le dispositif expérimental a été mené dans la serre de virologie de département des Biotechnologies à une température moyenne de 28°C. Les plants ont suivi un régime d'irrigation tous les 2 jours et parfois avec les fortes températures les plants étaient arrosés quotidiennement. La durée de l'expérimentation est de 45 jours. Le dispositif expérimental suivi est représenté sur les tableaux (tableau III.1, 2 et 3).

**Tableau III.2** : Dispositif expérimental des différents traitements d'origine végétale et leurs doses.

		Avec infestation par les larves				Sans infestation			
		D1		D2		D1		D2	
Amendements d'origine végétale	Broyat sec bulbe <i>U. maritima</i>								
	Broyat frais bulbe <i>U. maritima</i>								
	Broyat sec feuilles <i>U. maritima</i>								
	Broyat frais feuille <i>U. maritima</i>								
	Broyat sec Grignon d'olive								
	Broyat frais Grignon d'olive								
	Broyat sec sauge								
	Broyat frais sauge								
	Algue verte								
	Algue brune								
	Algue rouge								

**Tableau III.3 :** Dispositif expérimental des différents traitements d'origine animale et leurs doses.

		Avec infestation par les larves				Sans infestation			
		D1		D2		D1		D2	
Amendements d'origine animale	Traite								
	Broyat sec lombricompost								
	Broyat frais lombricompost								
	Thé de vermicompost								
	Thé de vermicompost fermenté								
	Broyat sec fumier bovin								
Chitine									

**Tableau III.4 :** Dispositif expérimental du témoin.

Témoin	sans infestation sans traitement	avec infestation sans traitement
		

### III.3. Les paramètres analysés

#### III.3.1. L'effet biofertilisant des amendements organiques sur les plants de tomate

Pour apprécier l'effet des amendements sur le développement des plants de tomate, nous avons examiné dans ce travail trois paramètres à savoir la croissance des plants de tomate en hauteur, la biomasse fraîche de la partie aérienne et des racines ainsi que le nombre de fleur.

##### III.3.1.1. Effet sur la croissance des plants

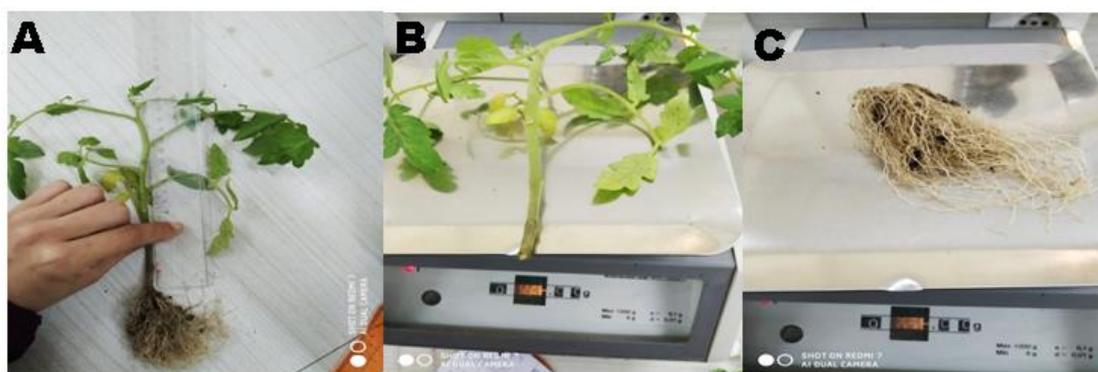
Pour estimer la croissance des plants de tomate, la hauteur initiale des plants de tomate a été mesurée avant la transplantation. Pendant les 45 jours du suivi expérimental nous avons pris les mensurations de tous les plants à l'aide d'une règle graduée du collet jusqu'au bourgeon terminal de la bifurcation principale tous les quinze jours (Figure III.18.A).

Pour estimer la croissance moyenne journalière nous avons utilisé la formule suivante:  $(H_f - H_i) / H_i \times 100 / T$ .

H<sub>f</sub> : Hauteur Final ; H<sub>i</sub> : Hauteur Initial ; T : temps (durée d'expérimentation : 45jours).

##### III.3.1.2. Effet sur la biomasse fraîche des parties aériennes et des racines des plants

A la fin de l'expérimentation (45 jours) les plants sont dépotés la partie aérienne est séparée des racines pour chaque plant puis rincé délicatement et séché par du papier absorbant puis chacune d'elle est pesé à l'aide d'une balance de précision pour estimer leurs biomasses (Figure III.18.B et C).



**Figure III.18** : Mesure de croissance de la plante (Originale)

**A** : mensuration de plante ; **B** : poids de racine ; **C** : poids de partie aérien

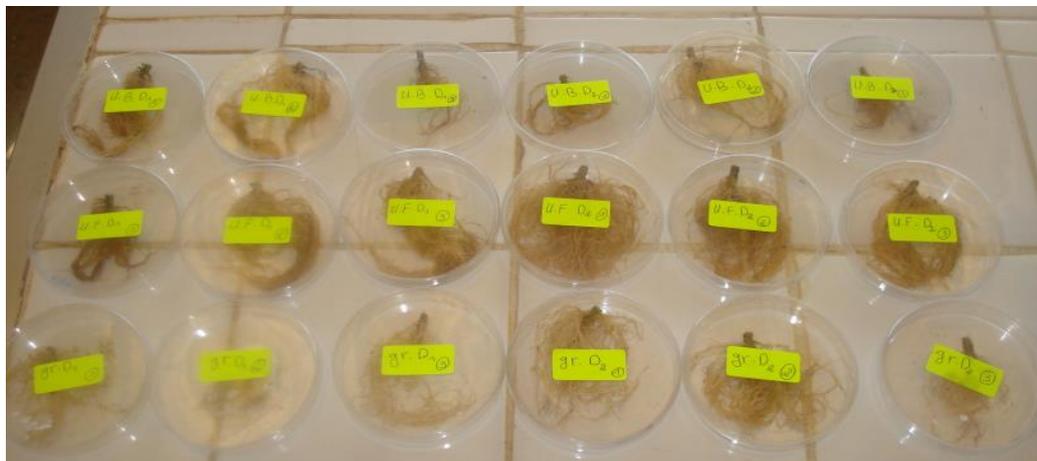
### III.3.1.3. Effet sur la floraison des plants de tomate

Pour évaluer la floraison nous avons examiné chaque répétition des plants traités et témoin à la fin de l'expérimentation, les fleurs ont été dénombrées.

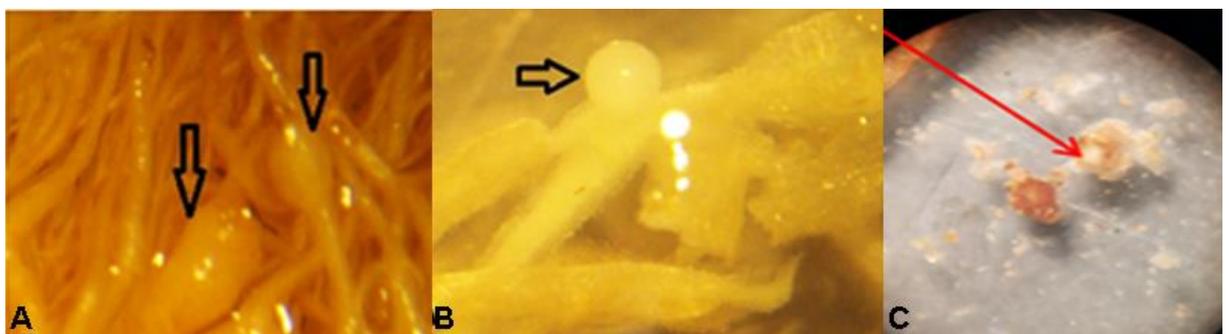
### III.3.2. L'effet des traitements dans le contrôle des nématodes à galles

#### III.3.2.1. Effet sur le taux d'infestation des plants de tomate

Après la prise du poids des racines ceux qui ont été infestés sont mis de côté dans des boîtes de Pétri (Figure III.19) afin d'examiner et d'estimer le taux d'infestation par les larves de *Meloidogyne*. Cette étape est réalisée sous loupe binoculaire (x10) et en dénombrant les galles sur tout le système racinaire (Figure III.20).



**Figure III.19** : Les racines infestées dans les boîtes de Pétri (Originale).



**Figure III.20** : Racine de tomate infestée (Originale)

**A** : galles sur racine ; **B** : femelle de *Meloidogyne* sur racine ; **C** : masse d'œuf.

### III.3.2.2. Effet des traitements sur le développement des adultes (mâles et femelles)

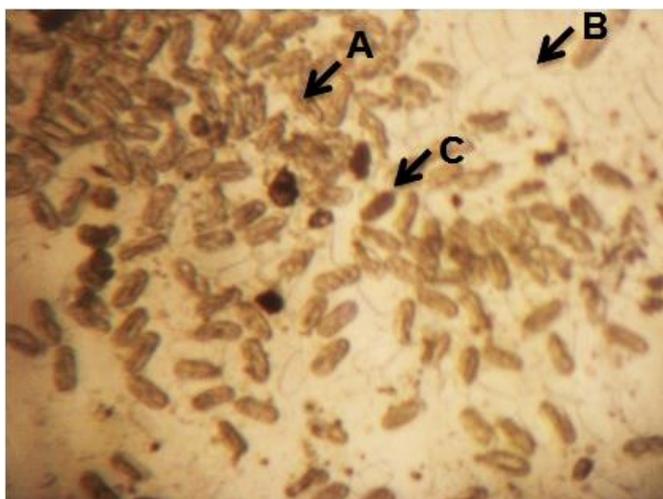
Le dénombrement des mâles et des femelles a été réalisé sur un échantillon de 1g de racine [220]. Les galles sont dilacérées à l'aide d'aiguilles entomologiques sous loupe binoculaire ( $\times 10$ ), les femelles présentes sont comptées (Figure III.22). En ce qui concerne les mâles les galles ouvertes ne contenant pas de femelle ni aucun autre stade de développement sont considérés comme étant occupé par un mâle qui après maturation a quitté son habitat.



**Figure III.21** : Racine infesté (Originale). **Figure III.22:** Femelles de *Meloidogyne*  
**A** : femelle ; **B** : masse d'œufs (Originale).

### III.3.2.3. Effet sur la fécondité des femelles de *Meloidogyne*

Pour évaluer l'effet des traitements sur la fécondité des *Meloidogyne*, nous avons pris les masses d'œufs qui vont servir à l'étude de la fertilité. Les 5 masses de chaque traitement et répétition sont mises dans des salières et dissociées dans une solution d'hypochlorite de sodium (NaClO) à 0,5% qui permet la dissolution de la masse gélatineuse et la séparation des œufs [220]. Ainsi tous les œufs (Figure III.23) sont comptés. La fécondité par femelle est calculée en considérant la moyenne des œufs des 5 masses.



**Figure III.23** : Œufs de *Meloidogyne* (Originale).

**A** : œuf embryonné ; **B** : œuf éclot ; **C** : œuf non développé

#### III.3.2.4. Effet sur la fertilité des œufs

Dans le but d'évaluer l'effet des traitements sur la fertilité des œufs, nous avons prélevé au hasard 5 masses d'œufs pour chaque traitement et répétition. Ces derniers sont placés dans des salières contenant de l'eau les larves sont comptées chaque jour pendant une semaine dans l'eau sous-jacente qui est renouvelée.

#### III.4. Analyse des données

L'analyse statistique a concerné l'évaluation de l'effet des différents amendements organiques d'origine animale et végétale sur le contrôle des populations de nématode à galles du genre *Meloidogyne* sur les plants de tomate et leur effet biofertilisant sur les mêmes plants.

L'ensemble des tentatives ont été répétées au minimum trois fois. Les résultats, présentés sous forme d'histogrammes ont été réalisés par le logiciel Microsoft Excel.

Toutes les mesures ont été exprimées par des moyennes homogènes adoptées sur la base d'un coefficient de variance (C.V. <15%).

#### III.4.1. Analyses de variance (SYSTAT vers. 12, SPSS 2009).

Les comparaisons des moyennes ont été réalisées par analyse de la variance (one-way ANOVA) et à l'aide du test t pour les variables suivant la loi normale.

Parmi les variables participant le plus souvent à la variance totale, celles dont la contribution est significative au seuil de 0,05 ont été retenues. 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.).

#### III.4.2. Analyses multivariée (PAST vers. 1.37 [222]).

Les corrélations existantes entre les traitements appliqués et les différents paramètres étudiés sont mises en évidence par l'analyse en composantes principales (ACP). Le principe de cette analyse est de représenter un phénomène multidimensionnel par un graphique à deux ou plusieurs dimensions. La classification hiérarchique des facteurs lignes ou colonnes se fait en considérant les coordonnées sur premiers axes, de telle sorte qu'au moins 50 % de la variance cumulée soit observée. Deux mesures de distances ont été prises en compte: la distance euclidienne des points avec le logiciel PAST (PALaeontological STatistics, ver. 1.81). L'interprétation de l'ACP se fait à partir de l'examen du cercle des corrélations et de la position du statut des variables sur les axes factoriels [223].

#### III.4.3. Corrélations-régression (SYSTAT vers. 12, SPSS 2009 et Excel™)

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.

La comparaison entre l'efficacité des traitements d'origine animale et végétale sur l'expression végétative et le développement des Meloidogyne est établie par les tests de Wilcoxon et Monte Carlo à 0,05. Le test est réalisé par le logiciel Past ver. 1,37 [222].

La description statistique des tendances de la variation de nombre de galle ainsi que la croissance par quinzaine sous l'effet des différents amendements organiques et leurs doses appliquées ont été établies par une présentation en BoxPlot.

## CHAPITRE IV

### RÉSULTATS.

Les résultats relatifs à l'effet des différents amendements organiques et leurs dilutions sur l'expression végétative et sur les paramètres biologiques des nématodes à galles, sont présentés dans ce chapitre.

#### IV.1. Tendances générales de l'effet des amendements organiques apportés sur l'expression végétative des plants de tomate *var. Marmande*

##### IV.1.1. Evaluation de l'activité des amendements organiques d'origine végétale sur l'expression végétative des plants de tomate

###### IV.1.1.1. Variations de la croissance moyenne de la partie aérienne des plants de tomate sous l'effet des différents amendements

La fluctuation temporelle des traits de croissance de la tomate a été étudiée sous l'effet des différents amendements organiques d'origine végétale. Nous avons considéré la croissance des parties aériennes comme paramètre ayant la capacité de dévoiler l'aptitude des différents amendements d'origine végétale à stimuler la croissance des plants de tomate.

Les probabilités obtenues par l'analyse de variance de type GLM ainsi que les résultats de l'évolution par quinzaine des paramètres de croissance des plants de tomate sont reportés dans le tableau IV.1. Il apparaît d'après les résultats reportés dans le tableau IV.1, que le type de traitements appliqué avec les deux doses (dose 1 et 2) affecte d'une manière significative l'expression végétative par quinzaine ( $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ), et que la dose de ces mêmes traitements également affecte d'une manière significative la croissance des plantes ( $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ). Les mêmes résultats montrent que la croissance des plants de tomate traités avec les différents traitements à la forte dose (dose 1) varie significativement entre les trois quinzaines ( $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ) et que la croissance à la troisième quinzaine se rapproche de celle de témoin (26,1 cm ; groupe homogène ab) à l'exception des plantes traitées avec la sauge et les feuilles fraîches d'*Urginea* (31,33 cm et 30,66 cm ; groupe homogène a). En revanche les plantes traitées

avec les grignons d'olive sec ont présenté les croissances les plus faibles (19,66 cm groupe homogène c).

De même pour les traitements appliqués à la faible dose (dose 2), les résultats relatifs dévoilent que les différents traitements appliqués affectent d'une manière significative la croissance des plantes ( $p=0,000$   $p <0,001$ ) et que cette dernière varie également d'une manière significative entre les différentes quinzaines ( $p=0,000$  ;  $p <0,001$ ). La croissance à la troisième quinzaine des plantes traitées à la faible dose (dose 2) semble plus favorisée que celle des plantes traitées à la forte dose (dose 1), les traitements qui ont dévoilé les croissances les plus importantes sont les deux formes fraîches et sèches des feuilles d'*Urginea* et les grignons d'olive frais (36,66 cm, 36,66 cm et 35,66 cm ; groupe homogène a), par contre la croissance la plus faible a été enregistrée chez les plants traités avec la forme sèche de la sauge (22,66 cm, groupe homogène c) en comparaison avec le témoin (26,1 cm ; groupe homogène c).

**Tableau IV.1** : Moyennes arithmétique ( $\pm$  standard erreur) de la croissance moyenne de la partie aérienne des plants de tomate par quinzaine.

TRT	long initial	1 <sup>ère</sup> quinzaine	2 <sup>ème</sup> quinzaine	3 <sup>ème</sup> quinzaine	F-ratio	p	
	Moy $\pm$ S.E.	Moy $\pm$ S.E.	Moy $\pm$ S.E.	Moy $\pm$ S.E.			
DOSE 1	Tem	8,37 $\pm$ 0,18b	13,37 $\pm$ 0,48ab	21,15 $\pm$ 1,20ab	26,1 $\pm$ 1,12ab	394,81	0,000***
	GS	10,5 $\pm$ 0,20a	11,5 $\pm$ 0,2b	14,5 $\pm$ 0,4b	19,66 $\pm$ 0,47c		
	GFR	8 $\pm$ 0,11c	12,66 $\pm$ 0,23b	19,33 $\pm$ 1,02ab	27,66 $\pm$ 1,02ab		
	UFS	9 $\pm$ 0,40ab	9,5 $\pm$ 0,35c	16,66 $\pm$ 1,31ab	24,33 $\pm$ 1,54b		
	UFFR	9,83 $\pm$ 0,31ab	17,66 $\pm$ 1,54a	22,33 $\pm$ 0,23a	30,66 $\pm$ 0,94a		
	UBS	98 $\pm$ 0,19ab	9,58 $\pm$ 0,22c	15,5 $\pm$ 0,70ab	25,33 $\pm$ 0,94ab		
	UBFR	108 $\pm$ 0,22a	14,58 $\pm$ 0,21ab	22 $\pm$ 0,40a	27,66 $\pm$ 1,02ab		
	SJS	88 $\pm$ 0,10c	8,83 $\pm$ 0,11c	13,66 $\pm$ 0,47c	25,66 $\pm$ 0,23ab		
	SJFR	7,83 $\pm$ 0,11c	11,66 $\pm$ 0,84b	17 $\pm$ 1,4ab	31,33 $\pm$ 0,84a		
	AV	8,5 $\pm$ 0,20b	15,37 $\pm$ 0,23ab	20,87 $\pm$ 0,42ab	26 $\pm$ 0,40ab		
	AB	9 $\pm$ 0,40ab	14,16 $\pm$ 0,42ab	19,16 $\pm$ 0,31ab	25,16 $\pm$ 0,71ab		
	AR	9 $\pm$ 0,40 ab	15,66 $\pm$ 0,23ab	20,66 $\pm$ 0,42ab	27 $\pm$ 0,61ab		
DOSE 2	Tem	8,37 $\pm$ 0,18b	13,37 $\pm$ 0,48ab	21,15 $\pm$ 1,20ab	26,1 $\pm$ 1,12 c	354,16	0,000***
	GS	9 $\pm$ 0,4a	10,16 $\pm$ 0,11b	16,66 $\pm$ 0,62c	26,66 $\pm$ 0,71 c		
	GFR	9 $\pm$ 0,4a	16 $\pm$ 0,4a	25,66 $\pm$ 0,94ab	35,66 $\pm$ 1,31 a		
	UFS	9,5 $\pm$ 0,35a	15,5 $\pm$ 0,73a	27 $\pm$ 0,4a	36,66 $\pm$ 0,62 a		
	UFFR	9,5 $\pm$ 0,35a	15,5 $\pm$ 0,73a	27 $\pm$ 0,40a	36,66 $\pm$ 0,62 a		
	UBS	8,58 $\pm$ 0,14b	9 $\pm$ 0,35c	14,83 $\pm$ 0,31c	318 $\pm$ 0,29 ab		
	UBFR	9,83 $\pm$ 0,11a	13,33 $\pm$ 0,31ab	21 $\pm$ 0,4ab	27,66 $\pm$ 0,8 b		
	SJS	6,66 $\pm$ 0,23b	8,16 $\pm$ 0,23d	14,5 $\pm$ 0,35c	22,66 $\pm$ 0,2 c		
	SJFR	8,83 $\pm$ 0,42a	12,33 $\pm$ 0,23ab	16,66 $\pm$ 0,23c	27,66 $\pm$ 0,9 b		
	AV	8,66 $\pm$ 0,47a	14 $\pm$ 0,40ab	18,5 $\pm$ 0,35b	23 $\pm$ 0,40 c		
	AB	9,33 $\pm$ 0,23a	14 $\pm$ 0,40ab	19,33 $\pm$ 0,42b	23,5 $\pm$ 0,54 c		
	AR	9,83 $\pm$ 0,11a	15,33 $\pm$ 0,62a	20,16 $\pm$ 0,82ab	24,83 $\pm$ 0,2 c		
F-ratio				12,8			
p				0.000***			

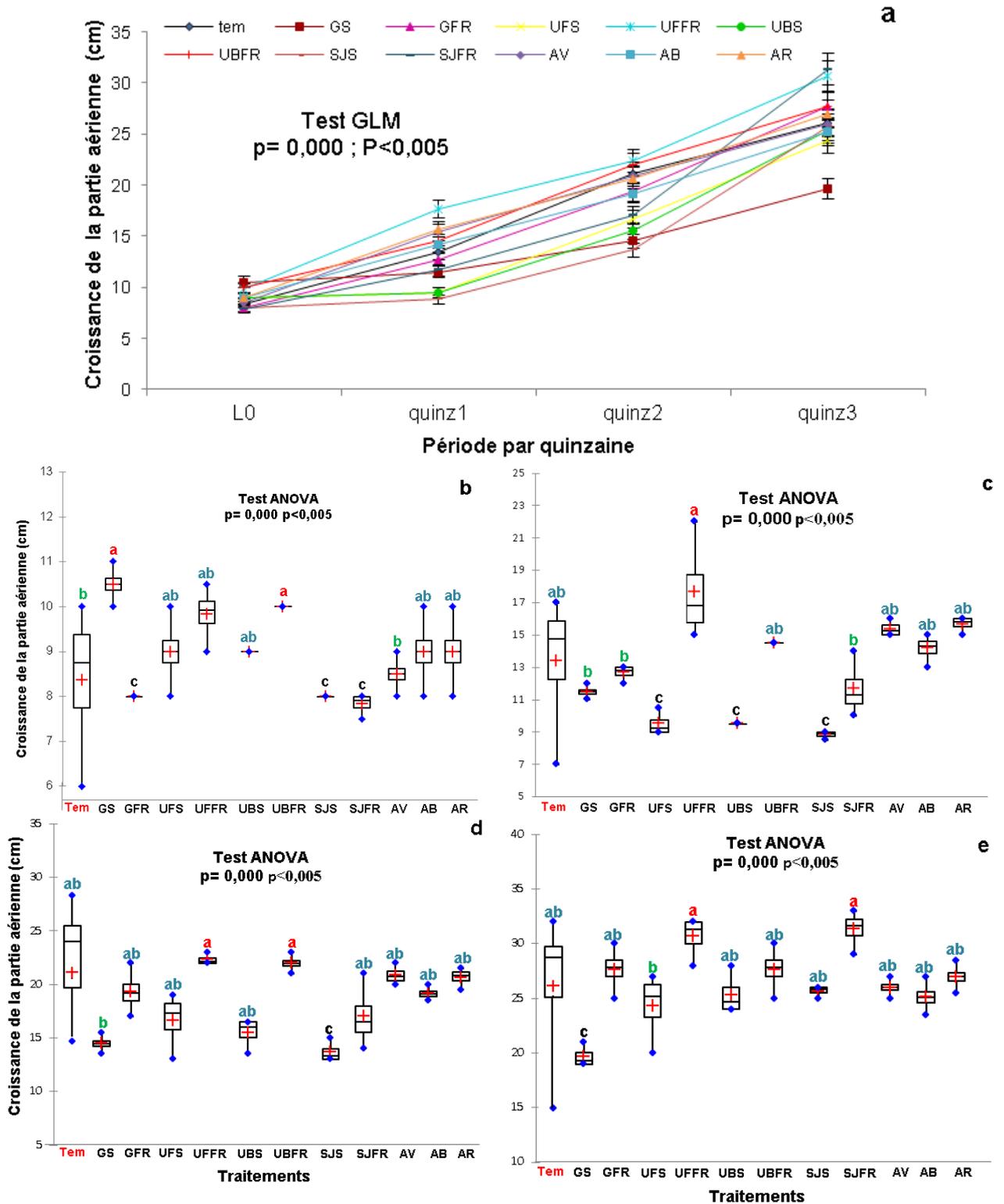
Long : Longueur ; Moy : Moyenne ; tem : Témoin ; GS : Grignon sec ; GFR : Grignon frais ; UFS : *Urginea* feuille sèche; UFFR : *Urginea* feuille fraîche; UBS : *Urginea* bulbe sèche ; UBFR : *Urginea* bulbe fraîche ; SJS : Sauge sèche ; SJFR : Sauge fraîche ; AV : Algue verte ; AB : Algue brune ; AR : Algue rouge.  
NS : Non significative, \* : Significative à 5%, \*\* : Significative à 1%, \*\*\* : Significative à 0,1%

Les résultats projetés dans le tableau IV.1 révèlent que la croissance moyenne en hauteur de la partie aérienne par quinzaine des plants de tomate traités avec les différents amendements organiques à la forte dose (dose 1) se diffère par rapport à celle des plants traités avec les différents amendements à la faible dose (dose 2) et que cette dernière semble plus importante que la croissance des plants traités avec la forte dose (dose 1).

La figure IV.1 représente la variation temporelle de la croissance en hauteur de la partie aérienne par quinzaine en fonctions des traitements utilisés à la forte dose (D1). Les résultats reportés graphiquement sur la figure IV.1.a. révèlent que la croissance moyenne des plantes varie d'une manière significative en fonction du temps et des amendements apportés.

Les boîtes à moustaches exposent ici la variation des valeurs expérimentales des essais. Elles ont été consolidées par le test ANOVA dans le but de confirmer les traitements qui ont participé à la signalisation des différences significatives.

Les figures IV.1.c, d et e, révèlent que les feuilles fraîches de l'*Urginea* ont favorisé la croissance de la partie aérienne des plantes (groupe homogène a) par rapport au témoin et par rapport aux autres traitements dès les premières semaines de l'essai, par contre la forme sèche de la sauge qui a montré un effet favorisé sur la croissance de la partie aérienne à la dernière quinzaine (groupe homogène a) n'a pas montré ce même effet la première et la deuxième quinzaine. En revanche les plantes traitées avec les grignons d'olive sec leur croissance sous l'effet de traitement commence à se diminuer après l'apport du traitement à la première quinzaine jusqu'à la dernière quinzaine où elles ont montré la croissance la plus faible (groupe homogène c) par rapport aux autres plantes traitées et au témoin. En revanche, l'effet des autres amendements, il était approchable de celui du témoin.



**Figure IV.1 :** Variation de la croissance moyenne des plants de tomate en fonctions des traitements à la forte dose.

(a) : variation temporelle de la croissance par quinzaine ; (b) : longueur initiale ; (c) : première quinzaine ; (d) : deuxième quinzaine (e) : troisième quinzaine.

L0 : Longueur initiale ; quinz 1 : Première quinzaine ; quinz 2 : Deuxième quinzaine ; quinz 3 : Troisième quinzaine ; tem : Témoin ; GS : Grignon sec ; GFR : Grignon frais ; UFS : *Urginea* feuille sèche ; UFFR : *Urginea* feuille fraîche ; UBS : *Urginea* bulbe sèche ; UBFR : *Urginea* bulbe fraîche ; SJS : Sauge sèche ; SJFR : Sauge fraîche ; AV : Algue verte ; AB : Algue brune ; AR : Algue rouge.

La présentation graphique permet de distinguer la variation de la croissance moyenne de la partie aérienne des plants de tomate par quinzaine sous l'effet des différents amendements apportés à la faible dose (dose 2) (Figure IV.2).

Les résultats reportés sur la figure IV.2.a' révèlent que la croissance moyenne des plantes varie d'une manière significative en fonction du temps et des amendements apportés avec une action importante de la forme fraîche des feuilles d'*Urginea* sur les plants de tomate (groupe homogène a).

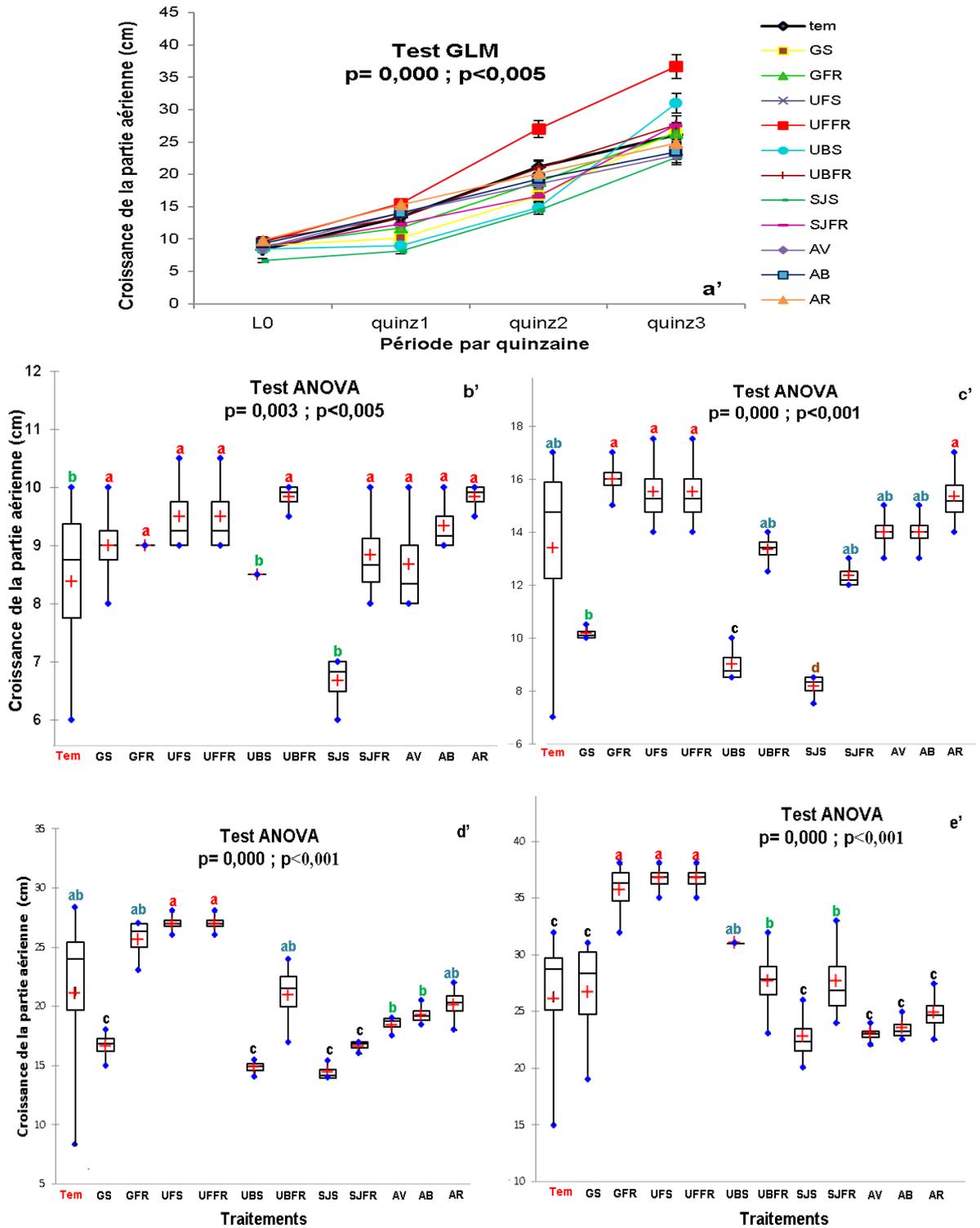
Les boîtes à moustaches dévoilent la variation des valeurs expérimentales de la croissance moyenne des plants de tomate et elles ont été confirmées avec le test ANOVA dans le but de montrer les traitements qui ont participé à la signalisation des différences significatives.

Les figures IV.2.c', d' et e', révèlent que les deux formes sèche et fraîche des feuilles de l'*Urginea* ont stimulé la croissance moyenne de la partie aérienne des plantes (groupe homogène a) par rapport au témoin et par rapport aux autres traitements dès les premières semaines de l'essai, et que les plants traités avec la forme fraîche des grignons d'olive ont montré une chute remarquable de la croissance moyenne à la deuxième quinzaine (groupe homogène ab) et qui redevient importante à la dernière quinzaine (groupe homogène a).

Cependant l'action de la forme sèche de bulbe d'*Urginea* sur la croissance des plantes était plus favorisée dans la troisième quinzaine (groupe homogène ab) que les deux premières quinzaines (groupe homogène c) et que celle des grignons secs commence à se diminuer après l'apport du traitement à la deuxième et dernière quinzaine (groupe homogène c).

En revanche la forme sèche de la sauge a montré une faible croissance moyenne de la partie aérienne des plants de tomate dès les premières semaines.

En ce qui concerne l'effet des autres amendements, il était faible (groupe homogène c) et approchable de celui du témoin.

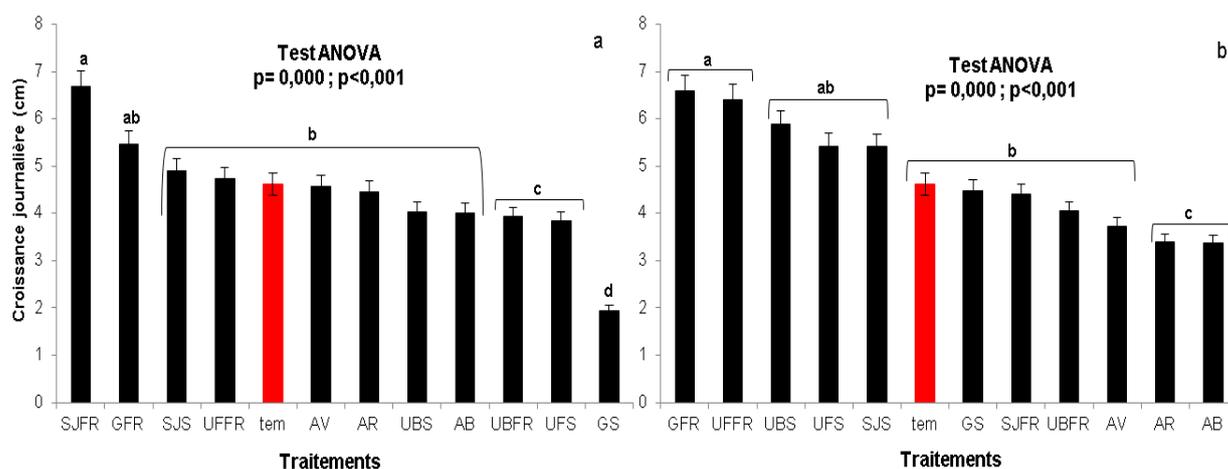


#### IV.1.1.2. Variations de la croissance journalière de la partie aérienne des plants de tomate sous l'effet des différents amendements

Les fluctuations des traits de croissance journalière de la partie aérienne des plants de tomate ont été étudiées sous l'effet des différents types d'amendements apportés ainsi que leurs doses (Figure IV.3).

La figure IV.3.a, représente l'effet des différents amendements apportés à la forte dose (dose 1) sur la croissance journalière des plants de tomate, les résultats reportés dans la figure révèlent une différence très hautement significative entre les différents traitements appliqués ( $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ). Cependant la forme fraîche de la sauge semble la plus efficace le fait que les plants traités avec cette dernière ont montré la croissance journalière la plus importante (groupe homogène a) par rapport au témoin et par rapport aux autres traitements appliqués. En revanche les mêmes résultats (Figure IV.3.a) dévoilent que la croissance journalière la plus faible a été enregistrée chez les plants traités avec les grignons d'olive sec (groupe homogène d).

De même la figure IV.3.b qui montre les résultats relatifs aux variations de la croissance journalière en fonction des différents traitements apportés à la faible dose (dose 2) révèle que ces derniers affectent d'une manière significative la croissance journalière des plants traités, avec une légère augmentation en comparaison avec la dose 1 (forte dose). Les grignons frais et les feuilles fraîche d'*Urginea* ont favorisé la croissance journalière des plantes de tomate par rapport aux autres traitements et par rapport au témoin (groupe homogène a), alors que les deux types d'algue (rouge et brune) n'ont pas montré un effet positif sur les plantes de tomate (groupe homogène c)



**Figure IV.3 :** Effet des différents traitements sur la croissance journalière des plants de tomate.

(a) : dose 1 ; (b) : dose 2.

Témoin ; GS : Grignon sec ; GFR ; Grignon frais ; UFS : *Urginea* feuille sèche ; UFFR : *Urginea* feuille fraîche ; UBS : *Urginea* bulbe sèche ; UBFR : *Urginea* bulbe fraîche ; SJS : Sauge sèche ; SJFR : Sauge fraîche ; AV : Algue verte ; AB : Algue brune ; AR : Algue rouge.

Les résultats de la croissance en hauteur journalière de la partie aérienne des plants de tomate en fonction des traitements et leurs doses, ainsi que Les probabilités obtenues par l'analyse de variance de type GLM sont exposés dans le tableau IV.2.

Les résultats relatifs au tableau IV.2 confirme ceux projetés graphiquement dans la figure IV.3 et révèle que les différents amendements apportés affectent d'une manière significative la croissance journalière des plants de tomate, par contre la dose de ces amendements n'affecte pas d'une manière significative la croissance journalière des plantes ( $p=0,07$  ;  $p>0,05$ ), malgré qu'on observe une légère augmentation de la croissance journalière à la faible dose (dose 2) par rapport à la forte dose (dose 1).

Les grignons d'olive frais semblent plus efficaces à la faible dose (dose 2) (6,58 cm ; groupe homogène a) qu'au forte dose (dose 1) (5,46 cm groupe homogène ab), de même pour les feuilles fraîche d'*Urginea* qui ont montré une croissance journalière plus favorisée à la faible dose (dose 2) (6,4 cm ; groupe homogène a) qu'au forte dose (dose 1) (4,73 cm ; groupe homogène b). En revanche la sauge fraîche, l'algue brune, verte et rouge et la forme fraîche de la sauge semblent plus efficace à la forte dose (dose 1) en comparaison avec la faible dose (dose 2).

**Tableau IV.2** : Moyennes arithmétique ( $\pm$  standard erreur) de la croissance journalière de la partie aérienne des plants de tomate.

Traitements	Croissance journalière de la partie aérienne des plantes (Moy $\pm$ S.E)			
	Dose 1	Dose 2	F-ratio	$p$
tem	4,61 $\pm$ 0,23 b			
GS	1,95 $\pm$ 0,09 d	4,48 $\pm$ 0,92 b		
GFR	5,46 $\pm$ 0,28 ab	6,58 $\pm$ 0,32 a		
UFS	3,83 $\pm$ 0,19 c	5,42 $\pm$ 0,27 ab		
UFFR	4,73 $\pm$ 0,23 b	6,4 $\pm$ 0,32 a		
UBS	4,03 $\pm$ 0,23 b	5,88 $\pm$ 0,29 ab	3,31	0,07 <sup>NS</sup>
UBFR	3,925 $\pm$ 0,19 c	4,04 $\pm$ 0,2 b		
SJS	4,9 $\pm$ 0,06 b	5,41 $\pm$ 0,27 ab		
SJFR	6,68 $\pm$ 0,35 a	4,39 $\pm$ 0,21 b		
AV	4,58 $\pm$ 0,05 b	3,72 $\pm$ 0,18 b		
AB	4, $\pm$ 0,11 b	3,37 $\pm$ 0,03 c		
AR	4,46 $\pm$ 0,15 b	3,38 $\pm$ 0,18 c		
F- ratio	5,20			
$p$	0,000 <sup>***</sup>			

Tem : Témoin ; GS : Grignon sec ; GFR : Grignon frais ; UFS : *Urginea* feuille sèche; UFFR : *Urginea* feuille fraîche; UBS : *Urginea* bulbe sèche ; UBFR : *Urginea* bulbe fraîche ; SJS : Sauge sèche ; SJFR : Sauge fraîche ; AV : Algue verte ; AB : Algue brune ; AR : Algue rouge.

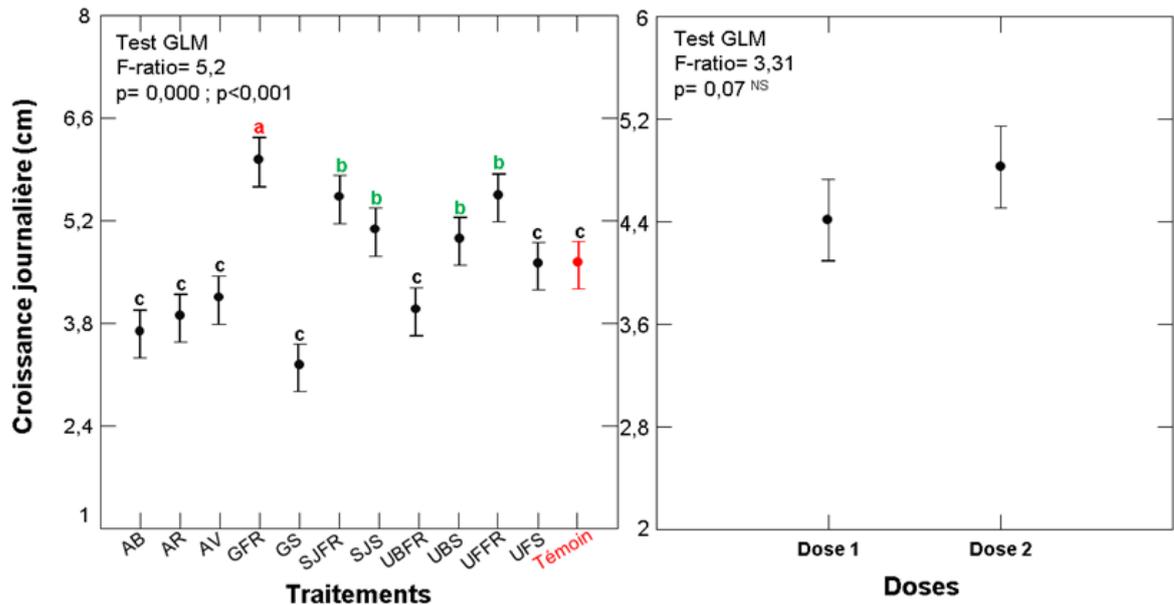
NS : Non significative, \* : Significative à 5%, \*\* : Significative à 1%, \*\*\* : Significative à 0,1%

Pour interpréter nos résultats nous avons appliqué l'analyse de la variance modèle générale linéaire G.L.M. aux résultats obtenus. La figure IV.4 confirme les variations de la croissance journalière des plants de tomate en fonction des différents traitements apportés ( $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ) et révèle que les grignons d'olive frais favorisent la croissance journalière des plantes (groupe homogène a) suivi par les deux formes sèche et fraîche de la sauge, le bulbe sec ainsi que les feuilles fraîches d'*Urginea* (groupe homogène b).

En revanche la forme sèche des grignons d'olive n'ont pas favorisé la croissance journalière des plantes et ils ont montré la croissance journalière la plus faible (groupe homogène c).

Concernant le reste des traitements ont présenté une faible croissance journalière des plantes et qui se rapproche de celle de témoin (groupe homogène c).

Cependant les résultats projetés dans la Figure IV.4.b. dévoilent que la dose de traitement n'affecte pas d'une manière significative la croissance journalière des plants de tomate ( $p=0,07$  ;  $p>0,05$ ) et que l'effet des deux doses (forte dose D1 et faible dose D2) est approchable.



**Figure IV.4 :** Modulation comparée de la croissance journalière des plants de tomate selon les différents traitements.

Tem : Témoin ; GS : Grignon sec ; GFR : Grignon frais ; UFS : *Urginea* feuille sèche; UFFR : *Urginea* feuille fraîche; UBS : *Urginea* bulbe sèche ; UBFR : *Urginea* bulbe fraîche ; SJS : Sauge sèche ; SJFR : Sauge fraîche ; AV : Algue verte ; AB : Algue brune ; AR : Algue rouge.

#### IV.1.1.3. Variations de la biomasse racinaire et aérienne des plants de tomate sous l'effet des différents amendements

Les probabilités obtenues par l'analyse de la variance de type GLM ainsi que les valeurs de la biomasse racinaire et aérienne des différents plants de tomate sont reportés dans le tableau IV.3.

Pour la biomasse des racines des plants de tomate les résultats révèlent une différence significative entre les différents traitements (F-ratio=19,61 ;  $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ) en ce qui concerne l'effet de la dose les résultats montrent une légère différence entre le poids racinaire sous l'effet de la forte dose (D1) et celui de la faible dose (D2) mais ce dernier n'est pas significatif (F-ratio=0 ;  $p=0,98$  ;  $p>0,05$ ).

D'après les résultats reportés dans le tableau IV.3 le poids racinaire le plus élevé est enregistré chez les plants traités avec les grignons d'olive frais à faible dose (D2) (11,3 g ; groupe homogène a), de même les trois types d'algues marines (rouge, verte et brune) appliquées à la forte dose était plus efficaces (groupe homogène a) à celle appliquées à la faible dose (D2). En revanche les grignons

d'olive sec appliqués aux deux doses ont montré la biomasse racinaire la plus faible (groupe homogène d).

Concernant la biomasse aérienne, des différences significatives ont enregistré entre les différents traitements (F-ratio= 13,78 ;  $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ), par contre la dose n'a pas montré ce même effet significatif (F-ratio= 0,94 ;  $p=0,000$  ;  $p<0,05$ ).

Le poids aérien le plus élevé est enregistré chez les plantes de tomates traitées avec les trois types d'algues marines appliquées à la forte dose (Dose 1) (groupe homogène a) plus précisément avec l'algue rouge (14,03 g). En revanche la plus faible biomasse aérienne est enregistrée chez les plants traités avec les grignons d'olive secs à la forte dose (dose 1).

**Tableau IV.3** : Moyennes arithmétique ( $\pm$  standard erreur) de la biomasse racinaire et aérienne des plants de tomate.

Traitements	Poids frais de la partie racinaire des plants de tomate (g) (Moy $\pm$ S.E)				Poids frais de la partie aérienne des plants de tomate (g) (Moy $\pm$ S.E)			
	Dose 1	Dose 2	F-ratio	$p$	Dose 1	Dose 2	F-ratio	$p$
Tem	3,61 $\pm$ 0,18 <b>b</b>	3,61 $\pm$ 0,18 <b>c</b>			10,01 $\pm$ 0,5 <b>b</b>	10,01 $\pm$ 0,5 <b>a</b>		
GS	1,23 $\pm$ 0,06 <b>d</b>	1,4 $\pm$ 0,07 <b>d</b>			3,1 $\pm$ 0,16 <b>e</b>	5,86 $\pm$ 0,29 <b>b</b>		
GFR	4,5 $\pm$ 0,22 <b>b</b>	11,3 $\pm$ 0,44 <b>a</b>			6,3 $\pm$ 0,31 <b>d</b>	11,3 $\pm$ 0,41 <b>a</b>		
UFS	3,76 $\pm$ 0,18 <b>b</b>	3,9 $\pm$ 0,12 <b>c</b>			10,66 $\pm$ 0,53 <b>b</b>	9,66 $\pm$ 0,27 <b>a</b>		
UFFR	3,63 $\pm$ 0,18 <b>b</b>	3,9 $\pm$ 0,12 <b>c</b>			8,23 $\pm$ 0,41 <b>c</b>	9,66 $\pm$ 0,28 <b>b</b>		
UBS	2,2 $\pm$ 0,11 <b>c</b>	1,66 $\pm$ 0,08 <b>d</b>	<b>0</b>	<b>0,98<sup>NS</sup></b>	5,46 $\pm$ 0,27 <b>d</b>	9,03 $\pm$ 0,11 <b>a</b>	<b>0,94</b>	<b>0,33<sup>NS</sup></b>
UBFR	2,8 $\pm$ 0,14 <b>c</b>	3,23 $\pm$ 0,16 <b>c</b>			5,76 $\pm$ 0,28 <b>d</b>	6,8 $\pm$ 0,34 <b>a</b>		
SJS	3,36 $\pm$ 0,16 <b>b</b>	3,8 $\pm$ 0,16 <b>c</b>			8,9 $\pm$ 0,44 <b>c</b>	9,03 $\pm$ 0,39 <b>a</b>		
SJFR	2,5 $\pm$ 0,25 <b>c</b>	3,13 $\pm$ 0,15 <b>c</b>			7,53 $\pm$ 0,27 <b>c</b>	6,73 $\pm$ 0,33 <b>b</b>		
AV	9,02 $\pm$ 0,18 <b>a</b>	5,66 $\pm$ 0,28 <b>b</b>			12,51 $\pm$ 0,18 <b>a</b>	9,75 $\pm$ 0,30 <b>a</b>		
AB	8,48 $\pm$ 0,42 <b>a</b>	6,04 $\pm$ 0,3 <b>b</b>			12,85 $\pm$ 0,64 <b>a</b>	10,43 $\pm$ 0,52 <b>a</b>		
AR	9,94 $\pm$ 0,43 <b>a</b>	7,47 $\pm$ 0,37 <b>b</b>			14,03 $\pm$ 0,44 <b>a</b>	11,16 $\pm$ 1,55 <b>a</b>		
<b>F-ratio</b>	<b>19,61</b>				<b>13,78</b>			
<b><math>p</math></b>	<b>0,000<sup>***</sup></b>				<b>0,000<sup>***</sup></b>			

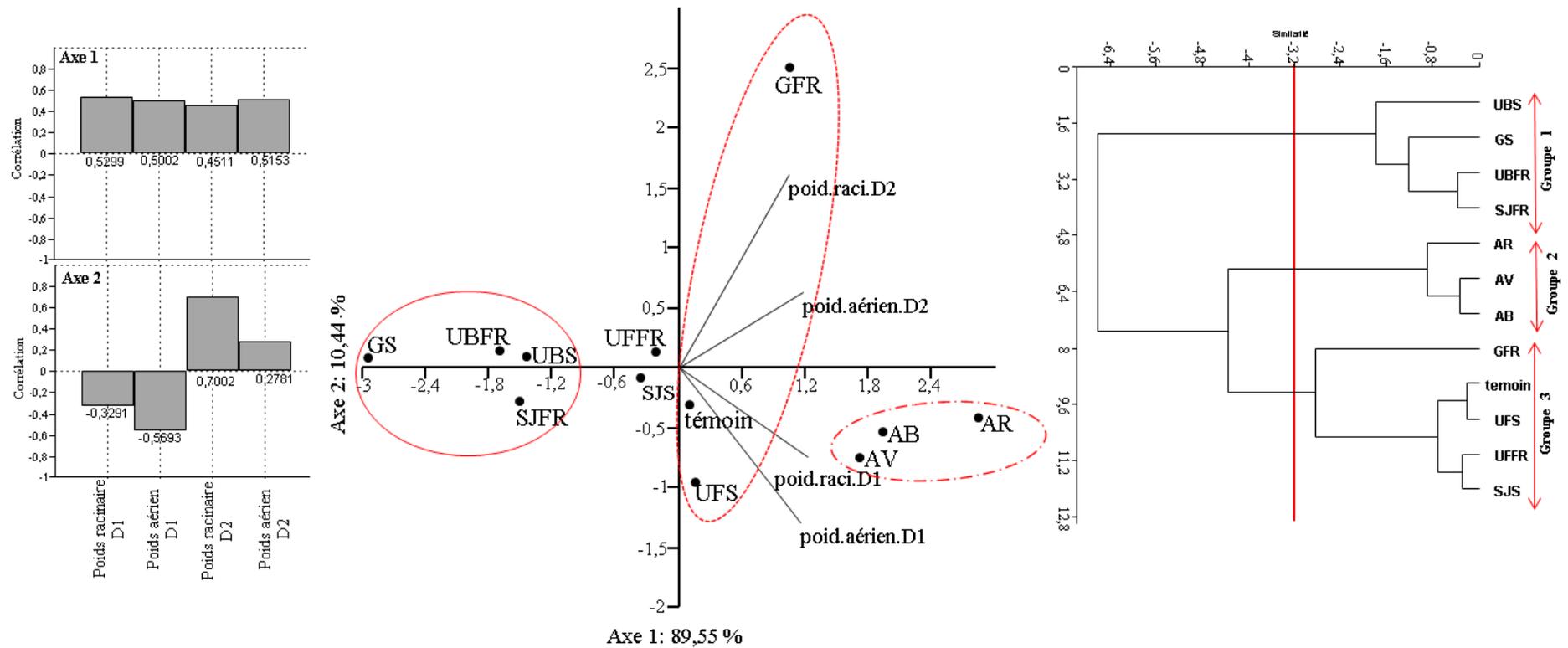
Tem : Témoin ; GS : Grignon sec ; GFR ; Grignon frais ; UFS : *Urginea* feuille sèche; UFFR : *Urginea* feuille fraîche; UBS : *Urginea* bulbe sèche ; UBFR : *Urginea* bulbe fraîche ; SJS : Saugé sèche ; SJFR : Saugé fraîche ; AV : Algue verte ; AB : Algue brune ; AR : Algue rouge.

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

La projection de la biomasse racinaire et aérienne des plants de tomates sous l'effet de différents traitements à travers l'analyse en composante principale (ACP) est satisfaisante pour l'ensemble des paramètres étudiés dans la mesure où plus de 90% de la variance est exprimée sur les deux axes (Figure IV.5).

La projection des vecteurs relatifs aux différents traitements sur le premier axe (89,55 %) (Figure IV.5) montre une contribution positive entre les traitements et les différents paramètres de croissance étudiés. Nous constatons que les vecteurs de l'effet de la forte dose (D1) sur la biomasse racinaire et aérienne se rapprochent et s'orientent vers la même direction et aussi même pour ceux de la faible dose (D2), ce qui confirme un effet analogue de la forte dose sur la biomasse racinaire et aérienne et également de celui de la faible dose sur la biomasse racinaire et aérienne avec un effet favorisé des grignon d'olive frais à la faible dose (D2) et les trois types d'algues (rouge, brune et verte) à la forte dose (D1) sur le poids racinaire.

En revanche, la projection des valeurs sur l'axe 2 (10,44%) montre que l'effet de la forte dose (D1) sur la biomasse racinaire et aérienne se distingue de celui de la faible dose (D2) et la projection de leurs vecteurs dévoile une contribution négative.



**Figure IV.5 :** Projection de la biomasse racinaire et aérienne des plants de tomate sous l'effet des traitements sur les deux axes de l'ACP

Tem : Témoin ; GS : Grignon sec ; GFR : Grignon frais ; UFS : *Urginea* feuille sèche ; UFFR : *Urginea* feuille fraîche ; UBS : *Urginea* bulbe sèche ; UBFR : *Urginea* bulbe fraîche ; SJS : Sauge sèche ; SJFR : Sauge fraîche ; AV : Algue verte ; AB : Algue brune ; AR : Algue rouge ; pod.raci.D2 : poids racinaire à la faible dose ; pod.raci.D1 : poids racinaire à la forte dose ; pod.aérien.D2 : poids aérien à la faible dose ; pod.aérien.D1 : poids aérien à la forte dose.

#### IV.1.1.4. Variations des paramètres de production des plants de tomate sous l'effet des différents amendements

L'évaluation des traits de production des plants de tomate a été étudiée sous l'effet de différents types d'amendement apportés. Nous avons considéré l'induction florale comme paramètres pouvant dévoiler la capacité des biofertilisants à améliorer la production des plants de tomate.

Les résultats reportés dans le tableau IV.4, montrent que l'apport des biofertilisants signale un effet très hautement significatif sur la production florale des plants de tomate ( $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ).

En revanche les mêmes résultats dévoilent que la dose de ces traitements n'affectent pas d'une manière significatif la production florale des plants de tomate ( $p=0,37$  ;  $p>0,05$ ).

Cependant il ressort d'après les résultats reportés dans le tableau IV.3 que la sauge sèche, les feuilles fraîches de *l'Urginea* ainsi que les deux algues brune et verte apportés à la forte dose (dose 1) stimulent d'une manière positive la production florale de la tomate (groupe homogène a).

Par ailleurs à la faible dose (dose 2) les grignons d'olive frais, les feuilles fraîches et sèches de *l'Urginea* ainsi que la forme sèche de la sauge favorisent la production florale des plants de tomate (groupe homogène a) en comparaison avec le témoin (groupe homogène bc).

Les mêmes résultats montrent que le nombre de fleurs le plus faible est enregistré chez les plants traités avec les grignons d'olive secs à la forte (dose 1) et faible dose (dose 2) (groupe homogène c).

**Tableau IV.4** : Moyennes arithmétique ( $\pm$  standard erreur) des paramètres de production des plants de tomate.

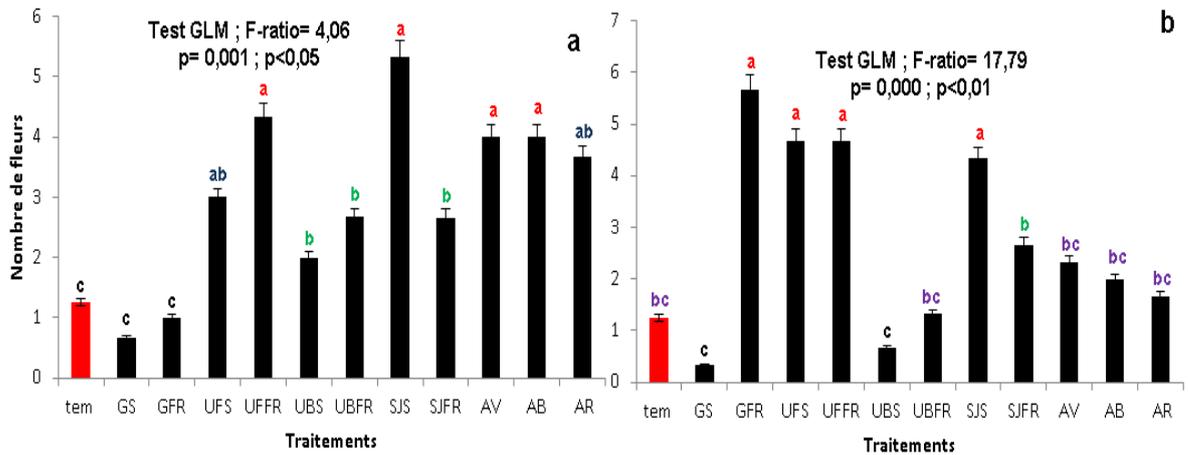
Traitements	nombre de fleurs des plants de tomate			
	Dose 1	Dose 2	F-ratio	p
Tem	1,25 $\pm$ 0,06 c	1,25 $\pm$ 0,06 bc		
GS	0,66 $\pm$ 0,03 c	0,33 $\pm$ 0,01 c		
GFR	1 $\pm$ 0,05c	5,66 $\pm$ 0,28 a		
UFS	3 $\pm$ 0,15ab	4,66 $\pm$ 0,23 a		
UFFR	4,33 $\pm$ 0,21 a	4,66 $\pm$ 0,23 a		
UBS	2 $\pm$ 0,06 b	0,66 $\pm$ 0,06 c	0,79	0,37 <sup>NS</sup>
UBFR	2,66 $\pm$ 0,13 b	1,33 $\pm$ 0,06 bc		
SJS	5,33 $\pm$ 0,26 a	4,33 $\pm$ 0,21 a		
SJFR	2,66 $\pm$ 0,13 b	2,66 $\pm$ 0,13 b		
AV	4 $\pm$ 0,2 a	2,33 $\pm$ 0,11 bc		
AB	4 $\pm$ 0,2 a	2 $\pm$ 0,1 bc		
AR	3,66 $\pm$ 0,18 ab	1,66 $\pm$ 0,08 bc		
<b>F-ratio</b>	<b>6,4</b>			
<b>p</b>	<b>0,000<sup>***</sup></b>			

Tem : Témoin ; GS : Grignon sec ; GFR : Grignon frais ; UFS : *Urginea* feuille sèche; UFFR : *Urginea* feuille fraîche; UBS : *Urginea* bulbe sèche ; UBFR : *Urginea* bulbe fraîche ; SJS : Saugè sèche ; SJFR : Saugè fraîche ; AV : Algue verte ; AB : Algue brune ; AR : Algue rouge.

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

La présentation graphique des résultats relatifs à la production florale des plants de tomate Figure IV.6 révèle l'hégémonie de la forme sèche de la saugè et fraîche de *Urginea* en terme de stimulation de la production florale sous l'effet des deux dose (dose 1 et dose 2) (groupe homogène a), alors que les grignons d'olive frais semble plus efficaces à la faible dose (dose 2) (groupe homogène a) qu'à la forte dose (dose 1) (groupe homogène c).

Par ailleurs les grignons d'olive secs n'ont pas montré un effet positif sur la production florale des plants de tomate à la forte (dose1) ni à la faible dose (dose 2) (groupe homogène c)



**Figure IV.6 : Effet des différents traitements sur les paramètres de production des plants de tomate.**

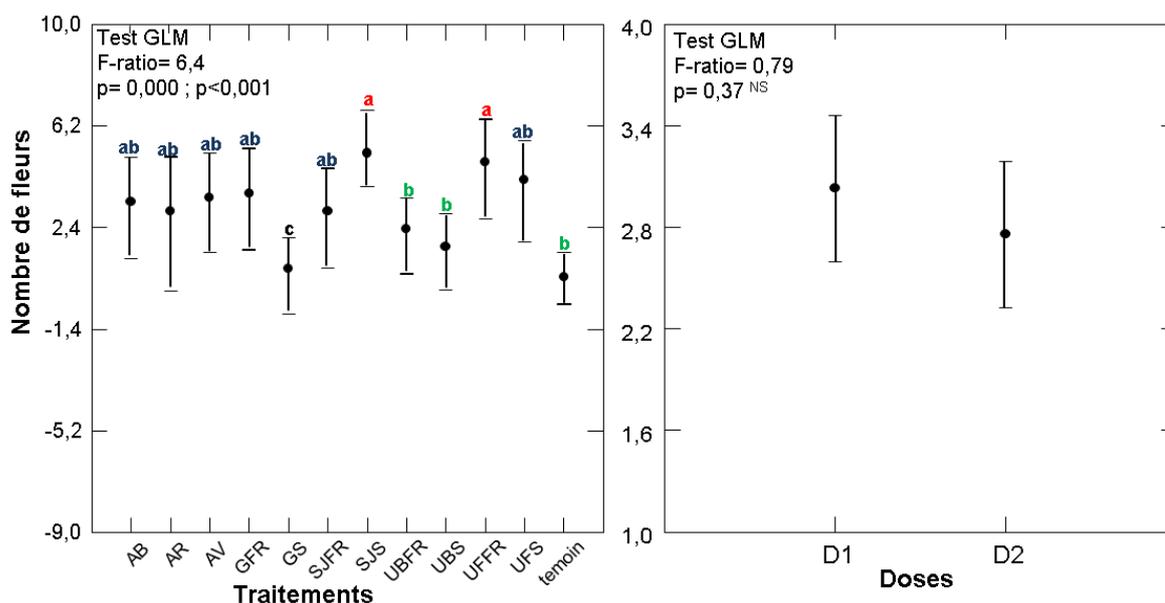
a : Dose 1 ; b : dose 2.

Tem : Témoin ; GS : Grignon sec ; GFR : Grignon frais ; UFS : *Urginea* feuille sèche; UFFR : *Urginea* feuille fraîche; UBS : *Urginea* bulbe sèche ; UBFR : *Urginea* bulbe fraîche ; SJS : Sauge sèche ; SJFR : Sauge fraîche ; AV : Algue verte ; AB : Algue brune ; AR : Algue rouge.

L'application de l'analyse de la variance modèle générale linéaire G.L.M. aux résultats obtenus (Figure IV.7) confirme les variations de la production florale des plants de tomate en fonction des différents traitements apportés ( $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ), et révèle que la forme sèche de la sauge ainsi que les feuilles fraîches de *Urginea* montrent la production florale des plantes la plus élevée (groupe homogène a) par rapport au témoin (groupe homogène b) et en comparaison aux autres amendements apportés.

Par ailleurs le bulbe d'*Urginea* (séc et frais) fait montré une production florale similaire à celle de témoin (groupe homogène b).

Cependant les grignons d'olive secs ont montré la production florale la plus faible (groupe homogène c).



**Figure IV.7 :** Modulation comparée de nombre de fleurs des plants de tomate selon les différents traitements.

Tem : Témoin ; GS : Grignon sec ; GFR ; Grignon frais ; UFS : *Urginea* feuille sèche; UFFR : *Urginea* feuille fraîche; UBS : *Urginea* bulbe sèche ; UBFR : *Urginea* bulbe fraîche ; SJS : Sauge sèche ; SJFR : Sauge fraîche ; AV : Algue verte ; AB : Algue brune ; AR : Algue rouge.

#### IV.1.2. Evaluation de l'activité des amendements organiques apportés d'origine animale sur l'expression végétative des plants de tomate

##### IV.1.2.1. Variations de la croissance moyenne de la partie aérienne des plants de tomate sous l'effet des différents amendements

La fluctuation temporelle des traits de croissance de la tomate a été étudiée sous l'effet des différents amendements organique d'origine animale. Nous avons considéré la croissance des parties aérienne comme paramètres ayant la capacité de dévoiler l'aptitude des différents amendements d'origine végétale à stimuler la croissance des plants de tomate.

Les probabilités obtenues par l'analyse de variance de type GLM ainsi que les résultats de l'évolution par quinzaine des paramètres de croissance des plants de tomate sont reportés dans le tableau IV.5.

Il apparait ; d'après les résultats reportés dans le tableau IV.5 que l'expression végétative des plants de tomate varie d'une manière significative dans le temps ( $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ), et que les différents traitements appliqués montre également une différence significative entre eux pour les trois quinzaines en revanche la dose

de ces mêmes traitement n'affecte pas d'une manière significative la croissance des plantes ( $p=0,97$  ;  $p<0,001$ ).

A la forte dose (dose 1), les résultats reportés dans le tableau IV.5 révèlent que les différents traitements d'origine animale appliqué n'ont pas montré un effet favorable sur la croissance des plants de tomate par rapport au témoin malgré la présence d'une différence significative entre ces derniers pendant les trois quinzaines ( $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ) et que la croissance des plants à la troisième quinzaine se rapproche de celle de témoin (26,1 cm ; groupe homogène a) à l'exception des plantes traitées avec le lombricompost frais qui ont montré la croissance la plus élevée dans l'ensemble des traitements (28,33 cm ; groupe homogène a). En revanche les plantes traitées avec le thé de lombricompost et le lombricompost fermenté ont présenté les croissances les plus faibles (14,62 cm et 16,62 cm ; groupe homogène b).

De même pour les traitements appliqués à la faible dose (dose 2), les résultats relatifs dévoilent une différence significative entre les traitements appliqués ( $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ) et montrent également que la croissance des plants varie également d'une manière significative entre les différentes quinzaines ( $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ). La croissance à la troisième quinzaine des plantes traitées à la faible dose (dose2) se rapproche de celle des plantes traitées à la forte dose (dose 1), les traitements qui ont dévoilé les croissances les plus élevée que le témoin sont le lombricompost frais et la chitine de crevette (29,07 cm et 27,66 cm ; groupe homogène a), par contre la croissance la plus faible a été enregistrée chez les plants traités avec le thé de lombricompost et le lombricompost fermenté (13,25 cm et 14,62 cm , groupe homogène c) en comparaison avec le témoin (26,1 cm ; groupe homogène a).

**Tableau IV.5** : Moyennes arithmétique ( $\pm$  standard erreur) de la croissance moyenne de la partie aérienne des plants de tomate par quinzaine.

TRT	long initiale	1 <sup>ère</sup> quinzaine	2 <sup>ème</sup> quinzaine	3 <sup>ème</sup> quinzaine	F-ratio	<i>p</i>	
	Moy $\pm$ S.E.	Moy $\pm$ S.E.	Moy $\pm$ S.E.	Moy $\pm$ S.E.			
DOSE 1	Tem	8,37 $\pm$ 0,18 <b>ab</b>	13,37 $\pm$ 0,48 <b>ab</b>	21,15 $\pm$ 1,20 <b>a</b>	26,1 $\pm$ 1,12 <b>a</b>	<b>133,85</b>	<b>0,000***</b>
	LS	8,16 $\pm$ 0,11 <b>ab</b>	10,16 $\pm$ 0,11 <b>b</b>	16,66 $\pm$ 0,11 <b>ab</b>	26,33 $\pm$ 0,23 <b>a</b>		
	LFR	7,33 $\pm$ 0,23 <b>b</b>	10 $\pm$ 0,4 <b>b</b>	13,66 $\pm$ 0,47 <b>ab</b>	28,33 $\pm$ 0,62 <b>a</b>		
	FS	8,16 $\pm$ 0,11 <b>ab</b>	9,5 $\pm$ 0,2 <b>b</b>	15,66 $\pm$ 0,62 <b>ab</b>	25,33 $\pm$ 0,23 <b>a</b>		
	CH	9,33 $\pm$ 0,47 <b>a</b>	15,66 $\pm$ 0,42 <b>a</b>	20,83 $\pm$ 0,51 <b>a</b>	25,16 $\pm$ 0,42 <b>a</b>		
	TL	6 $\pm$ 0,12 <b>c</b>	8,5 $\pm$ 0,2 <b>c</b>	11,25 $\pm$ 0,52 <b>b</b>	14,62 $\pm$ 0,74 <b>b</b>		
	LF	6 $\pm$ 0,10 <b>c</b>	7,75 $\pm$ 0,32 <b>c</b>	9,87 $\pm$ 0,31 <b>b</b>	16,62 $\pm$ 0,51 <b>b</b>		
DOSE 2	Tem	8,37 $\pm$ 0,18 <b>a</b>	13,37 $\pm$ 0,48 <b>b</b>	21,15 $\pm$ 1,20 <b>ab</b>	26,1 $\pm$ 1,12 <b>ab</b>	<b>117,23</b>	<b>0,000***</b>
	LS	8 $\pm$ 0,4 <b>a</b>	10 $\pm$ 0,2 <b>c</b>	16,5 $\pm$ 0,35 <b>ab</b>	23,33 $\pm$ 0,62 <b>ab</b>		
	LFR	7,66 $\pm$ 0,47 <b>ab</b>	11,33 $\pm$ 0,62 <b>bc</b>	17,83 $\pm$ 0,42 <b>ab</b>	29 $\pm$ 0,7 <b>a</b>		
	FS	8 $\pm$ 0,4 <b>a</b>	9,66 $\pm$ 0,11 <b>c</b>	14,5 $\pm$ 0,4 <b>bc</b>	21 $\pm$ 0,81 <b>b</b>		
	CH	9,16 $\pm$ 0,31 <b>a</b>	16,66 $\pm$ 0,31 <b>a</b>	21,83 $\pm$ 0,51 <b>a</b>	27,66 $\pm$ 0,51 <b>a</b>		
	TL	6 $\pm$ 0,3 <b>b</b>	9,12 $\pm$ 0,31 <b>c</b>	11 $\pm$ 0,45 <b>c</b>	13,25 $\pm$ 0,32 <b>c</b>		
	LF	6 $\pm$ 0,3 <b>b</b>	7,75 $\pm$ 0,14 <b>c</b>	10,75 $\pm$ 0,47 <b>c</b>	14,62 $\pm$ 0,31 <b>c</b>		
F-ratio		<b>0,001</b>					
<i>p</i>		<b>0,97<sup>NS</sup></b>					

Long : Longueur ; Moy : Moyenne ; Tem : Témoin ; LS : Lombricompost sec ; LFR : Lombricompost frais ; FS : Fumier sec ; CH : Chitine de crevette ; TL : Thé de lombricompost ; LF : Lombricompost fermenté.

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

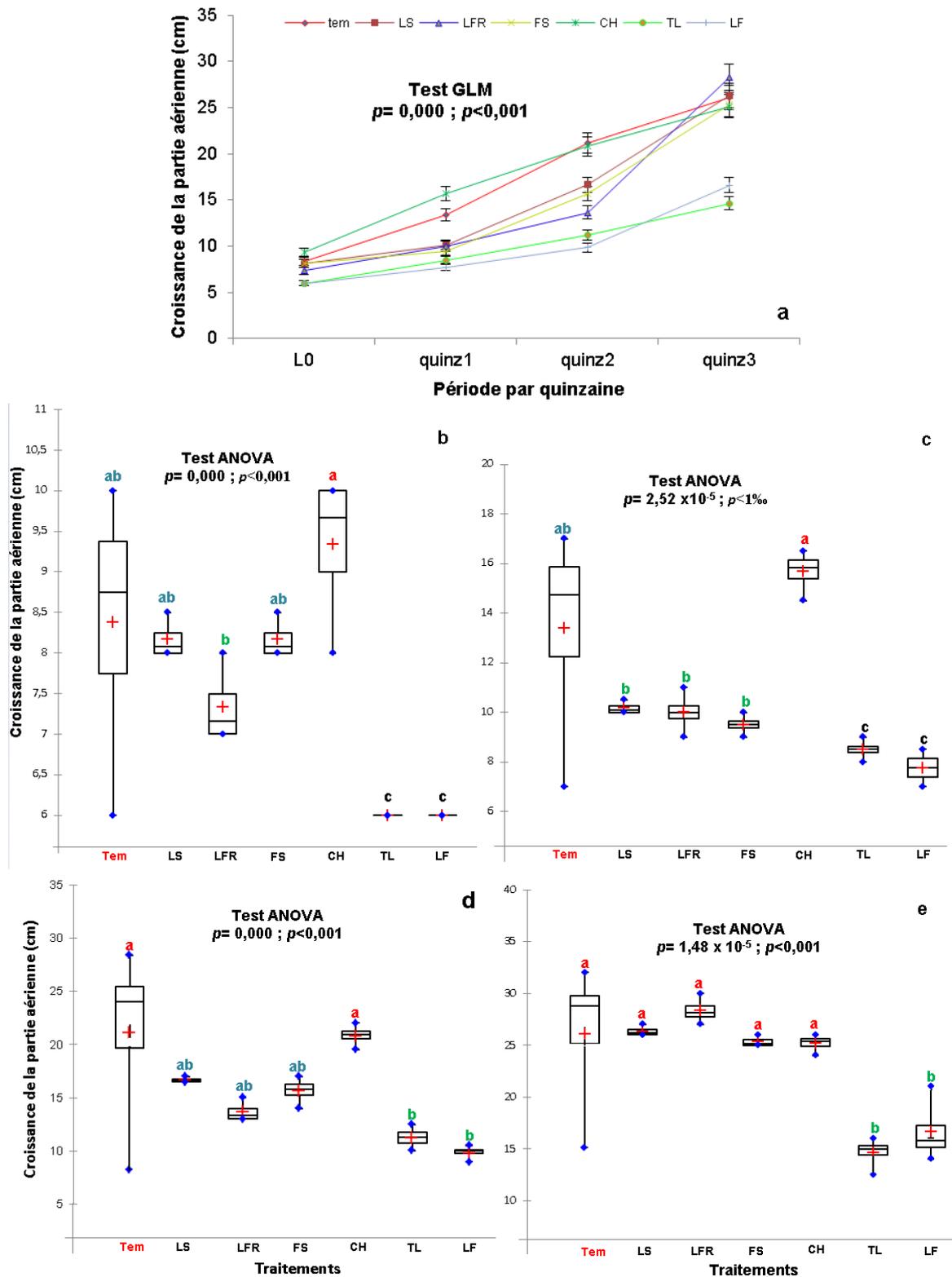
La figure IV.8 représente la variation temporelle de la croissance en hauteur de la partie aérienne par quinzaine en fonctions des traitements utilisés à la forte dose (D1). Les résultats reportés graphiquement sur la figure IV.8.a révèlent que la croissance moyenne des plantes varie d'une manière significative en fonction du temps et des amendements apportés.

Les boîtes à moustaches exposent ici la variation des valeurs expérimentales des essais. Elles ont été consolidées par le test ANOVA dans le but de confirmer les traitements qui ont participé à la signalisation des différences significatives.

Les figures IV.8.c, d et e, révèlent que les différents traitements n'ont pas montré un effet favorable sur la croissance des plants de tomate par quinzaine par rapport à celle du témoin. Le seul amendement qui a montré un effet plus important sur la croissance est la chitine de crevette. Elle a favorisé la croissance de la partie aérienne des plants (groupe homogène a) par rapport au témoin et par rapport

aux autres traitements durant les deux premières quinzaines de l'essai. Par contre durant la troisième quinzaine, la croissance n'a pas montré ce même effet. Cependant, la croissance des plants traités avec le lombricompost frais ont dévoilé la croissance la plus favorisée (groupe homogène a) à cette période. En revanche, les plantes traitées avec le thé de lombricompost et le lombricompost fermenté leur croissance sous l'effet des traitements commence à se diminuer après l'apport du traitement à la première quinzaine jusqu'à la dernière quinzaine où elles ont montré la croissance la plus faible (groupe homogène c) par rapport aux autres plantes traitées et au témoin.

En ce qui concerne l'effet des autres amendements, il était approchable de celui de témoin.



**Figure IV.8 :** Variation de la croissance moyenne des plants de tomate en fonctions des traitements à la forte dose. (a) : variation temporelle de la croissance par quinzaine ; (b) : longueur initiale ; (c) : première quinzaine ; (d) : deuxième quinzaine (e) : troisième quinzaine.

L0 : Longueur initiale ; quinz 1 : Première quinzaine ; quinz 2 : Deuxième quinzaine ; quinz 3 : Troisième quinzaine ; Tem : Témoin ; LS : Lombricompost sec ; LFR : Lombricompost frais ; FS : Fumier sec ; CH : Chitine de crevette ; TL : Thé de lombricompost ; LF : Lombricompost fermenté.

La présentation graphique permet de distinguer la variation de la croissance moyenne de la partie aérienne des plants de tomate par quinzaine sous l'effet des différents amendements apportés à la faible dose (dose 2) (Figure IV.9).

Les résultats reportés sur la figure IV.9.a' révèlent que la croissance moyenne des plants varie d'une manière significative en fonction du temps et des amendements apportés.

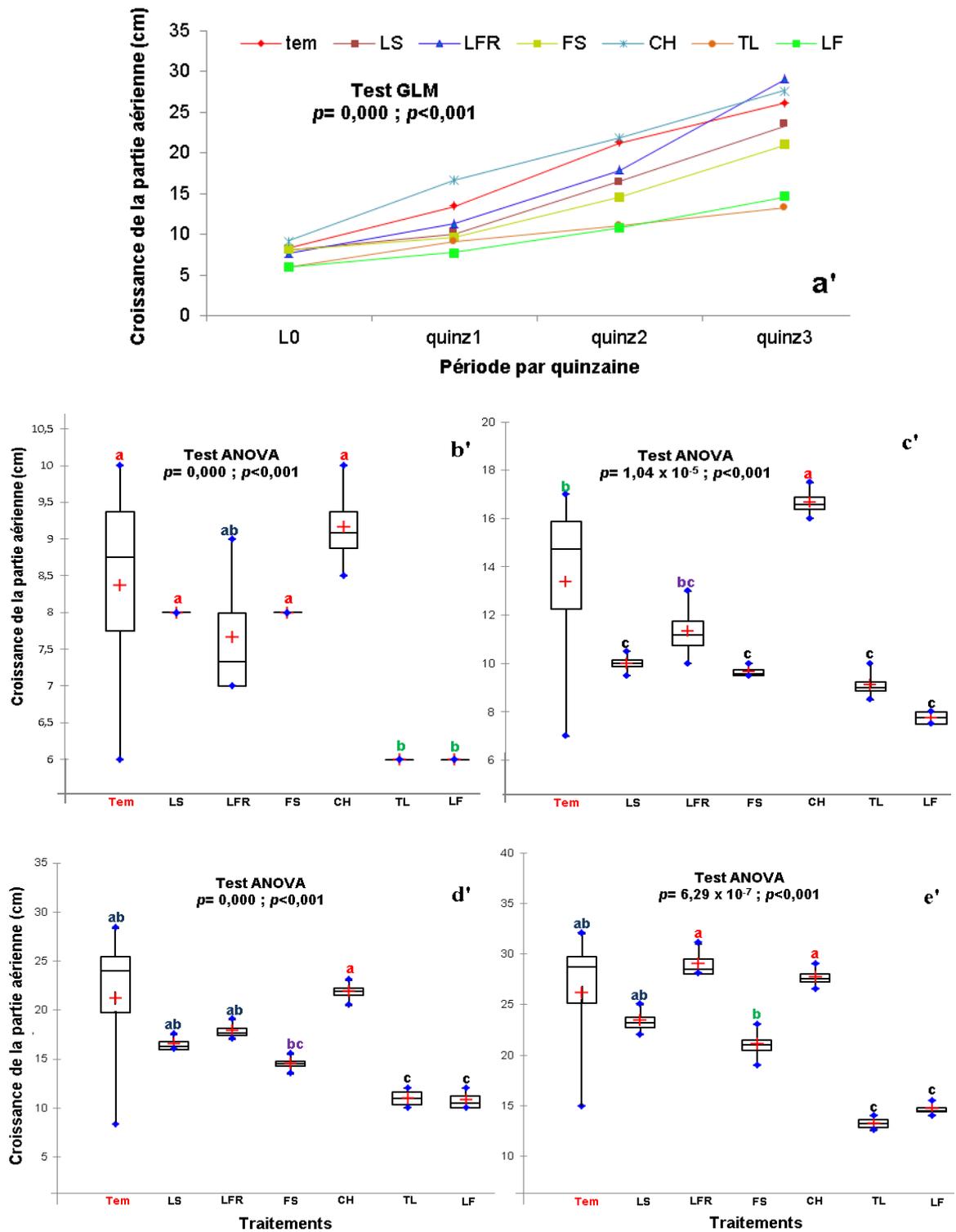
Les boîtes à moustaches dévoilent la variation des valeurs expérimentales de la croissance moyenne des plants de tomate et elles ont été confirmées avec le test ANOVA dans le but de montrer les traitements qui ont participé à la signalisation des différences significatives.

Les figures IV.9.c', d' et e', révèlent que la chitine de crevette a stimulé la croissance moyenne de la partie aérienne des plantes (groupe homogène a) par rapport au témoin et par rapport aux autres traitements dès les premières semaines de l'essai.

Cependant l'action de la forme fraîche de lombricompost sur la croissance des plantes était plus favorisée dans la troisième quinzaine (groupe homogène a) que les deux premières quinzaines (groupe homogène bc, et ab).

En revanche le fumier sec, thé de lombricompost et le lombricompost fermenté ont montré une faible croissance moyenne de la partie aérienne des plants de tomate et qui était plus faible que celle de témoin.

En ce qui concerne le lombricompost sec son effet était approchable de celui de témoin (groupe homogène ab).



**Figure IV.9 :** Variation de la croissance moyenne des plants de tomate en fonctions des traitements à la faible dose. (a) : variation temporelle de la croissance par quinzaine ; (b) : longueur initiale ; (c) : première quinzaine ; (d) : deuxième quinzaine (e) : troisième quinzaine.

L0 : Longueur initiale ; quinz 1 : Première quinzaine ; quinz 2 : Deuxième quinzaine ; quinz 3 : Troisième quinzaine ; Tem : Témoin ; LS : Lombricompost sec ; LFR ; Lombricompost frais ; FS : Fumier sec ; CH Chitine de crevette ; TL : Thé de lombricompost ; LF: Lombricompost fermenté.

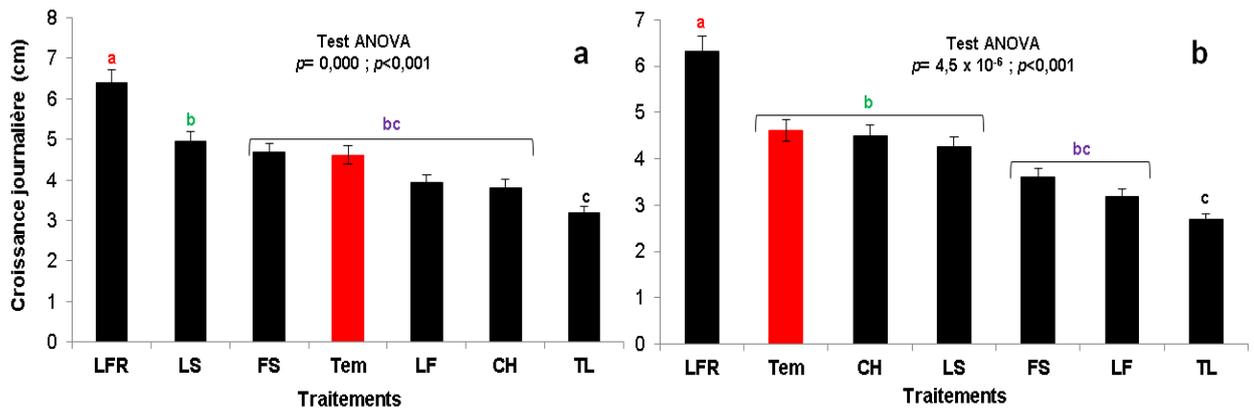
#### IV.1.2.2. Variations de la croissance journalière de la partie aérienne des plants de tomate sous l'effet des différents amendements

Les fluctuations des traits de croissance journalière de la partie aérienne des plants de tomate ont été étudiées sous l'effet des différents types d'amendements apportés ainsi que leurs doses (Figure IV.10).

La figure IV.10.a, représente l'effet des différents amendements apportés à la forte dose (dose 1) sur la croissance journalière des plants de tomate, les résultats reportés dans la figure révèlent une différence très hautement significative entre les différents traitements appliqués ( $p = 0,000$  ;  $p < 0,001$ ). Cependant la forme fraîche de lombricompost semble la plus efficace le fait que les plants traités avec cette dernière ont montré la croissance journalière la plus importante (groupe homogène a) par rapport au témoin et par rapport aux autres traitements appliqués. En revanche les mêmes résultats (Figure IV.10.a) dévoilent que la croissance journalière la plus faible a été enregistrée chez les plants traités avec le thé de lombricompost (groupe homogène c).

De même la figure IV.10.b qui montre les résultats relatifs aux variations de la croissance journalière en fonction des différents traitements apportés à la faible dose (dose 2) révèle que ces derniers affectent d'une manière très hautement significative la croissance journalière des plants traités ( $p = 4,5 \times 10^{-6}$  ;  $p < 0,001$ ). Le lombricompost frais a favorisé la croissance journalière des plants de tomate par rapport aux autres traitements et par rapport au témoin (groupe homogène a), alors que la chitine de crevette et le lombricompost sec ont montré un effet approchable à celui de témoin (groupe homogène b), contrairement au fumier sec et lombricompost fermenté qui ont montré un effet moins favorisé de celui de témoin.

Cependant les valeurs les plus faibles ont été enregistré chez les plants traité avec le thé de lombricompost (groupe homogène c).



**Figure IV.10** : Effet des différents traitements sur la croissance journalière des plants de tomate, (a) : dose 1 ; (b) : dose 2.

Tem : Témoin ; LS : Lombricompost sec ; LFR ; Lombricompost frais ; FS : Fumier sec; CH Chitine de crevette; TL : Thé de lombricompost ; LF: Lombricompost fermenté.

Les résultats de la croissance en hauteur journalière de la partie aérienne des plants de tomate en fonction des traitements et leurs doses, ainsi que les probabilités obtenues par l'analyse de la variance de type GLM sont exposés dans le tableau IV.6.

Les résultats relatifs au tableau IV.6 confirme ceux projetés graphiquement dans la figure IV.10 et révèle que les différents amendements apportés affectent d'une manière hautement significative la croissance journalière des plants de tomate ( $p=0,000$  ;  $p>0,01$ ), et que la dose de ces amendements montre également une différence significative sur la croissance journalière des plantes ( $p=0,04$  ;  $p<0,05$ ).

Le lombricompost frais a montré une croissance journalière plus favorisée à la forte dose (dose 1) (6,40 cm) et à la faible dose (dose 2) (6,32 cm) (groupe homogène a), en comparaison au témoin et aux autres traitements.

En revanche le fumier sec, le lombricompost fermenté et le thé de lombricompost ont montré les valeurs les plus faibles de la croissance journalière en comparaison avec le témoin (groupe homogène bc, et c).

En ce qui concerne la forme sèche de lombricompost et la chitine de crevette ont montré un effet approchable sur la croissance journalière des plants de celui de témoin (groupe homogène b).

**Tableau IV.6** : Moyennes arithmétique ( $\pm$  standard erreur) de la croissance journalière de la partie aérienne des plants de tomate.

Croissance journalière de la partie aérienne des plantes (Moy $\pm$ S.E.)				
	Dose 1	Dose 2	F-ratio	$p$
Tem	4,61 $\pm$ 0,23 bc	4,61 $\pm$ 0,23 b		
LS	4,95 $\pm$ 0,14 b	4,25 $\pm$ 0,17 b		
LFR	6,40 $\pm$ 0,32 a	6,32 $\pm$ 0,31 a		
FS	4,67 $\pm$ 0,03 bc	3,61 $\pm$ 0,18 bc	4,49	0,04*
CH	3,81 $\pm$ 0,19 bc	4,5 $\pm$ 0,22 b		
TL	3,19 $\pm$ 0,1 c	2,68 $\pm$ 0,11c		
LF	3,93 $\pm$ 0,19 bc	3,19 $\pm$ 0,11 bc		
F- ratio	18,05			
$p$	0,000***			

Tem : Témoin ; LS : Lombricompost sec ; LFR ; Lombricompost frais ; FS : Fumier sec; CH Chitine de crevette; TL : Thé de lombricompost ; LF: Lombricompost fermenté.

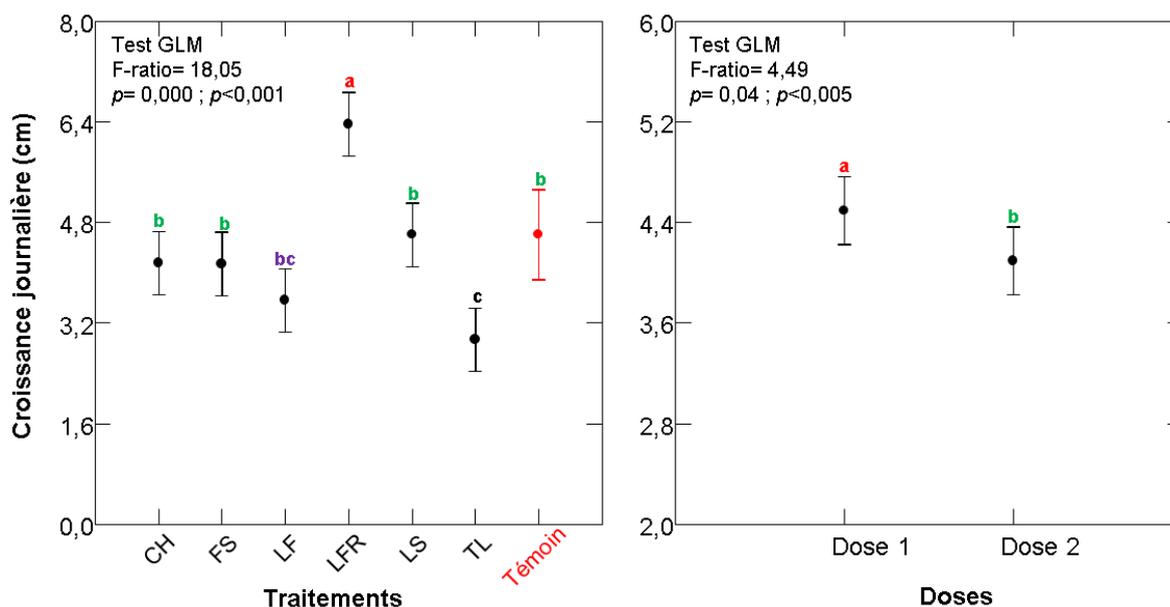
NS : Non significative, \* : Significative à 5%, \*\* : Significative à 1%, \*\*\* : Significative à 0,1%

Pour interpréter nos résultats nous avons appliqué l'analyse de la variance modèle générale linéaire G.L.M. aux résultats obtenus. La figure IV.11 confirme les variations de la croissance journalière des plants de tomate en fonction des différents traitements apportés ( $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ) et révèle que le lombricompost frais favorise la croissance journalière des plante (groupe homogène a) par rapport au témoin.

En revanche le thé de lombricompost et le lombricompost fermenté n'ont pas favorisé la croissance journalière des plants et ils ont montré les valeurs les plus faibles de la croissance journalière (groupe homogène bc et c).

Concernant le reste des traitements ont présenté une faible croissance journalière des plantes et qui se rapproche de celle de témoin (groupe homogène b).

En ce qui concerne l'effet de la dose, les résultats projetés dans la Figure IV.11 dévoilent que la dose de traitement montre une différence significative sur la croissance journalière des plants de tomate ( $p=0,04$  ;  $p<0,05$ ).



**Figure IV.11** : Modulation comparée de la croissance journalière des plants de tomate selon les différents traitements

Tem : Témoin ; LS : Lombricompost sec ; LFR ; Lombricompost frais ; FS : Fumier sec; CH Chitine de crevette; TL : Thé de lombricompost ; LF: Lombricompost fermenté.

#### IV.1.2.3. Variations de la biomasse racinaire et aérienne des plants de tomate sous l'effet des différents amendements

Les probabilités obtenues par l'analyse de la variance de type GLM ainsi que les valeurs de la biomasse racinaire et aérienne des différents plants de tomate sont reportés dans le tableau IV.7.

Pour la biomasse des racines des plants de tomate les résultats révèlent une différence significative entre les différents traitements (F-ratio=92,65 ;  $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ) en ce qui concerne l'effet de la dose les résultats montrent également une différence significative entre les deux dose (la faible et la forte dose) (F-ratio=13,16 ;  $p=0,001$  ;  $p>0,01$ ).

D'après les résultats reportés dans le tableau IV.7 le poids racinaire le plus élevé est enregistré chez les plants traités avec la chitine de crevette à la faible dose (D2) (10,25 g ; groupe homogène a), de même le lombricompost fermenté appliqué à la forte et la faible dose était plus efficaces (groupe homogène b) en comparaison au témoin. En revanche les deux formes sèche et fraîche de lombricompost appliqués à la forte dose (dose 1) ont montré la biomasse racinaire

la plus faible (groupe homogène cd et d). Quant aux autres traitements leur effet sur la biomasse racinaire était approchable à celui de témoin (groupe homogène c).

Concernant la biomasse aérienne, des différences significatives ont enregistré entre les différents traitements (F-ratio=61,45 ;  $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ), par contre la dose n'a pas montré ce même effet significatif (F-ratio=0,039 ;  $p=0,84$  ;  $p>0,05$ ).

Le poids aérien le plus élevé est enregistré chez les plantes de tomates traitées avec le lombricompost frais avec les deux dose (dose 1 et Dose 2) et la chitine de crevette appliquées à la faible dose (Dose 2) (groupe homogène a).

En revanche la plus faible biomasse aérienne est enregistrée chez les plants traités avec le thé de lombricompost avec les deux doses (Dose 1 et Dose 2).

En ce qui concerne le reste des traitements ont montré un effet proche sur la biomasse aérienne de celui du témoin.

**Tableau IV.7** : Moyennes arithmétique ( $\pm$  standard erreur) de la biomasse racinaire et aérienne des plants de tomate

Traitements	Poids frais de la partie racinaire des plants de tomate (g) (Moy $\pm$ S.E.)				Poids frais de la partie aérienne des plants de tomate (g) (Moy $\pm$ S.E.)			
	Dose 1	Dose 2	F-ratio	p	Dose 1	Dose 2	F-ratio	p
Témoin	3,61 $\pm$ 0,18 <b>c</b>				10,01 $\pm$ 0,5 <b>c</b>	10,01 $\pm$ 0,5 <b>b</b>		
LS	2,56 $\pm$ 0,12 <b>cd</b>	3,4 $\pm$ 0,17 <b>c</b>			14,8 $\pm$ 0,1 <b>a</b>	13,3 $\pm$ 0,43 <b>a</b>		
LFR	1,66 $\pm$ 0,08 <b>d</b>	3,17 $\pm$ 0,15 <b>c</b>			9,76 $\pm$ 0,44 <b>c</b>	10,46 $\pm$ 0,52 <b>b</b>		
FS	3,16 $\pm$ 0,16 <b>c</b>	3,33 $\pm$ 0,1 <b>c</b>	<b>13,16</b>	<b>0,001**</b>	10,33 $\pm$ 0,14 <b>c</b>	7,63 $\pm$ 0,16 <b>c</b>	<b>0,039</b>	<b>0,84<sup>NS</sup></b>
CH	8,35 $\pm$ 0,25 <b>a</b>	10,25 $\pm$ 0,48 <b>a</b>			12,51 $\pm$ 0,25 <b>b</b>	14,25 $\pm$ 0,36 <b>a</b>		
TL	3,07 $\pm$ 0,15 <b>c</b>	3,47 $\pm$ 0,17 <b>c</b>			4,55 $\pm$ 0,22 <b>e</b>	5,47 $\pm$ 0,27 <b>d</b>		
LF	5,4 $\pm$ 0,27 <b>b</b>	5,12 $\pm$ 0,25 <b>b</b>			7,22 $\pm$ 0,36 <b>d</b>	7,67 $\pm$ 0,38 <b>c</b>		
<b>F</b>	<b>92,65</b>				<b>61,45</b>			
<b>p</b>	<b>0,000***</b>				<b>0,000***</b>			

Tem : Témoin ; LS : Lombricompost sec ; LFR ; Lombricompost frais ; FS : Fumier sec; CH Chitine de crevette; TL : Thé de lombricompost ; LF: Lombricompost fermenté.

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

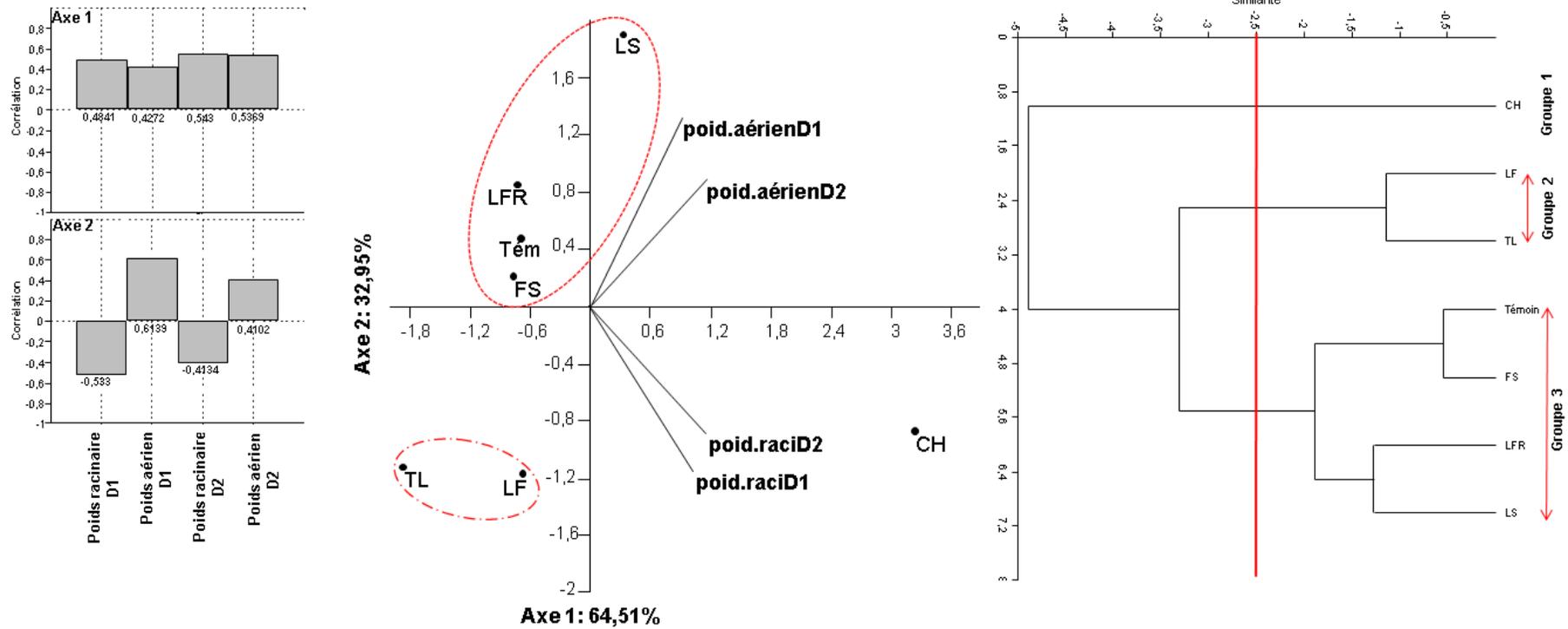
La projection de la biomasse racinaire et aérienne des plants de tomates sous l'effet de différents traitements à travers l'analyse en composante principale (ACP) est satisfaisante pour l'ensemble des paramètres étudiés dans la mesure où plus de 96% de la variance est exprimée sur les deux axes (Figure IV.12).

Suite aux projections des variables sur les deux axes de l'ACP, nous constatons que les vecteurs du poids aérien à la faible dose et à la forte dose se rapprochent et s'orientent dans la même direction, de même pour les deux vecteurs du poids racinaire avec les deux doses ce qui confirme un effet analogue de la dose des traitements sur le poids racinaire et aérien des plants de tomate.

De plus, l'analyse en Composantes Principales (ACP) montre que le vecteur correspondant au poids de la partie aérienne des plants à la forte dose (Dose 1) est très proche de traitements lombricompost sec ce qui prouve l'action favorisée de ce dernier sur le poids aérien des plants.

D'autre part, la projection des variables confirme l'effet de la chitine de crevette sur le poids racinaire des plants de tomate, cet effet est apparent à la faible et la forte dose avec une importance plus marquée à la faible dose (Dose 2).

En revanche, les mêmes résultats révèlent que l'application de lombricompost fermenté et le thé du lombricompost n'a pas montré une influence sur le poids racinaire ni le poids aérien des plants de tomate.



**Figure IV.12 :** Projection de la biomasse racinaire et aérienne des plants de tomate sous l'effet des traitements sur les deux axes de l'ACP

Tem : Témoin ; LS : Lombricompost sec ; LFR ; Lombricompost frais ; FS : Fumier sec; CH Chitine de crevette; TL : Thé de lombricompost ; LF: Lombricompost fermenté ; poids.raci.D2 : poids racinaire à la faible dose ; poids.raci.D1 : poids racinaire à la forte dose ; pod.aérien.D2 : poids aérien à la faible dose ; poids.aérien.D1 : poids aérien à la forte dose.

#### IV.1.2.4. Variations des paramètres de production des plants de tomate sous l'effet des différents amendements

L'évaluation des traits de production des plants de tomate a été étudiée sous l'effet de différents types d'amendement apportés. Nous avons considéré l'induction florale comme paramètres pouvant dévoiler la capacité des biofertilisants à améliorer la production des plants de tomate.

Les résultats reportés dans le tableau IV.8, montrent que l'apport des biofertilisants signale un effet très hautement significatif sur la production florale des plants de tomate (F-ratio=28,07 ;  $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ).

En revanche les mêmes résultats dévoilent que la dose de ces traitements n'affectent pas d'une manière significatif la production florale des plants de tomate (F-ratio=0,41 ;  $p=0,52$  ;  $p>0,05$ ).

Cependant il ressort d'après les résultats reportés dans le tableau IV.8 que tous les types de lombricompost (lombricompost fermenté, thé de lombricompost et le lombricompost sec) appliqué à la forte dose (dose 1) stimulent d'une manière positive la production florale de la tomate (groupe homogène a).

De même à la faible dose (dose 2) ces même traitements ont favorisé la production florale des plants de tomate (groupe homogène a) en comparaison avec le témoin (groupe homogène c).

Les mêmes résultats montrent que le nombre de fleurs le plus faible est enregistré chez les plants témoin et quant aux traitements la production florale la plus faible est enregistrée avec les plants traités avec la chitine de crevette à la faible et la forte dose (Dose 1 et Dose 2) (groupe homogène c).

**Tableau IV.8** : Moyennes arithmétique ( $\pm$  standard erreur) des paramètres de production des plants de tomate.

Traitements	nombre de fleurs des plants de tomate			
	Dose 1	Dose 2	F-ratio	<i>p</i>
Témoin	1,25 $\pm$ 0,06 c			
LS	6,33 $\pm$ 0,31 a	7 $\pm$ 0,35 a	0,41	0,52 <sup>NS</sup>
LFR	4 $\pm$ 0,2 b	4,66 $\pm$ 0,23 b		
FS	3,66 $\pm$ 0,18 b	2,33 $\pm$ 0,11 bc		
CH	1,33 $\pm$ 0,06 c	2,33 $\pm$ 0,11 bc		
TL	6,33 $\pm$ 0,31 a	6,33 $\pm$ 0,31 a		
LF	7 $\pm$ 0,35a	7,25 $\pm$ 0,36 a		
F	28,07			
<i>p</i>	0,000 <sup>***</sup>			

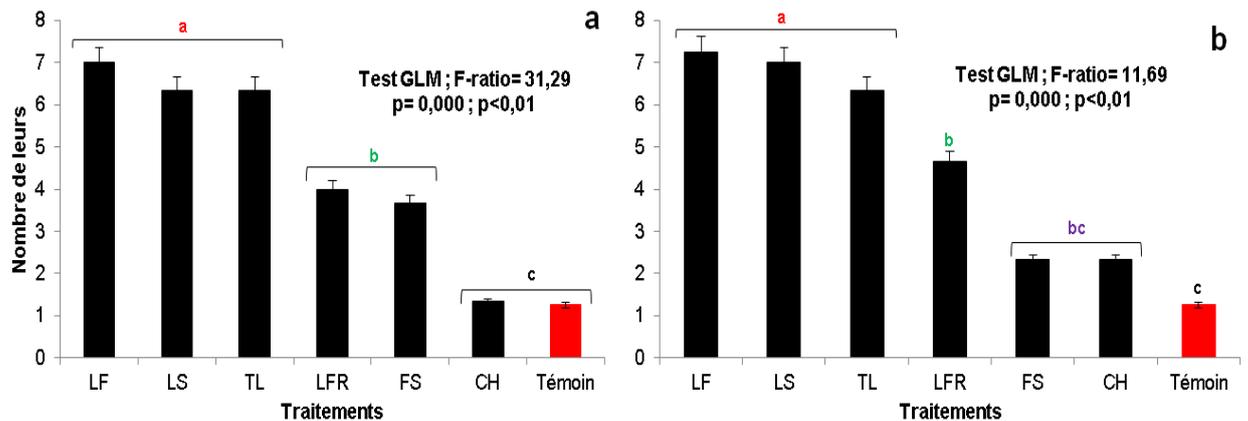
LS : Lombricompost sec ; LFR ; Lombricompost frais ; FS : Fumier sec; CH Chitine de crevette; TL : Thé de lombricompost ; LF: Lombricompost fermenté.

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

Dans l'esprit de mieux présenter graphiquement l'effet des différents traitements apportés sur la production florale nous avons projeté nos résultats relatifs à la production florale des plants de tomate dans la présentation graphique présentée dans la Figure IV.13. Les résultats révèlent que tous les traitements appliqués avec les deux doses (Dose 1 et Dose 2) ont favorisé la production florale par rapport au témoin

Les mêmes résultats montrent l'hégémonie des différents types de lombricompost (lombricompost fermenté, lombricompost sec et le thé de lombricompost) en terme de stimulation de la production florale sous l'effet des deux dose (dose 1 et dose 2) (groupe homogène a).

Par ailleurs la chitine de crevette n'a pas montré un effet positif sur la production florale des plants de tomate à la forte (dose1) (groupe homogène c) ni à la faible dose (dose 2) (groupe homogène bc).



**Figure IV.13 : Effet des différents traitements sur les paramètres de production des plants de tomate.**

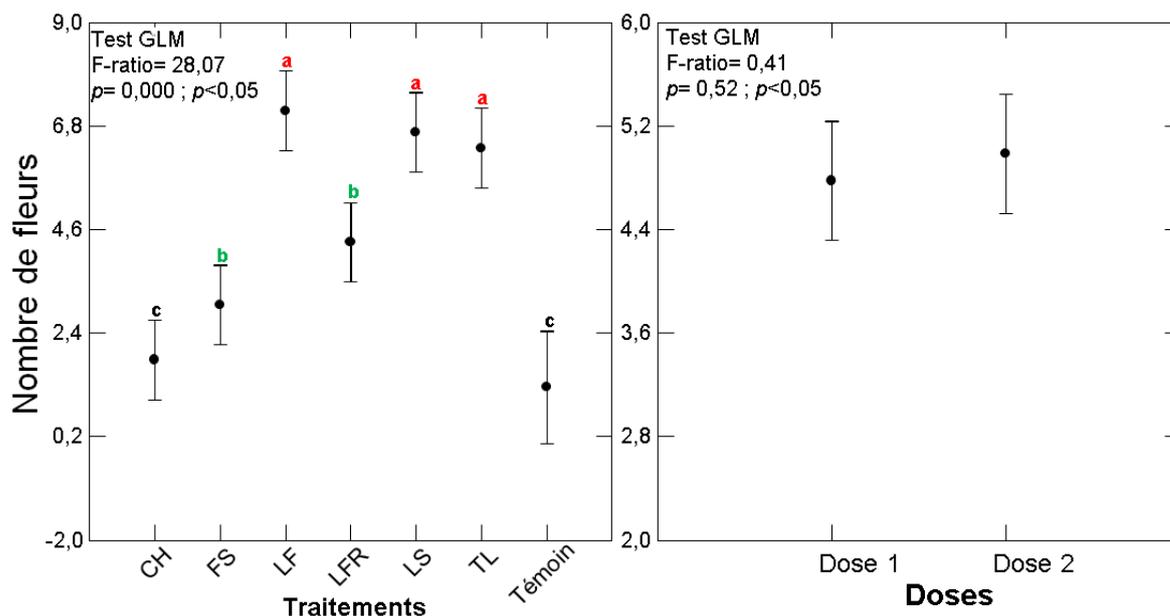
a : Dose 1 ; b : dose 2.

LS : Lombricompost sec ; LFR ; Lombricompost frais ; FS : Fumier sec; CH Chitine de crevette; TL : Thé de lombricompost ; LF: Lombricompost fermenté

L'application de l'analyse de la variance modèle générale linéaire G.L.M. aux résultats obtenus (Figure IV.14) confirme les variations de la production florale des plants de tomate en fonction des différents traitements apportés ( $F\text{-ratio}=28,07$  ;  $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ), et révèle que le lombricompost fermenté, le lombricompost sec et le thé de lombricompost montrent la production florale des plantes la plus élevée (groupe homogène a) par rapport au témoin (groupe homogène c) et en comparaison aux autres amendements apportés.

Par ailleurs la chitine de crevette fait montré une faible production florale similaire à celle de témoin (groupe homogène C).

En ce qui concerne l'effet de la dose des traitement sur la production florale des plants de tomate les résultats de Figure IV.14 montrent une différence non significative entre l'effet de la forte dose (Dose 1) et la faible dose (Dose 2). ( $F\text{-ratio}=0,41$  ;  $p=0,52$  ;  $p>0,05$ ).



**Figure IV.14** : Modulation comparée de nombre de fleurs des plants de tomate selon les différents traitements.

LS : Lombricompost sec ; LFR ; Lombricompost frais ; FS : Fumier sec; CH Chitine de crevette; TL : Thé de lombricompost ; LF: Lombricompost fermenté

#### IV.1.3. Comparaison entre l'activité des amendements organiques d'origine végétale et animale sur l'expression végétative des plants de tomate

Cette partie des résultats est consacrée à la présentation de la comparaison entre l'effet de l'ensemble des amendements biologiques d'origine végétale et animale sur la fluctuation de l'expression végétative des plants de tomate. Les résultats relatifs à chaque paramètre sous l'effet des biofertilisants végétal et animal et leurs doses, ainsi que les probabilités obtenues par les Tests Wilcoxon et Monte Carlo sont exposés dans le tableau IV.9.

La comparaison par paire des moyennes de la croissance à la troisième quinzaine fait ressortir l'effet individualisé et significatif ( $p<0,05$ ) des biofertilisants à base de végétale (groupe homogène a) avec les deux doses (Dose 1 et Dose 2) sur l'expression végétative des plants de tomate par comparaison à ceux à base d'animale (groupe homogène b).

Les probabilités obtenues par les tests de Wilcoxon et de Monte Carlo illustrent l'effet des biofertilisants à base de végétale à la faible dose (Dose 2) (groupe

homogène a) par rapport à ceux à base d'animale (groupe homogène b) quant à leur capacité à augmenter significativement ( $p < 0,05$ ) la croissance journalière des plants de tomate, par contre aucune différence significative n'est enregistrée ( $p > 0,05$ ) entre les deux biofertilisants (animal et végétal) à la forte (Dose 2).

Cependant les résultats révèlent une gradation positive du poids aériens des plants de tomate traités par les biofertilisants d'origine animale (groupe homogène a) par rapport à ceux traité par les biofertilisants d'origine végétale (groupe homogène b), ces résultats ont été enregistrés avec la forte dose (Dose 1), en revanche à la faible dose (Dose 2) des différences non significatives ont été enregistrés entre l'effet des biofertilisants animal et végétal.

En ce qui concerne l'effet des biofertilisants sur la production florale, les résultats montrent un effet favorable des biofertilisants à base d'animale (groupe homogène a) avec les deux dose par rapport à ceux à base de végétale (groupe homogène b). Quant au poids racinaire des différences non significatives ( $p > 0,05$ ) ont été enregistrées entre l'effet des biofertilisants d'origine animale et végétale avec les deux doses testés.

**Tableau IV.9 :** Comparaison par paire (Moyenne  $\pm$  standard erreur) de l'activité des amendements organiques d'origine animale et végétale sur l'expression végétative des plants de tomate.

	Témoin	DOSE 1		DOSE 2	
		Végétale	Animale	Végétale	Animale
<b>Croissance 3<sup>ème</sup> quinzaine</b>		26,41 $\pm$ 1,32 <b>a</b>	22,73 $\pm$ 1,08 <b>b</b>	28,73 $\pm$ 1,43 <b>a</b>	21,47 $\pm$ 1,03 <b>b</b>
Test Wilcoxon	26,10 $\pm$ 1,3	<b>0,0108*</b>		<b>9,17x10<sup>-6</sup></b>	
Test Monte Carlo		<b>0,0102*</b>		<b>0,00001****</b>	
<b>croissance journalière</b>		4,41 $\pm$ 0,22	4,49 $\pm$ 0,19	4,82 $\pm$ 0,24 <b>a</b>	4,09 $\pm$ 0,17 <b>b</b>
Test Wilcoxon	4,61 $\pm$ 0,23	<b>0,79<sup>NS</sup></b>		<b>0,013*</b>	
Test Monte Carlo		<b>0,97<sup>NS</sup></b>		<b>0,012*</b>	
<b>poids racinaire</b>		4,67 $\pm$ 0,23	4,03 $\pm$ 0,24	4,68 $\pm$ 0,23	4,79 $\pm$ 0,28
Test Wilcoxon	3,61 $\pm$ 0,18	<b>0,126<sup>NS</sup></b>		<b>0,62<sup>NS</sup></b>	
Test Monte Carlo		<b>0,128<sup>NS</sup></b>		<b>0,63<sup>NS</sup></b>	
<b>poids aérien</b>		8,66 $\pm$ 0,43 <b>b</b>	9,86 $\pm$ 0,45 <b>a</b>	9,04 $\pm$ 0,45	9,79 $\pm$ 0,45
Test Wilcoxon	10,01 $\pm$ 0,5	<b>0,044*</b>		<b>0,163<sup>NS</sup></b>	
Test Monte Carlo		<b>0,043*</b>		<b>0,165<sup>NS</sup></b>	
<b>nombre de fleurs</b>		3,03 $\pm$ 0,15 <b>b</b>	4,77 $\pm$ 0,18 <b>a</b>	2,75 $\pm$ 0,13 <b>b</b>	4,98 $\pm$ 0,18 <b>a</b>
Test Wilcoxon	1,25 $\pm$ 0,06	<b>0,002**</b>		<b>0,0059**</b>	
Test Monte Carlo		<b>0,001**</b>		<b>0,0049**</b>	

NS : Non significative ; \* : Significative à 5%, \*\* : Significative à 1%, \*\*\*\* : Significative à 0,01%.

## IV.2. Tendance générale de l'effet des amendements organiques apportés sur la régulation du développement des nématodes à galle

### IV.2.1. Evaluation de l'activité nématicide des amendements organiques d'origine végétale sur la régulation du développement des nématodes à galle

#### IV.2.1.1. Variations de degré d'infestation des plants de tomate par les *Meloidogyne* sous l'effet des différents amendements (nombre de galles)

Les résultats de degré d'infestation des plants de tomate par les *Meloidogyne* sous l'effet des différents traitements et leurs doses, ainsi que les probabilités obtenues par l'analyse de la variance de type GLM et de TEST t de comparaison entre la forte dose (Dose 1) et la faible (Dose 2) sont exposés dans le tableau IV.10

Il apparait ; d'après les résultats reportés dans le tableau IV.10 que les différents traitements appliqués affectent d'une manière très hautement significative le nombre de galle ( $p=4,96 \times 10^{-25}$  ;  $p < 0,001$ ), en revanche la dose de ces mêmes traitement n'affecte pas d'une manière significative le nombre de galle ( $p=0,06$ ;  $p < 0,05$ ).

Les amendements organiques apportés ont réduit sensiblement le taux d'infestation des plants de tomate par les *Meloidogyne*. Toutefois, la diminution des infestations n'a pas une relation avec les doses des biofertilisants. L'application du Test t de comparaison révèle que, les fortes et les faibles doses testées ont montré la présence des différences non significatives entre les deux doses de traitements appliqués ( $p < 0,05$ ), à l'exception de quelque traitement ou nous avons marqué des différences significatives entre les deux doses. Parmi les apports qui ont montré des différences significatives entre les deux dose nous avons la poudre sèche des feuilles d'*Urginea* et fraiche de la sauge et les trois types d'algues marines (rouge, verte et brune) ( $p < 0,005$ )

La poudre fraiche de la sauge apportée à la faible dose a entraîné la plus forte diminution du nombre moyen de galles, suivi par les broyat des algues rouges et ceux des grignons d'olive.

Le taux d'infestation le plus élevé pour les plants traités est obtenu avec l'application de la poudre sèche des feuilles d'*Urginea* à faible dose (D2) suivi par

les broyats sec de la sauge à la faible dose (Dose 2) L'effectif moyen de galles dénombré est de 23 et 20,66 galles respectivement.

**Tableau IV.10** : Moyennes arithmétique ( $\pm$  standard erreur) de nombre moyen de galles sur les plants de tomate.

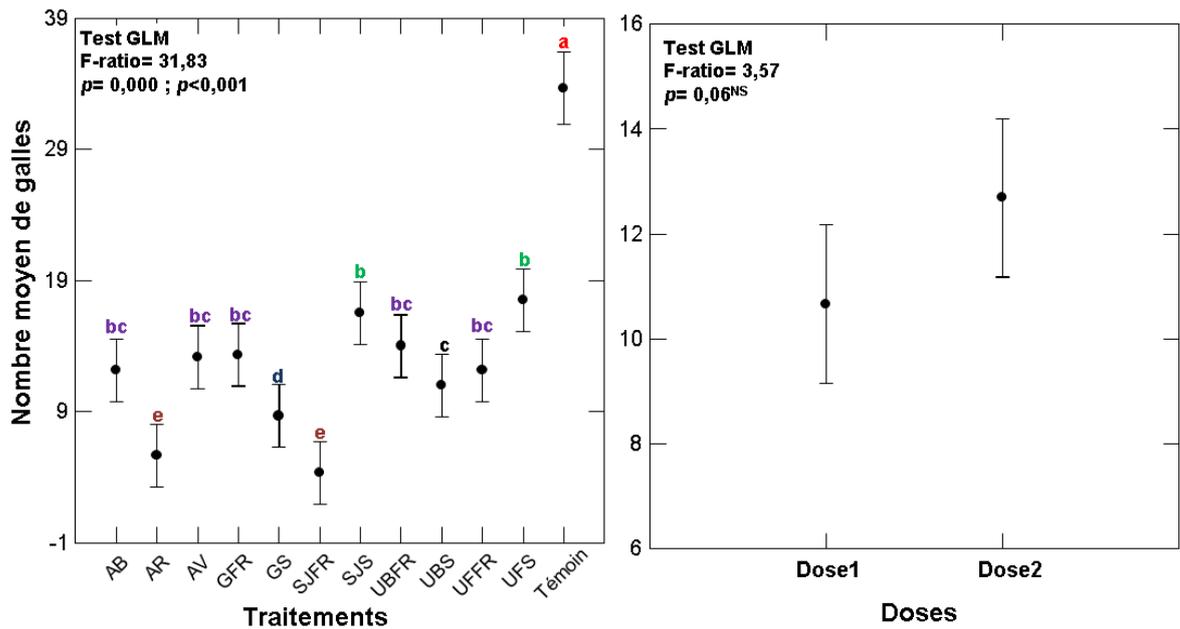
	DOSE1	DOSE2	TEST t (p)	test GLM (p)
Tem	33,66 $\pm$ 1,68 <b>a</b>			
GS	8,33 $\pm$ 0,41 <b>b</b>	9 $\pm$ 0,45 <b>d</b>	0,61 <sup>NS</sup>	
GFR	12,66 $\pm$ 0,63 <b>b</b>	14 $\pm$ 0,7 <b>c</b>	0,34 <sup>NS</sup>	
UFS	12 $\pm$ 0,6 <b>b</b>	23 $\pm$ 1,15 <b>b</b>	0,005**	
UFFR	12,66 $\pm$ 0,63 <b>b</b>	11,66 $\pm$ 0,58 <b>c</b>	0,5 <sup>NS</sup>	
UBS	10,33 $\pm$ 0,51 <b>b</b>	11,66 $\pm$ 0,58 <b>c</b>	0,3 <sup>NS</sup>	0,06 <sup>NS</sup>
UBFR	12 $\pm$ 0,6 <b>b</b>	16 $\pm$ 0,8 <b>c</b>	0,17 <sup>NS</sup>	
SJS	12,33 $\pm$ 0,61 <b>b</b>	20,66 $\pm$ 1,03 <b>b</b>	0,05 <sup>NS</sup>	
SJFR	7,33 $\pm$ 0,31 <b>b</b>	1,33 $\pm$ 0,62 <b>e</b>	0,006**	
AV	12,33 $\pm$ 0,47 <b>b</b>	14 $\pm$ 0,4 <b>c</b>	0,03*	
AB	10,33 $\pm$ 0,51 <b>b</b>	14 $\pm$ 0,7 <b>c</b>	0,008**	
AR	7 $\pm$ 0,35 <b>b</b>	4,33 $\pm$ 0,23 <b>e</b>	0,01*	
<b>Test ANOVA (p)</b>	4,96 $\times$ 10 <sup>-25</sup> ***			

Tem : Témoin ; GS : Grignon sec ; GFR ; Grignon frais ; UFS : *Urginea* feuille sèche; UFFR : *Urginea* feuille fraîche; UBS : *Urginea* bulbe sèche ; UBFR : *Urginea* bulbe fraîche ; SJS : Saugue sèche ; SJFR : Saugue fraîche ; AV : Algue verte ; AB : Algue brune ; AR : Algue rouge.

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

L'application du modèle G.L.M. pour les données obtenus (Figure IV.15), nous permet de déduire que le taux d'infestation estimé par le nombre moyen de galles varie significativement d'un point de vue traitements (F-ratio=31,83 ;  $p=0,000$  ;  $p<0,05$ ) contrairement à la dose qui montre une différence non significative entre les deux doses testés (F-ratio=3,75 ;  $p=0,019$  ;  $p>0,05$ ).

La figure IV.15 relative aux différents traitements dévoile l'efficacité des différents biofertilisants dans la réduction de l'infestation des racines par les *Meloidogyne*. La poudre des algues rouges ainsi que les broyats secs de la sauge ont montré une action plus importante dans la diminution du nombre de galles.



**Figure IV.15** : Modulation comparée de nombre moyen de galles sur les plants de tomate selon les différents traitements.

Tem : Témoin ; GS : Grignon sec ; GFR : Grignon frais ; UFS : *Urginea* feuille sèche; UFFR : *Urginea* feuille fraîche; UBS : *Urginea* bulbe sèche ; UBFR : *Urginea* bulbe fraîche ; SJS : Sauge sèche ; SJFR : Sauge fraîche ; AV : Algue verte ; AB : Algue brune ; AR : Algue rouge.

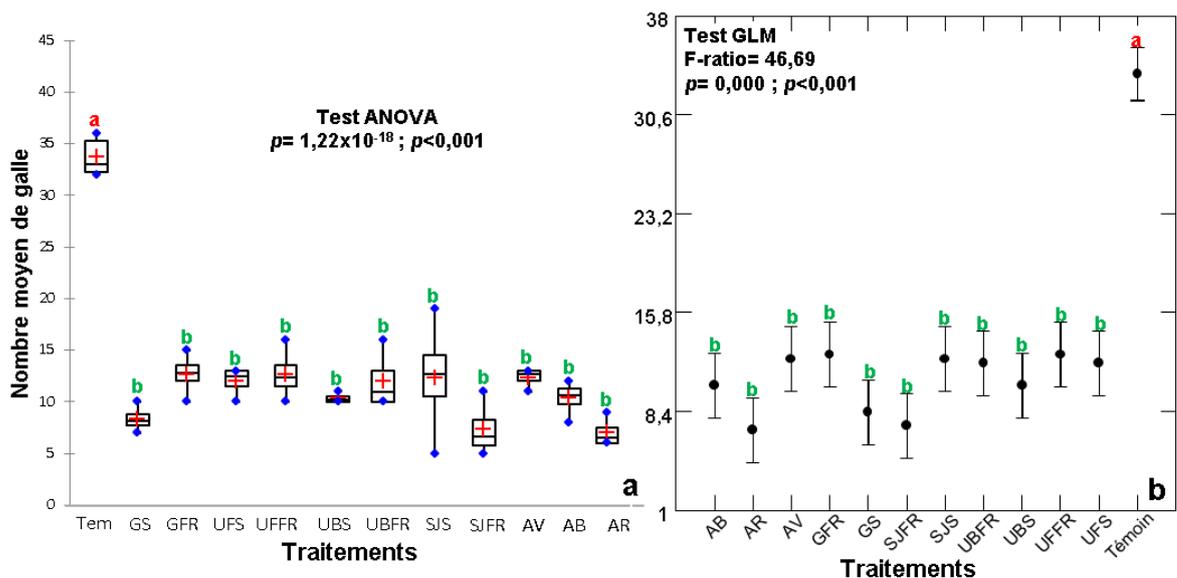
Pour mieux visualiser les biofertilisants les plus efficaces dans la réduction de nombre de galle de *Meloidogyne*, nous avons appliqué les boîtes à moustache des deux doses testés relatives aux différents amendements renforcés par le test de la variance GLM pour chaque dose (figures IV.16 a' et b').

Les boîtes à moustaches dévoilent la variation des valeurs expérimentales de taux d'infestation estimé par le nombre moyen de galles et elles ont été confirmées avec le test ANOVA dans le but de montrer les traitements qui ont participé à la signalisation des différences significatives (figures IV.16 a').

Une dénivellation très importante est enregistrée dans le nombre de galle sous l'effet des différents traitements en comparaison au témoin (Test ANOVA  $p=1,22 \times 10^{-18}$  ;  $p<0,001$ ).

A la forte dose (Dose1) les résultats exposent une chute importante de nombre de galles chez les plants traités par les différents amendements par rapport au témoin, et cette diminution semble similaire entre les différents biofertilisants

(groupe homogène b). En revanche le taux d'infestation chez les plants témoin a été très élevé par rapport à celui des plants traités (groupe homogène a)



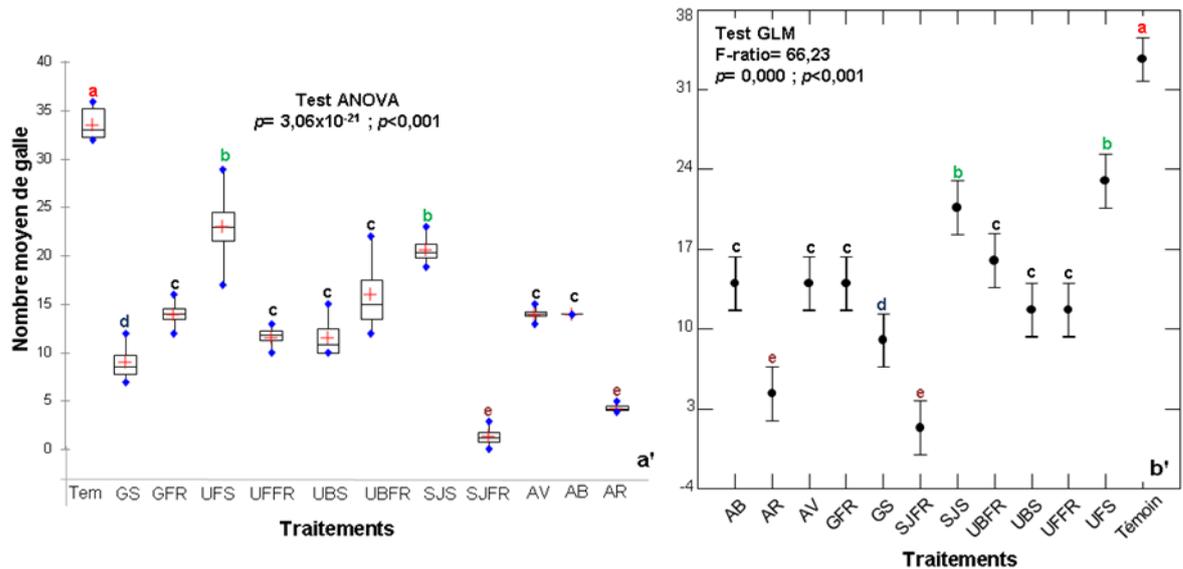
**Figure IV.16** : Variation de nombre moyen de galle sur les plants de tomate en fonction des traitements à la forte dose (dose 1).

a : variation par Box plot ; b : variation par GLM.

Tem : Témoin ; GS : Grignon sec ; GFR : Grignon frais ; UFS : *Urginea* feuille sèche ; UFFR : *Urginea* feuille fraîche ; UBS : *Urginea* bulbe sèche ; UBFR : *Urginea* bulbe fraîche ; SJS : Sauge sèche ; SJFR : Sauge fraîche ; AV : Algue verte ; AB : Algue brune ; AR : Algue rouge.

En ce qui concerne la faible dose (Dose 2) (Figure 17a et b) le test ANOVA affirme la dissemblance qui existe entre les différents traitements ( $p = 3,06 \times 10^{-21}$ ;  $p < 0,001$ ). Les résultats exposent une diminution importante de nombre de galle sous l'effet des différents amendements apportés en comparaison au témoin qui a montré le taux d'infestation le plus élevé (groupe homogène a).

De même les résultats montrent une chute très importante dans le taux d'infestation des plants de tomate traités avec la poudre fraîche de la sauge et les broyats des algues rouges (groupe homogène e)



**Figure IV.17 :** Variation de nombre moyen de galle sur les plants de tomate en fonction des traitements à la faible dose (dose 2).

a' : variation par Box plot ; b' : variation par GLM.

Tem : Témoin ; GS : Grignon sec ; GFR : Grignon frais ; UFS : *Urginea* feuille sèche ; UFFR : *Urginea* feuille fraîche ; UBS : *Urginea* bulbe sèche ; UBFR : *Urginea* bulbe fraîche ; SJS : Sauge sèche ; SJFR : Sauge fraîche ; AV : Algue verte ; AB : Algue brune ; AR : Algue rouge.

#### IV.2.1.2. Variations de nombre d'adultes des *Meloidogyne* sur les plants de tomate sous l'effet des différents amendements

Les résultats de nombre d'adulte mâle et femelle des *Meloidogyne* sous l'effet des différents traitements et leurs doses, ainsi que Les probabilités obtenues par l'analyse de la variance de type GLM sont exposés dans le tableau IV.11.

D'après les résultats reportés dans le tableau IV.11 les différents traitements appliqués affectent d'une manière très hautement significative le nombre d'adulte (mâle et femelle) ( $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ), en revanche la dose de ces mêmes traitement n'affecte pas d'une manière significative le nombre d'adulte ( $p<0,05$ ).

Les mêmes résultats révèlent que le nombre moyen des femelles et des mâles varie en fonction des traitements testés avec une abondance des femelles par rapport aux mâles. En comparaison avec le témoin nous enregistrons en général qu'au cours du développement de la 1<sup>ère</sup> génération, les amendements apportés entraînent une diminution du nombre de femelles et une légère augmentation du nombre de mâles.

Parmi les biofertilisants, l'effectif moyen le plus faible des femelles est obtenu avec l'application des broyats des trois types d'algues marines (algue rouge, brune et verte) où nous avons enregistré la présence d'aucune femelle pour ces amendements, et l'apport de la poudre fraîche de la sauge à la faible dose (Dose 2) a montré un nombre de femelle très faible (groupe homogène c) .

L'effectif des femelles le plus élevés pour les plants traités est obtenu avec l'application de la poudre sèche de la sauge à la faible dose (Dose 2) et les broyats frais des feuilles d'*Urginea* également à la faible dose (Dose 2) (groupe homogène a).

Quant au développement des mâles, l'application de la poudre de l'algue verte à la forte dose (Dose 1) et algue brune à la faible dose ont montré l'effectif le plus élevé des mâles (groupe homogène a).

**Tableau IV.11** : Moyennes arithmétique ( $\pm$  standard erreur) de nombre moyen des adultes des *Meloidogyne* sur les plants de tomate

Traitements	Nombre de femelles adultes (Moy $\pm$ S.E.)				Nombre de mâles adultes (Moy $\pm$ S.E.)			
	Dose 1	Dose 2	F-ratio	p	Dose 1	Dose 2	F-ratio	p
Tem	10,83 $\pm$ 0,47 a				0,66 $\pm$ 0,03 c	0,66 $\pm$ 0,03 c		
GS	3,66 $\pm$ 0,18 c	5,33 $\pm$ 0,26 c			2,33 $\pm$ 0,11 b	1,66 $\pm$ 0,08 b		
GFR	8 $\pm$ 0,40 b	7 $\pm$ 0,35 b			1,33 $\pm$ 0,23 b	0,33 $\pm$ 0,01 c		
UFS	7,33 $\pm$ 0,23 b	5,66 $\pm$ 0,23 c			2,66 $\pm$ 0,13 b	2,33 $\pm$ 0,11 a		
UFFR	5,33 $\pm$ 0,26 bc	9,66 $\pm$ 0,47 a			1,33 $\pm$ 0,06 b	0 d		
UBS	5,33 $\pm$ 0,26 bc	5 $\pm$ 0,25 c	0,13	0,71 <sup>NS</sup>	1,33 $\pm$ 0,06 b	1,66 $\pm$ 0,08 b	0,38	0,5 <sup>NS</sup>
UBFR	5,66 $\pm$ 0,23 bc	7,66 $\pm$ 0,38 b			2 $\pm$ 0,1 b	1 $\pm$ 0,05 b		
SJS	7,33 $\pm$ 0,36 b	10,33 $\pm$ 0,51 a			1,66 $\pm$ 0,08 b	1,33 $\pm$ 0,06 b		
SJFR	6 $\pm$ 0,3 bc	1 $\pm$ 0,05 d			0,66 $\pm$ 0,03 c	0,66 $\pm$ 0,03 c		
AV	0 d	0 d			4 $\pm$ 0,2 a	2,33 $\pm$ 0,11 a		
AB	0 d	0 d			2 $\pm$ 0,1 b	2,66 $\pm$ 0,13 a		
AR	0 d	0 d			0,66 $\pm$ 0,03 c	2 $\pm$ 0,1 a		
<b>F</b>	<b>39,33</b>				<b>8,55</b>			
<b>p</b>	<b>0,000<sup>***</sup></b>				<b>0,000<sup>***</sup></b>			

Tem : Témoin ; GS : Grignon sec ; GFR : Grignon frais ; UFS : *Urginea* feuille sèche; UFFR : *Urginea* feuille fraîche; UBS : *Urginea* bulbe sèche ; UBFR : *Urginea* bulbe fraîche ; SJS : Saugue sèche ; SJFR : Saugue fraîche ; AV : Algue verte ; AB : Algue brune ; AR : Algue rouge

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

La projection des effectifs d'adulte mâles et femelles des *Meloidogyne* sous l'effet des différents traitements et leurs doses, à travers l'analyse en composante

principale (ACP) est satisfaisante pour l'ensemble des paramètres étudiés dans la mesure où plus de 88% de la variance est exprimée sur les deux axes (Figure IV.18).

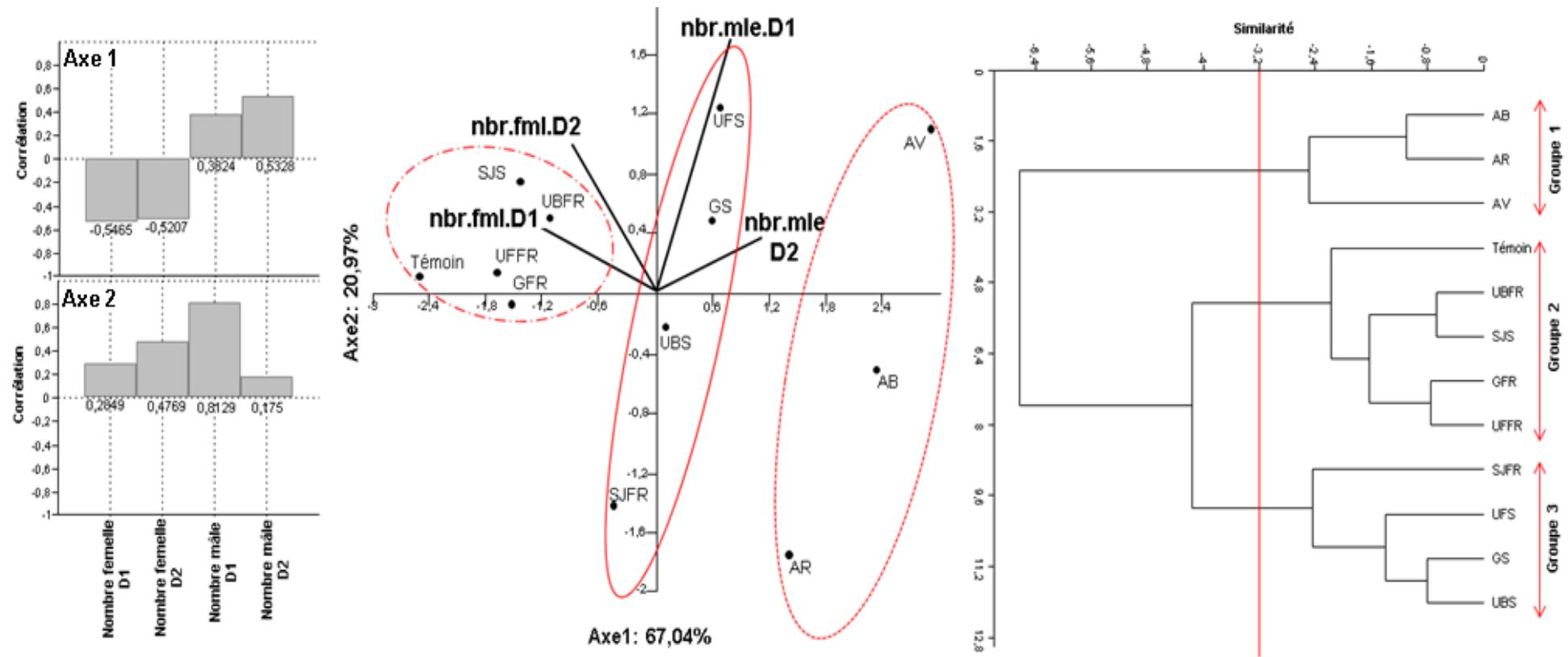
La projection des données sur les deux axes, montre que les paramètres étudiés agissent déferrement en formant 3 groupes :

Le premier groupe renferme les trois types d'algues marines (algue verte, brune et rouge) et qui est corrélé positivement avec le nombre de mâle et négativement avec le nombre de femelle.

Concernant le deuxième groupe renferme le bulbe et les feuilles fraiche *d'Urginea*, grignon d'olive frais, la sauge sèche et le témoin. Ce groupe est corrélé positivement avec le nombre de femelle avec les deux doses (Dose 1 et Dose 2). Pour le troisième groupe, regroupe de son tour les feuilles et le bulbe sec *d'Urginea*, les grignons d'olive sec et la sauge fraiche.

Suite aux projections des variables sur le premier axe (67,04%), de l'ACP, nous constatons que les vecteurs de nombre de mâle avec les deux doses ainsi que ceux de nombre de femelle également à la forte et la faible dose (Dose 1 et Dose 2) sont corrélés négativement, de même pour chaque effectif la projection des variables sur le même axe (Axe 1) montre que les vecteurs relatifs à la forte dose (Dose 1) et à la faible dose (Dose 2) se rapprochent ce qui montre un effet analogue de la dose des traitements sur les variations de nombre d'adulte de *Meloidogyne* et confirme la présence d'une différence non significative entre l'effet de la forte dose (Dose 1) et la faible dose (Dose 2).

Quant au deuxième axe la projection des variables nous montre que les différents vecteurs relatifs aux nombres d'adulte mâle et femelle des *Meloidogyne* sont corrélés positivement, avec un effet remarquable des amendements renfermés dans le groupe 2 sur le nombre de femelle et les broyats sec des feuilles *d'Urginea* et les algues vertes sur le nombre de mâle.



**Figure IV.18 :** Projection de nombre d'adultes des *Meloidogyne* sur les plants de tomate sous l'effet des traitements sur les deux axes de l'ACP

GS : Grignon sec ; GFR ; Grignon frais ; UFS : *Urginea* feuille sèche; UFFR : *Urginea* feuille fraiche; UBS : *Urginea* bulbe sèche ; UBFR : *Urginea* bulbe fraiche ; SJS : Sauge sèche ; SJFR : Sauge fraiche ; AV : Algue verte ; AB : Algue brune ; AR : Algue rouge ; nbr.fml.D1 : nombre de femelles à la dose1; nbr.fml.D2 : nombre de femelles à la dose 2 ; nbr.mle.D1 : nombre de mâles à la dose 1 ; ; nbr.mle.D2 : nombre de mâles à la dose 2.

#### IV.2.1.3. Variations de fécondité des femelles de *Meloidogyne* sur les plants de tomate sous l'effet des différents amendements

Les résultats de la production des masses d'œufs par 1 g de racine, le nombre d'œufs présents par 5 masses et le nombre des sacs vides sous l'effet des différents traitements et leurs doses, ainsi que les probabilités obtenues par l'analyse de la variance de type GLM sont exposés dans le tableau IV.12.

Pour les résultats relatifs à la production des masses d'œufs par 1 gramme de racine révèlent une différence très hautement significative entre les différents traitements (F-ratio=40,55 ;  $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ) contrairement à l'effet de la dose qui n'a pas montré une différence significative entre les deux doses appliquées (F-ratio= 0,39 ;  $p=0,53$  ;  $p>0,05$ )

D'après les résultats reportés dans le tableau IV.12, les différents traitements ont réduit sensiblement la production des masses d'œufs des *Meloidogyne*, le nombre des masses d'œufs le plus élevé est enregistré chez les plants traités avec les broyats des grignons d'olive frais à forte dose (Dose 1) et la poudre des feuilles fraîches de *l'Urginea* à la faible dose (Dose 2) (groupe homogène b), cependant les trois types d'algues marines (rouge, verte et brune) appliquées avec les deux doses (Dose 1 et Dose 2) étaient plus efficaces et n'ont présenté aucune production des masses d'œufs (groupe homogène d)

Il faut noter que les valeurs les plus élevées de nombre des masses d'œufs étaient enregistrées chez les plants témoins.

Concernant le nombre des sacs vides, des différences très hautement significatives ont été enregistrées entre les différents traitements appliqués (F-ratio=44,27 ;  $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ), par contre la dose n'a pas montré ce même effet significatif (F-ratio=0,11 ;  $p=0,73$  ;  $p>0,05$ ).

Le nombre des sacs vides le plus élevé est enregistré chez les plants de tomates traités avec les deux doses des algues marines brunes et vertes (groupe homogène a)

En revanche la plus faible valeur de nombre des sacs vides est enregistrée chez les plants traités avec les deux doses de la sauge fraîche (groupe homogène d).

Les résultats relatifs au nombre d'œufs produisent par 5 masses révèlent la présence d'une différence très hautement significative entre les différents amendements apportés (F-ratio=15,78 ;  $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ) de même pour la dose les mêmes résultats ont montré que la dose de ces mêmes amendements affectent d'une manière très hautement significative le nombre des œufs par 5 masses. (F-ratio=0,09 ;  $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ). Le nombre d'œufs le plus élevé est enregistré chez les plants témoins (groupe homogène a) quant aux plants traités le biofertilisant qui a montré le nombre d'œufs le plus élevé est la poudre des feuilles sèches de *Urginea* avec les deux doses et la dose faible (Dose 2) des broyats frais des grignons d'olive (groupe homogène b).

Cependant les trois types d'algues marines (algue verte, brune et rouge) avec les deux doses (Dose 1 et Dose 2) ont enregistré la présence d'aucune production d'œufs (groupe homogène e)

**Tableau IV.12** : Moyennes arithmétique ( $\pm$  standard erreur) de nombre moyen des paramètres de fécondité des *Meloidogyne* sur les plants de tomate

TRT	Nbre. mas (Moy $\pm$ S.E.)		Nbre. sac. Vide (Moy $\pm$ S.E.)		œuf/5mas (Moy $\pm$ S.E.)	
	Dose 1	Dose 2	Dose 1	Dose 2	Dose 1	Dose 2
Tem	9,33 $\pm$ 0,46 a		1,33 $\pm$ 0,06 d	1,33 $\pm$ 0,06 b	698,66 $\pm$ 34,39 a	
GS	3,33 $\pm$ 0,16 c	4 $\pm$ 0,2c	0,33 $\pm$ 0,01 d	1,33 $\pm$ 0,06 b	281,33 $\pm$ 14,06 c	320,33 $\pm$ 16,01 b
GFR	7,33 $\pm$ 0,36 b	6,66 $\pm$ 0,23 b	0,66 $\pm$ 0,03 d	0,33 $\pm$ 0,01 c	386,33 $\pm$ 19,31 b	446,33 $\pm$ 22,31 b
UFS	4,33 $\pm$ 0,21 c	5,33 $\pm$ 0,26 b	3 $\pm$ 0,15 c	0,33 $\pm$ 0,01 c	471 $\pm$ 23,53 b	447 $\pm$ 22,35 b
UFFR	4 $\pm$ 0,2 c	7 $\pm$ 0,35 b	1,33 $\pm$ 0,06 d	2,66 $\pm$ 0,13 b	233,33 $\pm$ 11,66 c	368,66 $\pm$ 18,43 b
UBS	4,66 $\pm$ 0,23 c	4,66 $\pm$ 0,23c	0,66 $\pm$ 0,03 d	0,33 $\pm$ 0,01 c	133,33 $\pm$ 6,66 d	221,66 $\pm$ 11,08 b
UBFR	4,66 $\pm$ 0,23 c	6,33 $\pm$ 0,23 b	1 $\pm$ 0,05 d	1,33 $\pm$ 0,06 b	178 $\pm$ 8,9 d	384,33 $\pm$ 19,21 b
SJS	4,66 $\pm$ 0,23 c	6,66 $\pm$ 0,23 b	0,66 $\pm$ 0,03 d	0,33 $\pm$ 0,01 c	414,66 $\pm$ 20,73 b	419,33 $\pm$ 20,96 b
SJFR	4,33 $\pm$ 0,21 c	0,66 $\pm$ 0,03 d	0,33 $\pm$ 0,01 d	0 c	398,66 $\pm$ 19,93 b	32,33 $\pm$ 1,61 c
AV	0 d	0 d	7 $\pm$ 0,35 a	8 $\pm$ 0,4 a	0 e	0 c
AB	0 d	0 d	7 $\pm$ 0,35 a	9 $\pm$ 0,45 a	0 e	0 c
AR	0 d	0 d	5,33 $\pm$ 0,23 b	1,33 $\pm$ 0,06 b	0 e	0 c
<b>F</b>	<b>0,39</b> (dose)	<b>40,55</b> (TRT)	<b>0,11</b> (dose)	<b>44,27</b> (TRT)	<b>0,09</b> (dose)	<b>15,78</b> (TRT)
<b>p</b>	<b>0,53<sup>NS</sup></b> (dose)	<b>0,000<sup>***</sup></b> (TRT)	<b>0,73<sup>NS</sup></b> (dose)	<b>0,000<sup>***</sup></b> (TRT)	<b>0,000<sup>***</sup></b> (dose)	<b>0,000<sup>***</sup></b> (TRT)

TRT: traitements ; Nbre.mas : nombre de masse d'œufs ; Nbre.sac.vide : Nombre des sacs vides ; œufs /5mas : Nombre d'œufs par 5 masses d'œufs ; Tem : Témoin ; GS : Grignon sec ; GFR ; Grignon frais ; UFS : *Urginea* feuille sèche; UFFR : *Urginea* feuille fraîche; UBS : *Urginea* bulbe sèche ; UBFR : *Urginea* bulbe fraîche ; SJS : Saugé sèche ; SJFR : Saugé fraîche ; AV : Algue verte ; AB : Algue brune ; AR : Algue rouge.

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

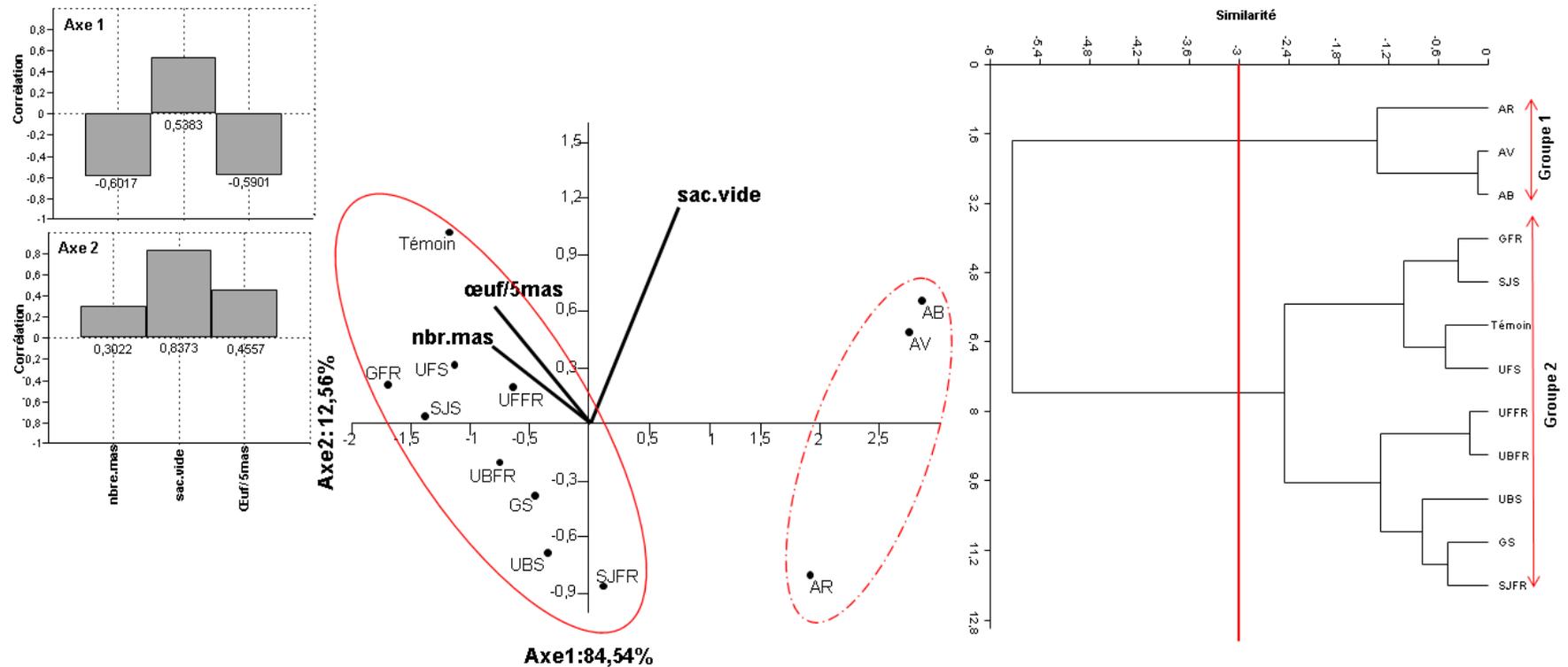
La projection des variables des paramètres de fécondité des femelles des *Meloidogyne* sous l'effet des différents traitements, à travers l'analyse en composante principale (ACP) est satisfaisante pour l'ensemble des paramètres étudiés dans la mesure où plus de 96% de la variance est exprimée sur les deux axes (Figure IV.19).

La projection des données sur les deux axes, montre que les paramètres étudiés agissent différemment en formant 2 groupes :

Le premier groupe renferme les trois types d'algues marines (algue verte, brune et rouge) et qui est corrélé positivement avec le nombre des sacs vides, tandis que le deuxième groupe renferme tous les autres biofertilisants apportés avec le témoin, ce groupe est corrélé positivement avec le nombre des masses d'œufs et le nombre d'œufs produits par 5 masses.

Suite aux projections des variables sur les deux axes de l'ACP, nous constatons que les vecteurs de nombre des masses d'œufs et le nombre d'œufs produits par 5 masses se rapprochent et s'orientent dans la même direction, ce qui confirme un effet analogue des traitements sur ces deux paramètres.

De plus, l'analyse en Composantes Principales (ACP) montre que la projection des variables sur le premier axe montre que le vecteur des sacs vides est corrélé négativement avec les deux vecteurs relatifs au nombre des œufs et celui des œufs produits par 5 masses avec un effet favorable des deux types d'algues marines (brune et verte) sur le nombre des sacs vides.



**Figure IV.19 :** Projection de la variation des paramètres de fécondité des *Meloidogyne* sur les plants de tomate sous l'effet des traitements sur les deux axes de l'ACP

GS : Grignon sec ; GFR ; Grignon frais ; UFS : *Urginea* feuille sèche; UFFR : *Urginea* feuille fraîche; UBS : *Urginea* bulbe sèche ; UBFR : *Urginea* bulbe fraîche ; SJS : Sauge sèche ; SJFR : Sauge fraîche ; AV : Algue verte ; AB : Algue brune ; AR : Algue rouge ; Nbre.mas : nombre de masse d'œufs ; Nbre.sac.vide : Nombre des sacs vides ; œufs /5mas : Nombre d'œufs par 5 masses d'œufs.

#### IV.2.1.4. Variations de la fertilité des œufs des *Meloidogyne* sur les plants de tomate sous l'effet des différents amendements

Les résultats relatifs à l'effet des différents amendements apportés et leurs doses sur la fertilité des œufs des *Meloidogyne* par 5 masses, ainsi que les probabilités obtenues par l'analyse de la variance de type GLM sont exposés dans le tableau IV.13.

Pour comparer l'effet des amendements testés sur la fertilité des œufs de *Meloidogyne* par rapport au témoin non traité nous avons considéré la moyenne des différentes doses utilisées pour chaque traitement.

D'après les résultats reportés dans le tableau IV.13 les différents amendements appliqués affectent d'une manière très hautement significative la fertilité des œufs (F-ratio=13,07 ;  $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ), en revanche la dose de ces mêmes amendements n'affecte pas d'une manière significative la fertilité des œufs (F-ratio= 3,55 ;  $p=0,6$  ;  $p>0,05$ ). Cependant les mêmes résultats montrent que la fertilité des œufs de *Meloidogyne* varie d'une manière très hautement significative dans le temps de l'essai

Il apparaît d'après les résultats que quel que soit le type de biofertilisant la fertilité des œufs augmentent avec le temps

A la forte dose (Dose 1) les résultats projetés dans le tableau IV.13 affichent que la majorité des biofertilisants biologiques ont montré une faible fertilité des œufs surtout dans les quatre premiers jours parmi ces biofertilisants nous citons les deux formes sèche et fraîche de la sauge et les grignons secs qui ont montré une faible fertilité des œufs de *Meloidogyne* durant les cinq premiers jours, à partir du cinquième jour le nombre des œufs éclos commence à s'augmenter légèrement.

Quant à la forme fraîche des feuilles et du bulbe d'*Urginea* a montré une faible fertilité des œufs pendant tous les sept jours.

Cependant à la faible dose, la forme fraîche de la sauge a montré un effet très remarquable dans l'inhibition de l'éclosion des œufs de *Meloidogyne* du premier jour jusqu'au septième jour.

**Tableau IV.13** : Moyennes arithmétique ( $\pm$  standard erreur) de nombre moyen des œufs éclos des *Meloidogyne* sur 5 masses.

	TRT	J1 Moy $\pm$ S.E.	J2 Moy $\pm$ S.E.	J3 Moy $\pm$ S.E.	J4 Moy $\pm$ S.E.	J5 Moy $\pm$ S.E.	J6 Moy $\pm$ S.E.	J7 Moy $\pm$ S.E.	F-ratio	<i>p</i>
DOSE 1	Tem	50,66 $\pm$ 2,07 <b>a</b>	68,16 $\pm$ 3,74 <b>b</b>	125,16 $\pm$ 5,62 <b>a</b>	165,33 $\pm$ 7,64 <b>a</b>	204 $\pm$ 9,14 <b>a</b>	220 $\pm$ 10,19 <b>a</b>	234 $\pm$ 11,22 <b>a</b>	<b>29,36</b>	<b>0,000***</b>
	GS	1,33 $\pm$ 0,063 <b>d</b>	28,66 $\pm$ 1,41 <b>c</b>	36,33 $\pm$ 1,8 <b>c</b>	43 $\pm$ 2,92 <b>b</b>	56,33 $\pm$ 2,82 <b>b</b>	82,66 $\pm$ 4,55 <b>ab</b>	142,66 $\pm$ 7,06 <b>ab</b>		
	GFR	30,67 $\pm$ 1,73 <b>b</b>	49,33 $\pm$ 2,41 <b>b</b>	76 $\pm$ 3,9 <b>b</b>	103,67 $\pm$ 5,76 <b>ab</b>	135,33 $\pm$ 6,96 <b>ab</b>	168,33 $\pm$ 8,25 <b>ab</b>	199 $\pm$ 10 <b>ab</b>		
	UFS	21,33 $\pm$ 1,69 <b>b</b>	83,66 $\pm$ 4,8 <b>a</b>	102 $\pm$ 5,49 <b>a</b>	113 $\pm$ 5,57 <b>ab</b>	126,66 $\pm$ 6,61 <b>ab</b>	168 $\pm$ 8,3 <b>ab</b>	207 $\pm$ 10,99 <b>ab</b>		
	UFFR	10,67 $\pm$ 0,77 <b>c</b>	16,67 $\pm$ 0,83 <b>c</b>	27,67 $\pm$ 1,91 <b>c</b>	41,67 $\pm$ 2,35 <b>b</b>	49,33 $\pm$ 2,9 <b>b</b>	54,67 $\pm$ 2,76 <b>b</b>	61,67 $\pm$ 3,53 <b>b</b>		
	UBS	9 $\pm$ 0,44 <b>c</b>	51 $\pm$ 2,49 <b>b</b>	54 $\pm$ 2,7 <b>b</b>	57 $\pm$ 2,85 <b>b</b>	64,33 $\pm$ 3,12 <b>b</b>	85,33 $\pm$ 4,13 <b>ab</b>	101,33 $\pm$ 5,84 <b>ab</b>		
	UBFR	14,33 $\pm$ 0,76 <b>c</b>	25 $\pm$ 1,25 <b>c</b>	38,66 $\pm$ 1,97 <b>c</b>	43,66 $\pm$ 2,18 <b>b</b>	48,33 $\pm$ 2,41 <b>b</b>	50 $\pm$ 2,5 <b>b</b>	51,33 $\pm$ 2,58 <b>b</b>		
	SJS	7,66 $\pm$ 0,38 <b>c</b>	16,66 $\pm$ 0,84 <b>c</b>	25 $\pm$ 1,62 <b>c</b>	45,33 $\pm$ 2,64 <b>b</b>	61,33 $\pm$ 3,14 <b>b</b>	83 $\pm$ 4,19 <b>ab</b>	108 $\pm$ 5,22 <b>ab</b>		
	SJFR	0,66 $\pm$ 0,047 <b>d</b>	10 $\pm$ 0,63 <b>c</b>	20 $\pm$ 1,55 <b>c</b>	44,33 $\pm$ 2,92 <b>b</b>	84,66 $\pm$ 4,69 <b>b</b>	136,66 $\pm$ 6,38 <b>ab</b>	168,66 $\pm$ 8,70 <b>ab</b>		
DOSE 2	Tem	50,66 $\pm$ 2,47 <b>a</b>	68,16 $\pm$ 3,74 <b>ab</b>	125,16 $\pm$ 5,62 <b>a</b>	165,33 $\pm$ 7,64 <b>a</b>	204 $\pm$ 9,14 <b>a</b>	220 $\pm$ 10,19 <b>a</b>	234 $\pm$ 11,22 <b>a</b>	<b>17,85</b>	<b>0,000***</b>
	GS	0 <b>b</b>	36,66 $\pm$ 1,63 <b>ab</b>	45,66 $\pm$ 2,75 <b>ab</b>	49,66 $\pm$ 2,14 <b>b</b>	58,66 $\pm$ 2,64 <b>b</b>	83 $\pm$ 4,65 <b>ab</b>	140,33 $\pm$ 7,09 <b>ab</b>		
	GFR	31,67 $\pm$ 1,98 <b>ab</b>	62,67 $\pm$ 3,47 <b>ab</b>	93 $\pm$ 4,52 <b>ab</b>	132 $\pm$ 6,3 <b>ab</b>	166 $\pm$ 8,07 <b>ab</b>	188 $\pm$ 9,7 <b>a</b>	209,67 $\pm$ 10,57 <b>a</b>		
	UFS	24 $\pm$ 1,16 <b>ab</b>	77 $\pm$ 3,16 <b>a</b>	89,33 $\pm$ 4,82 <b>ab</b>	102,66 $\pm$ 5,68 <b>ab</b>	118 $\pm$ 5,9 <b>ab</b>	184 $\pm$ 8,97 <b>a</b>	247 $\pm$ 12,59 <b>a</b>		
	UFFR	21 $\pm$ 1,03 <b>ab</b>	41 $\pm$ 2,31 <b>ab</b>	77,67 $\pm$ 3,36 <b>ab</b>	90,67 $\pm$ 4,53 <b>b</b>	105 $\pm$ 5,46 <b>ab</b>	116 $\pm$ 5,67 <b>ab</b>	138,67 $\pm$ 6,73 <b>ab</b>		
	UBS	52 $\pm$ 2,65 <b>a</b>	64,33 $\pm$ 3,16 <b>ab</b>	68 $\pm$ 3,79 <b>ab</b>	70,67 $\pm$ 5,81 <b>b</b>	75,33 $\pm$ 3,60 <b>ab</b>	89,33 $\pm$ 4,60 <b>ab</b>	119 $\pm$ 5,88 <b>ab</b>		
	UBFR	18,33 $\pm$ 0,91 <b>ab</b>	50,33 $\pm$ 2,79 <b>ab</b>	68 $\pm$ 3,39 <b>ab</b>	95,66 $\pm$ 4,49 <b>b</b>	132,66 $\pm$ 6,99 <b>ab</b>	161,66 $\pm$ 8,25 <b>a</b>	188,66 $\pm$ 9,52 <b>ab</b>		
	SJS	3,33 $\pm$ 0,16 <b>b</b>	9 $\pm$ 0,47 <b>b</b>	18 $\pm$ 0,89 <b>b</b>	52,66 $\pm$ 2,74 <b>b</b>	89,33 $\pm$ 4,54 <b>ab</b>	136 $\pm$ 6,36 <b>ab</b>	186 $\pm$ 9,36 <b>ab</b>		
	SJFR	0 <b>b</b>	0,33 $\pm$ 0,01 <b>b</b>	0,33 $\pm$ 0,23 <b>b</b>	0,33 $\pm$ 0,01 <b>c</b>	1 $\pm$ 0,005 <b>c</b>	1,66 $\pm$ 0,082 <b>b</b>	5 $\pm$ 0,24 <b>b</b>		
F	<b>Dose :</b>	<b>3,55</b>			<b>13,07</b>			<b>: Traitement F</b>		
<i>p</i>	<b>Dose :</b>	<b>0,6<sup>NS</sup></b>			<b>0,000***</b>			<b>: Traitement <i>p</i></b>		

TRT : traitements ; Tem : Témoin ; GS : Grignon sec ; GFR ; Grignon frais ; UFS : *Urginea* feuille sèche; UFFR : *Urginea* feuille fraîche; UBS : *Urginea* bulbe sèche ; UBFR : *Urginea* bulbe fraîche ; SJS : Saugue sèche ; SJFR : Saugue fraîche ; J1 : Jour 1 ; J2 : Jour 2 ; J3 : Jour 3 ; J4 : Jour ; J5 : Jour 5 ; J6 : Jour 6 ; J7 : Jour 7.

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

Pour mieux visualiser les biofertilisants les plus efficaces dans la réduction de la fertilité des œufs des *Meloidogyne*, nous avons présenté graphiquement la variation temporelle de la fertilité des œufs relative aux différents amendements renforcés par le test de la variance GLM pour chaque dose.

La figure IV.20.a. montre la variation temporelle de la fertilité des œufs de *Meloidogyne* sous l'effet des différents amendements biologiques à la forte dose (Dose1), les résultats relatifs révèlent que la fertilité des œufs varie d'une manière très hautement significative dans le temps (F-ratio=29,36 ;  $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ) et que cette dernière augmente avec le temps pour tous les types de biofertilisants, et la figure IV.20.c. confirme cette augmentation dans le temps et montre que la fertilité des œufs des *Meloidogyne* la plus élevée était enregistré au septième jours de l'essai (groupe homogène a).

Il parait d'après les résultats que les feuilles et le bulbe frais d'*Urginea* ont montré une faible fertilité des œufs pendant les sept jours de l'essai par rapport aux autres traitements et au témoin

Cependant la poudre des feuilles sèches de l'*Urginea* ont montré une fertilité plus favorisée au deuxième jour que celle des autres amendements et même du témoin puis nous avons enregistré une chute au cinquième jour avant qu'elle augment de nouveau aux deux derniers jours pour présenter la fertilité des œufs la plus élevée après le témoin.

Quant aux autres traitements qui restent, ont enregistré une faible fertilité des œufs qui commence à s'augmentée dès le cinquième jour de l'essai.

L'application du modèle liniaire général GLM sur les résultats relatifs à l'effet des biofertilisants sur la fertilité des œufs montre que cette dernière varie d'une manière très hautement significative selon les biofertilisant testé (F-ratio=11,25 ;  $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ), d'après les résultats exposés dans la figure IV.20.b. la fertilité des œufs la plus élevé après celle du témoin est enregistré chez les plants traités avec la poudre des feuilles sèche de l'*Urginea* et les broyats frais des grignons d'olive (groupe homogène b), cependant les autre biofertilisants ont montré une fertilité similaire (groupe homogène c).

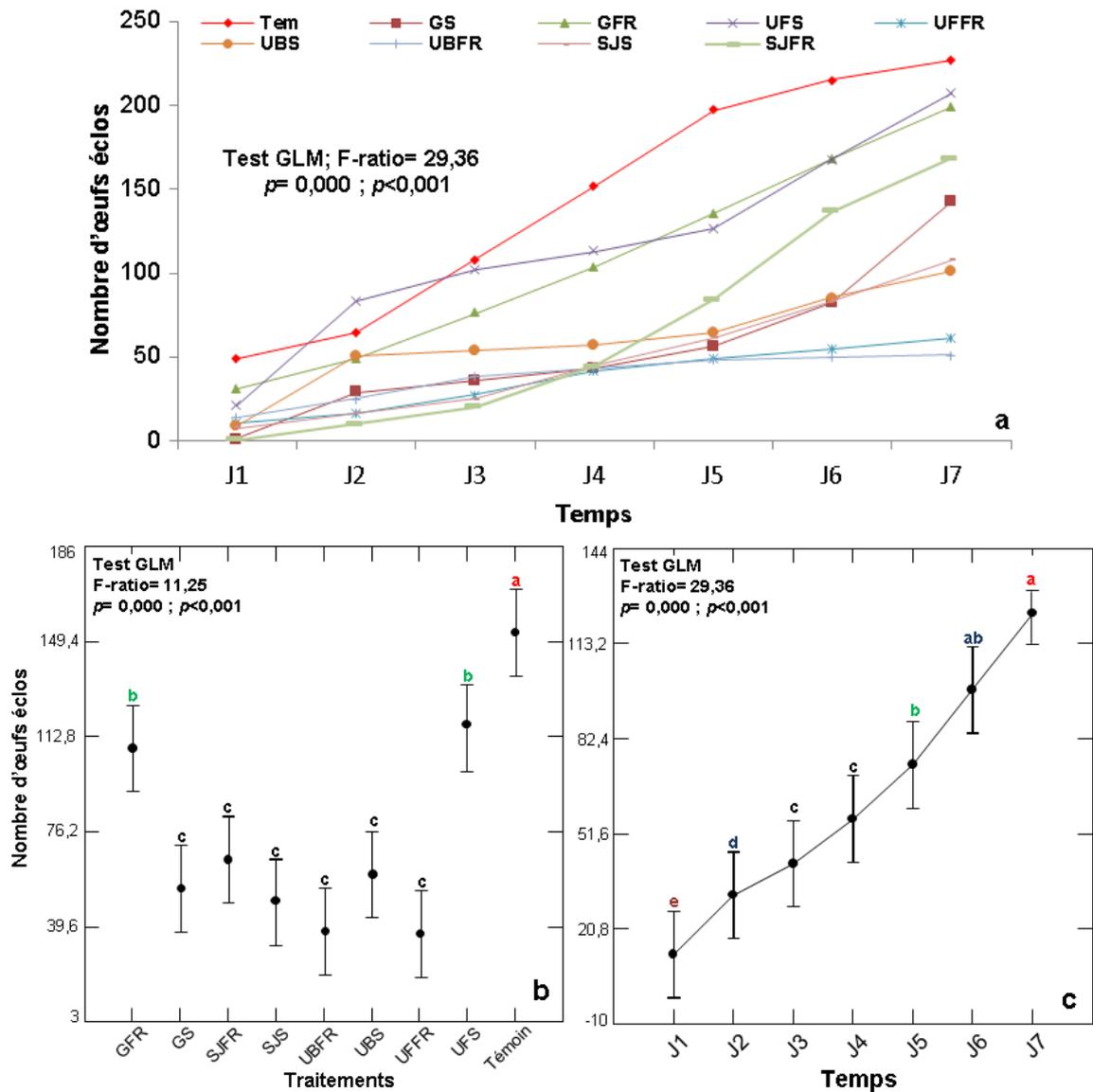


Figure IV.20 : Modulation comparée de la fertilité des œufs sous l'effet des différents traitements à la forte dose (dose 1).

a, c : Variation temporelle de la fertilité des œufs ; b : effet des biofertilisants sur la fertilité des œufs.

Tem : Témoin ; GS : Grignon sec ; GFR : Grignon frais ; UFS : *Urginea* feuille sèche; UFFR : *Urginea* feuille fraîche; UBS : *Urginea* bulbe sèche ; UBFR : *Urginea* bulbe fraîche ; SJS : Sauge sèche ; SJFR : Sauge fraîche ; AV : Algue verte ; AB : Algue brune ; AR : Algue rouge ; J1 : Jour1 ; J2 : Jour2 ; J3 : Jour3 ; J4 : Jour4 ; J5 : Jour5 ; J6 : Jour6 ; J7 : Jour7.

En ce qui concerne la faible dose (Dose 2), la figure IV.21.a'. qui expose la variation temporelle de la fertilité des œufs de *Meloidogyne* sous l'effet des différents amendements biologiques à la faible dose (Dose 2), révèlent que la fertilité des œufs varie d'une manière très hautement significative dans le temps (F-ratio= 17,85 ;  $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ) et que cette dernière augmente avec le temps pour tous les types de biofertilisants, la figure IV.21.c' confirme cette augmentation

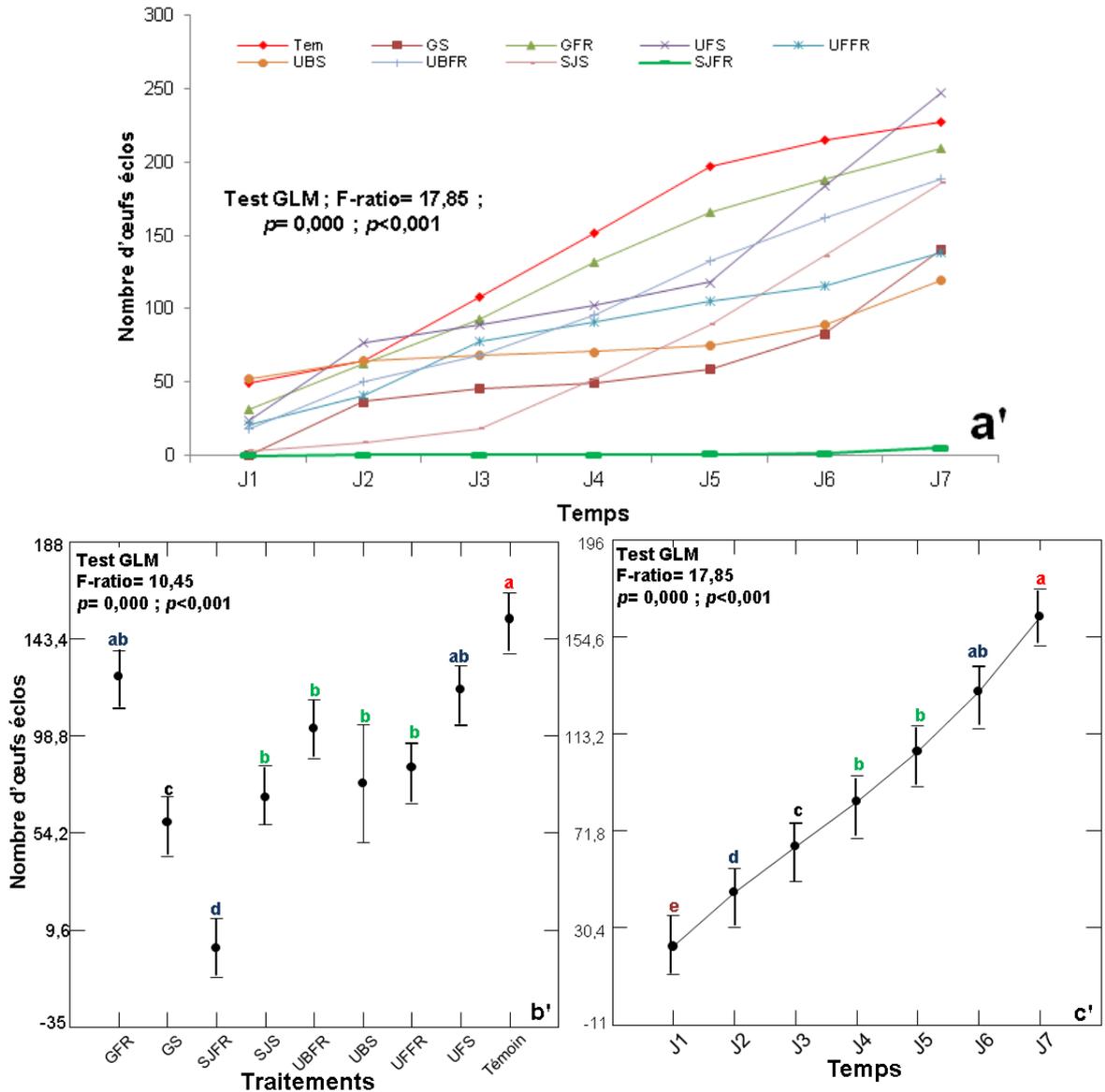
dans le temps et montre que la fertilité des œufs des *Meloidogyne* la plus élevée était enregistré au septième jours de l'essai (groupe homogène a).

Les résultats révèlent que la poudre fraîche de la sauge a montré une inhibition de la fertilité des œufs durant les sept jours de l'essai. En revanche la poudre de *l'Urginea* sèche a montré un effet similaire avec les deux doses sauf que ce dernier à la faible dose n'était pas très efficace dans la mesure où nous avons enregistré une fertilité des œufs qui dépasse celle du témoin.

L'analyse de la variance de type GLM appliquée sur l'effet des différents amendements biologiques sur la fertilité des œufs des *Meloidogyne* au faible dose (Dose 2) (Figure IV.21.b') exposent une différence très hautement significative entre les différents traitements appliqués (F-ratio=10,45 ;  $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ).

Les résultats montrent que les feuilles sèches de *l'Urginea* et les grignons d'olive frais n'ont pas diminué la fertilité des œufs et ont enregistré un nombre d'œufs éclos proche de celui du témoin (groupe homogène ab).

En revanche la sauge fraîche a révélé une fertilité des œufs la plus faible en comparaison au témoin et aux autres biofertilisants (groupe homogène d).



**Figure IV.21** : Modulation comparée de la fertilité des œufs sous l'effet des différents traitements à la faible dose (dose2).

a', c' : Variation temporelle de la fertilité des œufs ; b' : effet des biofertilisants sur la fertilité des œufs.

Tem : Témoin ; GS : Grignon sec ; GFR : Grignon frais ; UFS : *Urginea* feuille sèche; UFFR : *Urginea* feuille fraîche; UBS : *Urginea* bulbe sèche ; UBFR : *Urginea* bulbe fraîche ; SJS : Sauge sèche ; SJFR : Sauge fraîche ; AV : Algue verte ; AB : Algue brune ; AR : Algue rouge ; J1 : Jour1 ; J2 : Jour2 ; J3 : Jour3 ; J4 : Jour4 ; J5 : Jour5 ; J6 : Jour6 ; J7 : Jour7.

## IV.2.2. Evaluation de l'activité nématocide des amendements organiques d'origine animale sur la régulation du développement des nématodes à galle

### IV.2.2.1. Variations de degré d'infestation des plants de tomate par les *Meloidogyne* sous l'effet des différents amendements (nombre de galles)

Les résultats de degré d'infestation des plants de tomate par les *Meloidogyne* sous l'effet des différents traitements et leurs doses, ainsi que Les probabilités obtenues par l'analyse de la variance de type GLM et de TEST t de comparaison entre la forte dose (Dose 1) et la faible (Dose 2) sont exposés dans le tableau IV.14

Il apparait ; d'après les résultats reportés dans le tableau IV.14 que les différents traitements appliqués affectent d'une manière très hautement significative le nombre de galle ( $p=6,4 \times 10^{-25}$  ;  $p < 0,001$ ), en revanche la dose de ces mêmes traitement n'affecte pas d'une manière significative le nombre de galle ( $p=0,98$  ;  $p < 0,05$ ).

Les amendements organiques apportés ont réduit sensiblement le taux d'infestation des plants de tomate par les *Meloidogyne*. Toutefois, la diminution des infestations n'a pas une relation avec les doses des biofertilisants. L'application du TEST t de comparaison révèle que, les fortes et les faibles doses testées ont montré la présence des différences non significatives entre les deux doses de traitements appliqués ( $p < 0,05$ ), à l'exception de la poudre de la chitine qui a montré une différence très significative entre les deux doses ( $p=0,0001$  ;  $p < 0,005$ ) avec une gradation positive chez les plants traités avec la forte dose (Dose 1) (groupe homogène d).

Les plants traités avec le thé du lombricompost et le lombricompost fermenté n'ont montré la présence d'aucune galle (groupe homogène e) ce qui montre que ces deux biofertilisants ont inhibé la formation des galles.

Le taux d'infestation le plus élevé pour les plants traités est obtenu avec l'application du fumier sec avec les deux doses (Dose 1 et Dose 2) (groupe homogène b). L'effectif moyen de galles dénombré est de 25,66 et 22,66 galles respectivement.

**Tableau IV.14** : Moyennes arithmétique ( $\pm$  standard erreur) de nombre moyen de galles sur les plants de tomate.

	DOSE 1	DOSE 2	TEST t (p)	test GLM (p)
Témoin	33,66 $\pm$ 0,76 <b>a</b>			
LS	7,33 $\pm$ 0,36 <b>c</b>	4,33 $\pm$ 0,21 <b>d</b>	0,065 <sup>NS</sup>	
LFR	3,42 $\pm$ 0,17 <b>d</b>	3 $\pm$ 0,15 <b>d</b>	0,61 <sup>NS</sup>	
FS	25,66 $\pm$ 1,28 <b>b</b>	22,66 $\pm$ 1,13 <b>b</b>	0,18 <sup>NS</sup>	<b>0,98<sup>NS</sup></b>
CH	1 $\pm$ 0,05 <b>d</b>	7,66 $\pm$ 0,38 <b>c</b>	0,0001 <sup>***</sup>	
TL	0 <b>e</b>	0 <b>e</b>		
LF	0 <b>e</b>	0 <b>e</b>		
<b>Test ANOVA (p)</b>	6,4 $\times$ 10 <sup>-25</sup>			

Tem : Témoin ; LS : Lombricompost sec ; LFR ; Lombricompost frais ; FS : Fumier sec; CH Chitine de crevette; TL : Thé de lombricompost ; LF: Lombricompost fermenté.

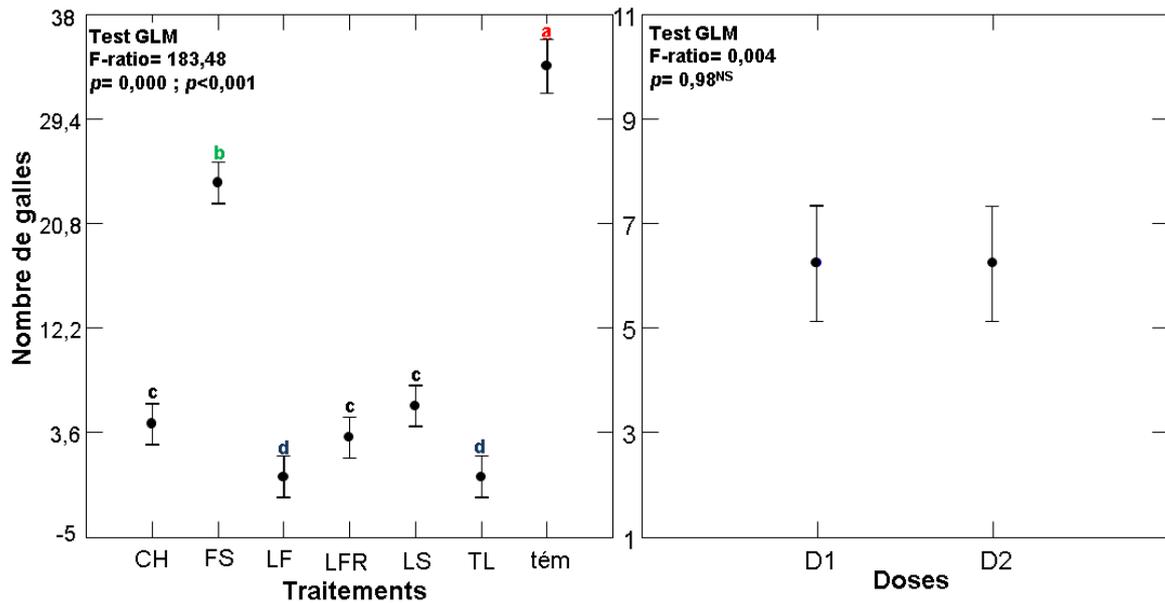
NS : Non significative, \* : Significative à 5%, \*\* : Significative à 1%, \*\*\* : Significative à 0,1%

L'application du modèle G.L.M. pour les données obtenus (Figure IV.22), nous permet de déduire que le taux d'infestation estimé par le nombre moyen de galles varie significativement d'un point de vue traitements (F-ratio=183,48 ;  $p=0,000$  ;  $p<0,05$ ) contrairement à la dose qui montre une différence non significative entre les deux doses testés (F-ratio=0,004 ;  $p=0,98$  ;  $p>0,05$ ).

La figure IV.22 relative aux différents traitements dévoile l'efficacité des différents biofertilisants dans la réduction de l'infestation des racines par les *Meloidogyne*.

Les deux formes du lombricompost (sec et frais) ainsi que la chitine de la crevette ont montré une action plus importante dans la diminution du nombre de galles.

Cependant le thé du lombricompost et le lombricompost fermenté ont inhibé la formation des galles.



**Figure IV.22 :** Modulation comparée de nombre moyen de galles sur les plants de tomate selon les différents traitements.

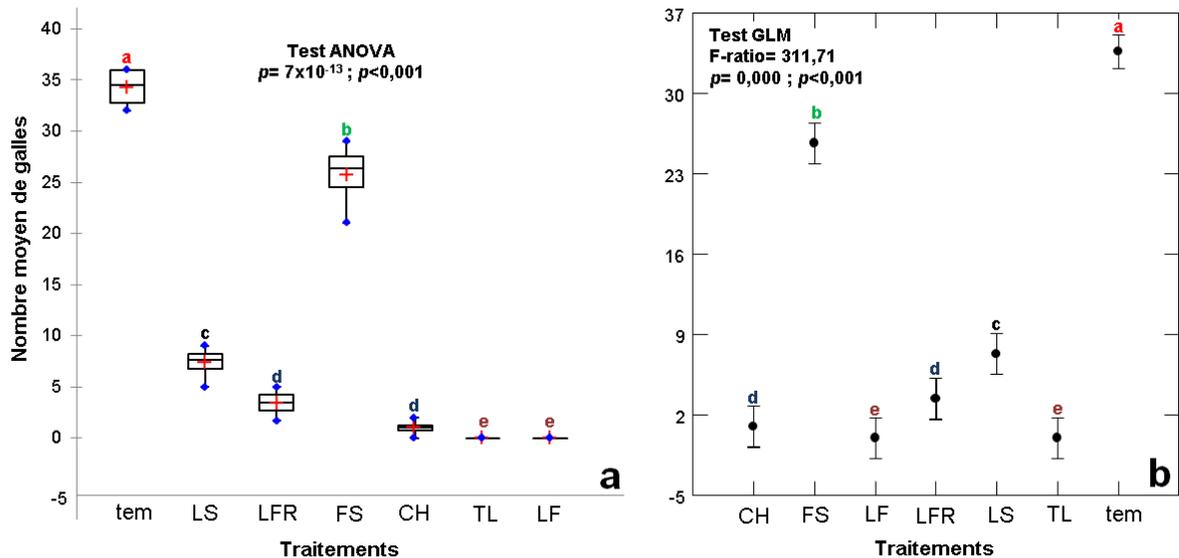
Tem : Témoin ; LS : Lombricompost sec ; LFR ; Lombricompost frais ; FS : Fumier sec; CH Chitine de crevette; TL : Thé de lombricompost ; LF: Lombricompost fermenté. D1 : Dose 1 ; D2 : Dose 2.

Pour mieux visualiser les biofertilisants les plus efficaces dans la réduction de nombre de galle moyen de *Meloidogyne*, nous avons appliqué les boîtes à moustache des deux doses testés relatives aux différents amendements renforcés par le test de la variance GLM pour chaque dose (Figures IV. 23 a et b).

Les boîtes à moustaches dévoilent la variation des valeurs expérimentales de taux d'infestation estimé par le nombre moyen de galles et elles ont été confirmées avec le test ANOVA dans le but de montrer les traitements qui ont participé à la signalisation des différences significatives (Figures IV. 23 a).

Une dénivellation très importante est enregistrée dans le nombre de galle sous l'effet des différent traitements en comparaison au témoin (Test ANOVA,  $p=7 \times 10^{-13}$  ;  $p < 0,001$ ).

A la forte dose (Dose1) les résultats exposent une gradation négative du nombre de galle chez les plants traités par les différents amendements par rapport au témoin, et cette dernière varie en fonction des différents biofertilisants. En revanche le taux d'infestation chez les plants témoin a été très élevé par rapport à celui des plants traités (groupe homogène a)



**Figure IV.23 :** Variation de nombre moyen de galle sur les plants de tomate en fonctions des traitements à la forte dose (dose 1).

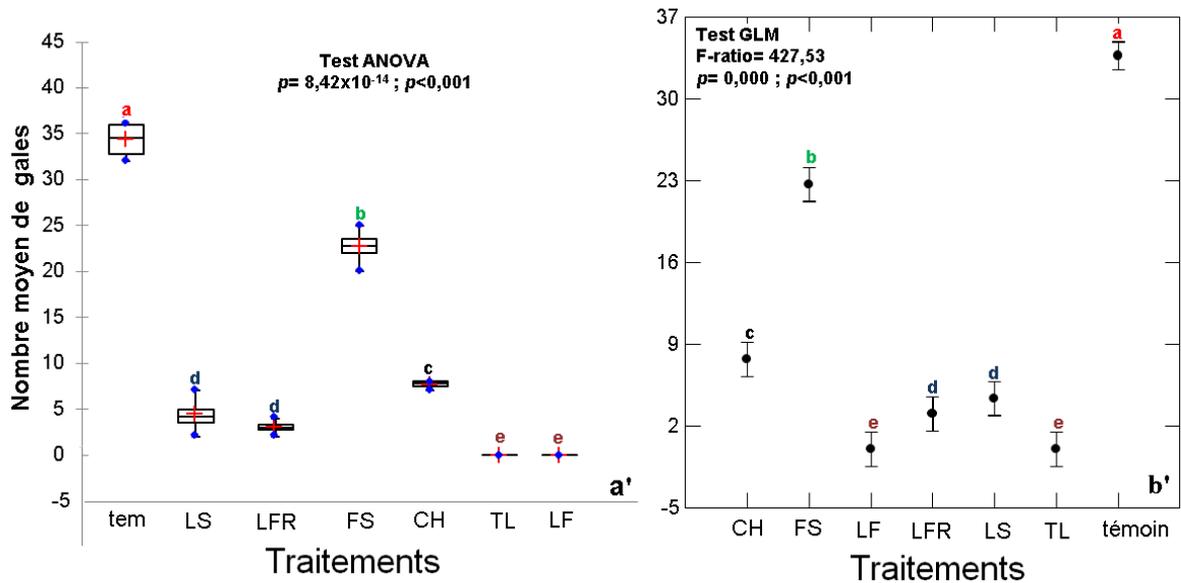
a : Variation par Box plot ; b : Variation par GLM.

Tem : Témoin ; LS : Lombricompost sec ; LFR ; Lombricompost frais ; FS : Fumier sec ; CH Chitine de crevette ; TL : Thé de lombricompost ; LF: Lombricompost fermenté.

En ce qui concerne la faible dose (Dose 2) (Figure 24.a' et b') ; le test ANOVA affirme la dissemblance qui existe entre les différents traitements ( $p = 8,42 \times 10^{-14}$  ;  $p < 0,001$ ). Les résultats exposent une diminution importante de nombre de galle sous l'effet des différents amendements apportés en comparaison au témoin qui a montré le taux d'infestation le plus élevé (groupe homogène a).

De même les résultats montrent une inhibition des formations des galles chez les plants de tomate traités avec les deux formes du lombricompost (thé du lombricompost et lombricompost fermenté) (groupe homogène e).

Cependant le nombre moyen de galle le plus élevé pour les traités, est enregistré avec les plants traités par le fumier sec (groupe homogène b).



**Figure IV.24 :** Variation de nombre moyen de galle sur les plants de tomate en fonction des traitements à la forte dose (dose 2).

a' : Variation par Box plot ; b' : Variation par GLM.

Tem : Témoin ; LS : Lombricompost sec ; LFR : Lombricompost frais ; FS : Fumier sec ; CH : Chitine de crevette ; TL : Thé de lombricompost ; LF : Lombricompost fermenté.

#### IV.2.2.2. Variations de nombre d'adultes des *Meloidogyne* sur les plants de tomate sous l'effet des différents amendements

Les résultats de nombre d'adulte mâle et femelle des *Meloidogyne* sous l'effet des différents traitements et leurs doses, ainsi que Les probabilités obtenues par l'analyse de la variance de type GLM sont exposés dans le tableau IV.15. D'après les résultats reportés dans le tableau IV.15 les différents traitements appliqués affectent d'une manière très hautement significative le nombre d'adulte (mâle et femelle) ( $p=0,000$ ;  $p<0,001$ ), en revanche la dose de ces mêmes traitement n'affecte pas d'une manière significative le nombre d'adulte ( $p<0,05$ ).

Les mêmes résultats révèlent que le nombre moyen des femelles et des mâles varie en fonction des traitements testés avec une abondance des femelles par rapport aux mâles. En comparaison avec le témoin nous enregistrons en général qu'au cours du développement de la 1<sup>ère</sup> génération, les amendements apportés entraînent une diminution du nombre de femelles et une légère augmentation du nombre de mâles.

Parmi les biofertilisants, l'effectif moyen le plus faible des femelles est obtenu avec l'application des deux formes du lombricompost (le thé et le fermenté) ainsi que la chitine de la crevette où nous avons enregistré la présence d'aucune femelle pour ces amendements, et l'apport du lombricompost frais à la faible dose (Dose 2) a montré un nombre de femelle très faible (groupe homogène b).

L'effectif des femelles le plus élevés pour les plants traités est obtenu avec l'application du fumier sec à la faible dose (Dose 2) (groupe homogène a) et à la forte dose (Dose 1) (groupe homogène b).

Quant au développement des mâles, l'application du lombricompost et le fumier sec à la forte dose (Dose 1) et la chitine de la crevette à la faible dose (dose 2) ont montré l'effectif le plus élevé des mâles (groupe homogène a).

**Tableau IV.15** : Moyennes arithmétique ( $\pm$  standard erreur) de nombre moyen des adultes des *Meloidogyne* sur les plants de tomate

Traits	Nombre de femelles adultes (Moy $\pm$ E.S)				Nombre de mâles adultes (Moy $\pm$ E.S)			
	Dose 1	Dose 2	F-ratio	p	Dose 1	Dose 2	F-ratio	p
Tem	10,83 $\pm$ 0,54 a				0,66 $\pm$ 0,03 b			
LS	5,33 $\pm$ 0,26 c	3 $\pm$ 0,15 b			2 $\pm$ 0,1 a	1,66 $\pm$ 0,08 a		
LFR	3 $\pm$ 0,15 d	2,33 $\pm$ 0,11 b			1 $\pm$ 0,05 a	0,66 $\pm$ 0,03 b		
FS	8,33 $\pm$ 0,41 b	9 $\pm$ 0,45 a	0,16	0,68 <sup>NS</sup>	2 $\pm$ 0,1 a	1,33 $\pm$ 0,06 a	0,000	0,98 <sup>NS</sup>
CH	0 e	0 c			0,33 $\pm$ 0,01 b	1,66 $\pm$ 0,08 a		
TL	0 e	0 c			0 b	0 b		
LF	0 e	0 c			0 b	0 b		
<b>F</b>	<b>151,14</b>				<b>14,43</b>			
<b>p</b>	<b>0.000***</b>				<b>0.000***</b>			

Tem : Témoin ; LS : Lombricompost sec ; LFR ; Lombricompost frais ; FS : Fumier sec; CH Chitine de crevette; TL : Thé de lombricompost ; LF: Lombricompost fermenté.

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

La projection des effectifs d'adulte mâles et femelles des *Meloidogyne* sous l'effet des différents traitements et leurs doses, à travers l'analyse en composante principale (ACP) est satisfaisante pour l'ensemble des paramètres étudiés dans la mesure où plus de 95% de la variance est exprimée sur les deux axes (Figure IV.25).

La projection des données sur les deux axes, montre que les paramètres étudiés agissent différemment en formant 3 groupes :

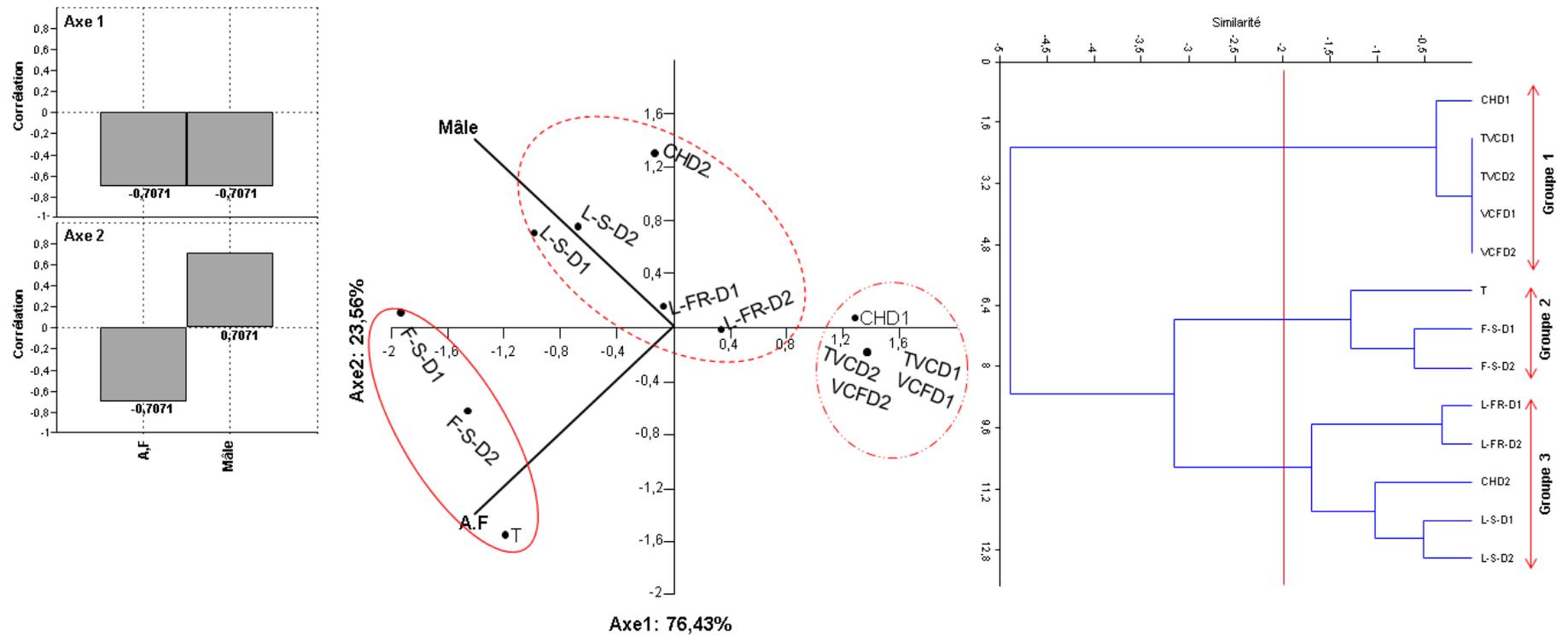
Le premier groupe renferme la chitine de la crevette à la forte dose et les deux doses des deux types du vermicompost (le thé et le fermenté) et qui sont corrélés négativement avec le nombre de mâle et de femelle.

Concernant le deuxième groupe renferme les deux doses de fumier sec ainsi que les plants témoins ; ce groupe est corrélé positivement avec le nombre de femelle.

Pour le troisième groupe, regroupe de son tour les deux doses du lombricompost frais et sec ainsi que la faible dose (Dose 2) de la chitine de la crevette.

Suite aux projections des variables sur le premier axe (76,43%), de l'ACP, nous constatons que les vecteurs du nombre de mâle et de femelle sont corrélés positivement, et l'un se distingue de l'autre ce qui montre un effet dissemblable des différents traitements sur la variation des effectifs mâles et femelles de *Meloidogyne*.

Quant au deuxième axe la projection des variables nous montre que les vecteurs relatifs aux nombres d'adulte mâle et femelle des *Meloidogyne* sont corrélés négativement, avec un nombre de femelle de *Meloidogyne* important chez les plants témoins et ceux traités avec le fumier sec.



**Figure IV.25 :** Projection de nombre d'adultes des *Meloidogyne* sur les plants de tomate sous l'effet des traitements sur les deux axes de l'ACP.

T: Témoin ; L-S-D1 : Lombricompost sec à la forte dose ; L-S-D2 : Lombricompost sec à la faible dose L-FR-D1 : Lombricompost frais à la forte dose ; L-FR-D2 : Lombricompost frais à la faible dose F-S-D1: Fumier sec à la forte dose ; F-S-D2: Fumier sec à la faible dose ; CHD1 : Chitine de crevette à la forte dose; CHD2 : Chitine de crevette à la faible dose ; TVD1 : Thé de vermicompost à la forte dose TVD2 : Thé de vermicompost à la faible dose ; VFD1: Vermicompost fermenté à la forte dose ; VFD2: Vermicompost fermenté à la faible dose, A.F : nombre de femelles.

#### IV.2.2.3. Variations de fécondité des femelles de *Meloidogyne* sur les plants de tomate sous l'effet des différents amendements

Les résultats de la production des masses d'œufs par 1 g de racine, le nombre d'œufs présents par 5 masses et le nombre des sacs vides sous l'effet des différents traitements et leurs doses, ainsi que les probabilités obtenues par l'analyse de la variance de type GLM sont exposés dans le tableau IV.16.

Les résultats relatifs à la production des masses d'œufs par 1 gramme de racine révèlent une différence très hautement significative entre les différents traitements (F-ratio=62,45 ;  $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ) contrairement à l'effet de la dose qui n'a pas montré une différence significative entre les deux doses appliquées (F-ratio=2,04 ;  $p=0,16$  ;  $p>0,05$ )

D'après les résultats reportés dans le tableau IV.16 les différents traitements ont réduit sensiblement la production des masses d'œufs des *Meloidogyne*, le nombre des masses d'œufs le plus élevé est enregistré chez les plants traités avec le fumier sec avec les deux doses (Dose 1 et Dose 2) (groupe homogène b), cependant les deux types du lombricompost (le thé et le fermenté) et la chitine de la crevette appliquées avec les deux doses (Dose 1 et Dose 2) étaient plus efficaces et n'ont présenté aucune production des masses d'œufs (groupe homogène d)

Il faut noter que les valeurs les plus élevées de nombre des masses d'œufs étaient enregistrées chez les plants témoins (Groupe homogène a).

Concernant le nombre des sacs vides, des différences très hautement significatives ont été enregistrées entre les différents traitements apportés (F-ratio=7,9 ;  $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ), par contre la dose n'a pas montré ce même effet significatif (F-ratio=1,55 ;  $p=0,22$  ;  $p>0,05$ ).

Le nombre des sacs vides le plus élevé est enregistré chez les plants de tomates traités avec la faible dose de la chitine de crevette (groupe homogène a)

En revanche la plus faible valeur de nombre des sacs vides est enregistrée chez les plants traités avec le thé de lombricompost et le lombricompost fermenté (groupe homogène c).

Les résultats relatifs au nombre d'œufs produisent par 5 masses révèlent la présence d'une différence très hautement significative entre les différents amendements apportés ( $F$ -ration= 14 ;  $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ), par contre la dose du traitement n'affecte pas d'une manière significative le nombre des œufs produisent par 5 masses. ( $F$ -ratio=2,57 ;  $p=0,000$  ;  $p<0,11$ ).

Le nombre d'œufs le plus élevé est enregistré chez les plants témoins (groupe homogène a) quant aux plants traités le biofertilisant qui a montré le nombre d'œufs le plus élevé est le fumier sec avec les deux doses (Dose 1 et Dose 2) (groupe homogène b).

Cependant les deux types du lombricompost (le thé et le fermenté) et la chitine de la crevette testés avec les deux doses (Dose 1 et Dose 2) ont enregistré la présence d'aucune production d'œufs (groupe homogène e)

**Tableau IV.16** : Moyennes arithmétique ( $\pm$  standard erreur) de nombre moyen des paramètres de fécondité des *Meloidogyne* sur les plants de tomate

TRT	Nbre. mas (Moy $\pm$ S.E.)		Nbre. sac. Vide (Moy $\pm$ S.E.)		œuf/5mas (Moy $\pm$ S.E.)	
	Dose 1	Dose 2	Dose 1	Dose 2	Dose 1	Dose 2
Tem	9,33 $\pm$ 0,46 a		1,33 $\pm$ 0,06 a	1,33 $\pm$ 0,06 b	698,66 $\pm$ 34,93 a	
LS	3,66 $\pm$ 0,18 c	1 $\pm$ 0,05 c	1,33 $\pm$ 0,06 a	0,66 $\pm$ 0,03 b	174,33 $\pm$ 8,71 c	47,33 $\pm$ 2,36 c
LFR	2 $\pm$ 0,1 c	1,66 $\pm$ 0,08 c	0,33 $\pm$ 0,01 b	0,33 $\pm$ 0,01 b	79,33 $\pm$ 3,96 c	31,66 $\pm$ 1,58 c
FS	5,33 $\pm$ 0,26 b	6 $\pm$ 0,3 b	1 $\pm$ 0,05 b	0,66 $\pm$ 0,03 b	560,33 $\pm$ 28,01 b	552 $\pm$ 27,6 b
CH	0 d	0 c	0,33 $\pm$ 0,01 b	4 $\pm$ 0,2 a	0 d	0 d
TL	0 d	0 c	0 c	0 c	0 d	0 d
LF	0 d	0 c	0 c	0 c	0 d	0 d
<b>F</b>	<b>62,45</b> (TRT)	<b>2,04</b> (Dose)	<b>7,09</b> (TRT)	<b>1,55</b> (TRT)	<b>141,74</b> (TRT)	<b>2,57</b> (Dose)
<b>p</b>	<b>0.000***</b> (TRT)	<b>0,16<sup>NS</sup></b> (Dose)	<b>0.000***</b> (TRT)	<b>0,22<sup>NS</sup></b> (TRT)	<b>0.000***</b> (TRT)	<b>0,11<sup>NS</sup></b> (Dose)

Tem : Témoin ; LS : Lombricompost sec ; LFR ; Lombricompost frais ; FS : Fumier sec; CH Chitine de crevette; TL : Thé de lombricompost ; LF: Lombricompost fermenté; Nbre.mas : nombre de masse d'œufs ; Nbre.sac.vide : Nombre des sacs vides ; œufs /5mas : Nombre d'œufs par 5 masses d'œufs.

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

La projection des variables des paramètres du fécondité des femelles des *Meloidogyne* sous l'effet des différents traitements, à travers l'analyse en composante principale (ACP) est satisfaisante pour l'ensemble des paramètres étudiés dans la mesure où plus de 80% de la variance est exprimée sur les deux axes (Figure IV.26).

La projection des données sur les deux axes, montre que les paramètres étudiés agissent différemment en formant 2 groupes :

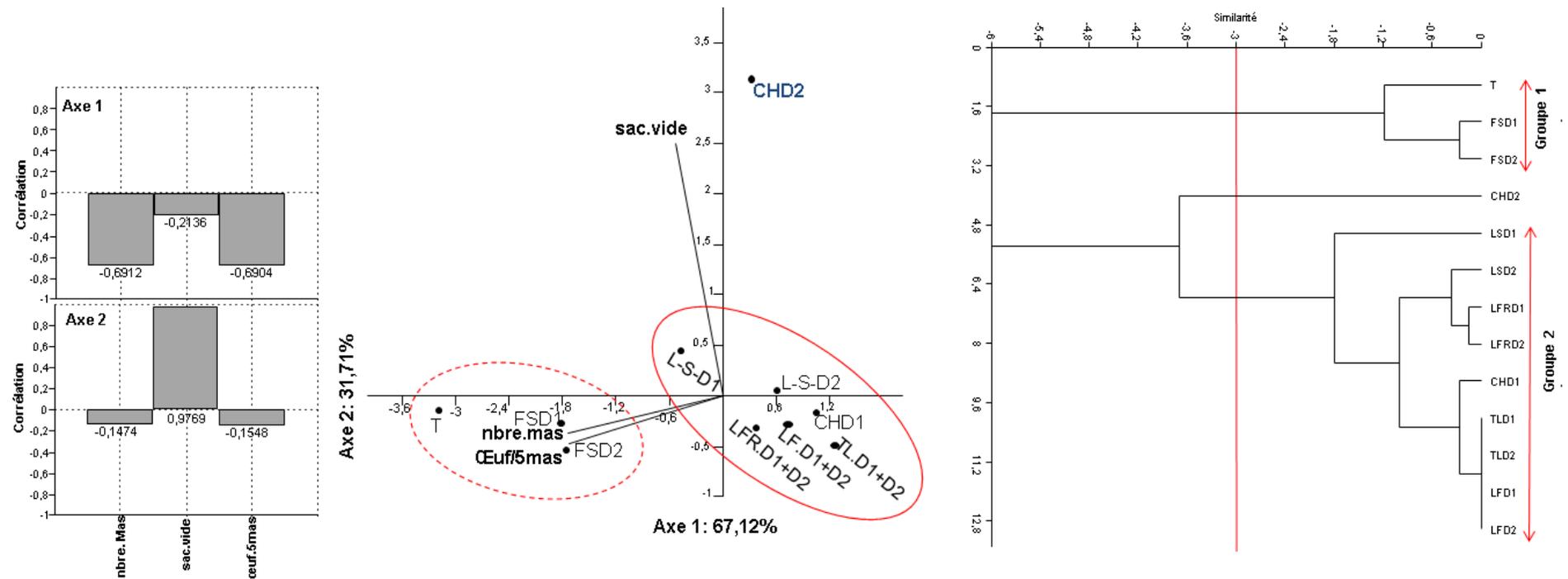
Le premier groupe renferme les plants témoins et ceux traités par les deux doses du fumier sec, ces derniers sont corrélés positivement avec le nombre des masses d'œufs et le nombre d'œufs produits par 5 masses.

Cependant le deuxième groupe regroupe tous les types du lombricompost (frais, sec, fermenté et le thé) apporté avec les deux doses et la forte dose de la chitine de crevette.

Suite aux projections des variables sur les deux axes de l'ACP, nous constatons que les vecteurs de nombre des masses d'œufs et le nombre d'œufs produits par 5 masses se rapprochent et s'orientent dans la même direction, ce qui confirme un effet analogue des traitements sur ces deux paramètres.

De plus, l'analyse en Composantes Principales (ACP) montre que la projection des variables sur le premier axe montre un effet remarquable de la chitine de crevette testée à la faible dose (Dose 2) sur le nombre des sacs vides

Cependant la projection des variables sur l'axe 2 révèle que le vecteur des sacs vides est corrélé négativement avec les deux vecteurs de nombre des masses d'œufs ainsi que le nombre d'œufs par cinq masses avec un effet favorable du fumier sec testé avec les deux doses sur le nombre des masses d'œufs et le nombre des œufs produits par cinq masses.



**Figure IV.26 :** Projection de la variation des paramètres de fécondité des *Meloidogyne* sur les plants de tomate sous l'effet des traitements sur les deux axes de l'ACP.

T: Témoin ; L-S-D1 : Lombricompost sec à la forte dose ; L-S-D2 : Lombricompost sec à la faible dose ; L-FR-D1 : Lombricompost frais à la forte dose ; L-FR-D2 : Lombricompost frais à la faible dose ; F-S-D1: Fumier sec à la forte dose ; F-S-D2: Fumier sec à la faible dose ; CHD1 : Chitine de crevette à la forte dose; CHD2 : Chitine de crevette à la faible dose ; TLD1 : Thé de lombricompost à la forte dose ; TLD2 : Thé de lombricompost à la faible dose ; LFD1: Lombricompost fermenté à la forte dose ; LFD2: Lombricompost fermenté à la faible dose; Nbre.mas : nombre de masse d'œufs ; sac.vide : Nombre des sacs vides ; œufs /5mas : Nombre d'œufs par 5 masses d'œufs.

#### IV.2.2.4. Variations de la fertilité des œufs des *Meloidogyne* sur les plants de tomate sous l'effet des différents amendements

Les résultats relatifs à l'effet des différents amendements apportés et leurs doses sur la fertilité des œufs des *Meloidogyne* par 5 masses, ainsi que les probabilités obtenues par l'analyse de la variance de type GLM sont exposés dans le tableau IV.17.

Pour comparer l'effet des amendements testés sur la fertilité des œufs de *Meloidogyne* par rapport au témoin non traité nous avons considéré la moyenne des différentes doses utilisées pour chaque traitement.

D'après les résultats reportés dans le tableau IV.17 les différents amendements appliqués affectent d'une manière très hautement significative la fertilité des œufs (F-ratio=51,69 ;  $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ), en revanche la dose de ces mêmes amendements n'affecte pas d'une manière significative la fertilité des œufs (F-ratio=0,51 ;  $p=0,47$  ;  $p>0,05$ ). Cependant les mêmes résultats montrent que la fertilité des œufs de *Meloidogyne* varie d'une manière très hautement significative dans le temps de l'essai ( $p<0,001$ ).

Il apparaît d'après les résultats que quel que soit le type de biofertilisant la fertilité des œufs augmentent avec le temps

A la forte dose (Dose 1) les résultats projetés dans le tableau IV.17 affichent que la majorité des biofertilisants biologiques ont montré une faible fertilité des œufs parmi ces biofertilisants nous citons la forme fraîche du lombricompost qui a montré une faible fertilité des œufs de *Meloidogyne* pendant tous les sept jours. Cependant la forme sèche du lombricompost a montré une faible fertilité des œufs de *Meloidogyne* pendant les cinq premiers jours, à partir du sixième jour le nombre des œufs éclos commencent à s'augmenter légèrement. En revanche les plants traités avec le fumier sec ont montré une fertilité remarquable par rapport aux autres biofertilisants dès le premier jour jusqu'au septième jour

Quant à la faible dose, la forme fraîche du lombricompost a montré un effet très remarquable dans l'inhibition de l'éclosion des œufs de *Meloidogyne* du premier jour jusqu'au septième jour.

**Tableau IV.17** : Moyennes arithmétique ( $\pm$  standard erreur) de nombre moyen des œufs des *Meloidogyne* sur dix galles

TRT		J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	F-ratio	<i>p</i>
		Moy $\pm$ S.E.	Moy $\pm$ S.E.	Moy $\pm$ S.E.	Moy $\pm$ S.E.	Moy $\pm$ S.E.	Moy $\pm$ S.E.	Moy $\pm$ S.E.		
DOSE 1	Tem	50,66 $\pm$ 2,07 <b>a</b>	68,16 $\pm$ 3,74 <b>b</b>	125,16 $\pm$ 5,62 <b>a</b>	165,33 $\pm$ 7,64 <b>a</b>	204 $\pm$ 9,14 <b>a</b>	220 $\pm$ 10,19 <b>a</b>	234 $\pm$ 11,22 <b>a</b>	<b>6,79</b>	<b>0,000***</b>
	LS	0 <b>c</b>	0 <b>c</b>	2,66 $\pm$ 0,13 <b>c</b>	16,33 $\pm$ 0,81 <b>c</b>	42 $\pm$ 2,1 <b>bc</b>	51,33 $\pm$ 2,56 <b>b</b>	107,66 $\pm$ 5,83 <b>ab</b>		
	LFR	0 <b>c</b>	0 <b>c</b>	0,66 $\pm$ 0,03 <b>c</b>	1,66 $\pm$ 0,08 <b>c</b>	4 $\pm$ 0,2 <b>c</b>	10,66 $\pm$ 0,53 <b>b</b>	37,66 $\pm$ 1,8 <b>b</b>		
	FS	3,33 $\pm$ 0,16 <b>b</b>	10,66 $\pm$ 0,53 <b>b</b>	26,33 $\pm$ 1,31 <b>b</b>	81,33 $\pm$ 4,06 <b>b</b>	109,33 $\pm$ 5,46 <b>b</b>	148 $\pm$ 7,4 <b>a</b>	199,66 $\pm$ 9,98 <b>a</b>		
DOSE 2	Tem	50,66 $\pm$ 2,47 <b>a</b>	68,16 $\pm$ 3,74 <b>ab</b>	125,16 $\pm$ 5,62 <b>a</b>	165,33 $\pm$ 7,64 <b>a</b>	204 $\pm$ 9,14 <b>a</b>	220 $\pm$ 10,19 <b>a</b>	234 $\pm$ 11,22 <b>a</b>	<b>3,58</b>	<b>0,003**</b>
	LS	0 <b>c</b>	0 <b>c</b>	1 $\pm$ 0,05 <b>c</b>	30,15 <b>c</b>	7,33 $\pm$ 0,36 <b>c</b>	13 $\pm$ 0,65 <b>c</b>	32,33 $\pm$ 1,61 <b>b</b>		
	LFR	0 <b>c</b>	0 <b>c</b>	0 <b>c</b>	1,66 $\pm$ 0,08 <b>c</b>	3,66 $\pm$ 0,18 <b>c</b>	5 $\pm$ 0,25 <b>c</b>	6,33 $\pm$ 0,31 <b>b</b>		
	FS	12,33 $\pm$ 0,61 <b>b</b>	32,33 $\pm$ 1,61 <b>b</b>	56,66 $\pm$ 2,83 <b>b</b>	90 $\pm$ 4,5 <b>b</b>	111,66 $\pm$ 5,58 <b>b</b>	138 $\pm$ 6,9 <b>b</b>	185,33 $\pm$ 9,26 <b>a</b>		
<b>F</b>	<b>Dose :</b>	<b>0,51</b>			<b>51,69 :</b>			<b>Traitement</b>	<b>F</b>	
<b><i>p</i></b>	<b>Dose :</b>	<b>0,47<sup>NS</sup></b>			<b>0,000***</b>			<b>Traitement</b>	<b><i>p</i></b>	

TRT : traitements ; Tem : Témoin ; LS : Lombricompost sec ; LFR ; Lombricompost frais ; FS : Fumier sec ; J1 : Jour 1 ; J2 : Jour 2 ; J3 : Jour 3 ; J4 : Jour ; J5 : Jour 5 ; J6 : Jour 6 ; J7 : Jour 7.

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

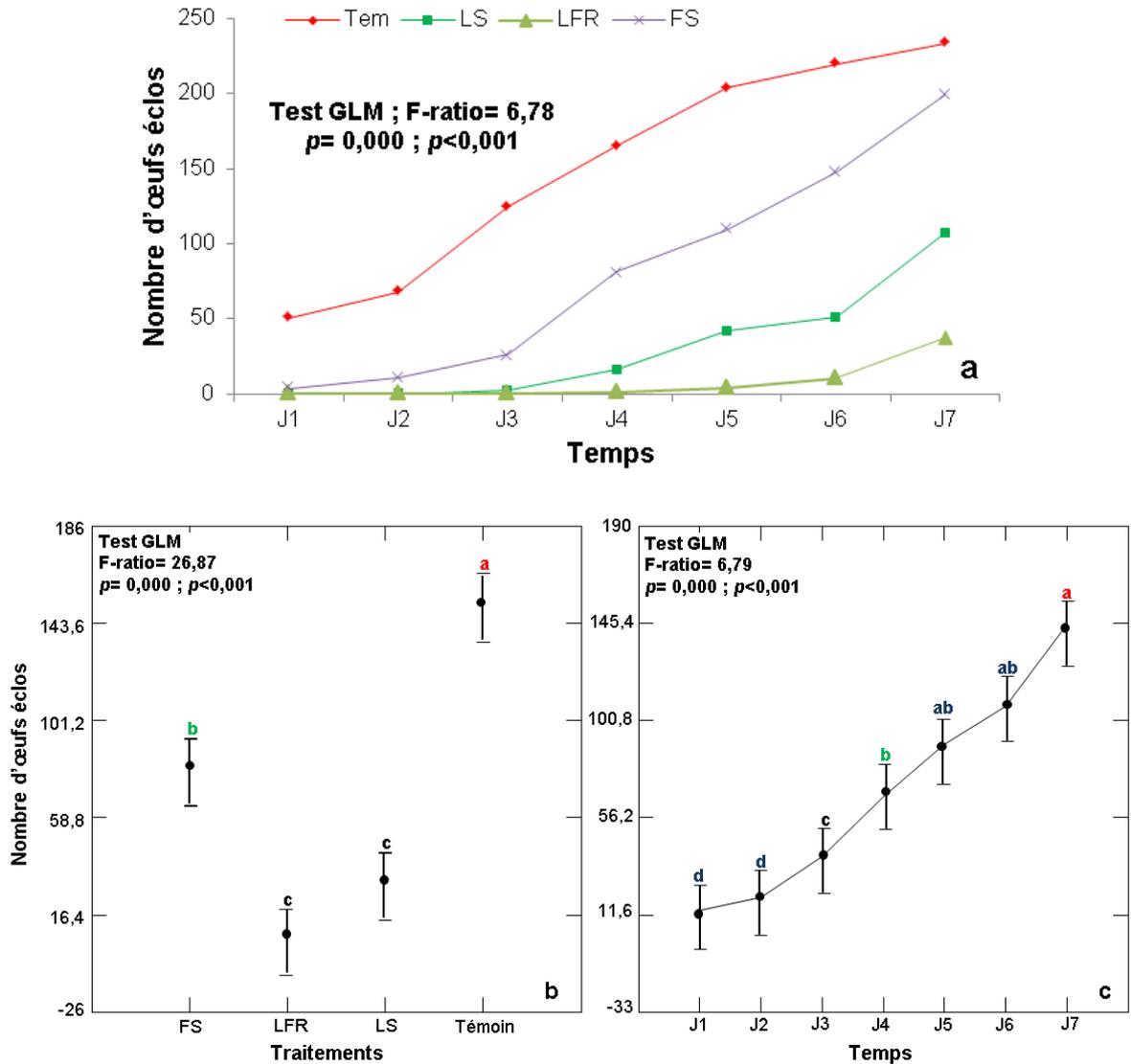
Pour mieux visualiser les biofertilisants les plus efficaces dans la réduction de la fertilité des œufs des *Meloidogyne*, nous avons présenté graphiquement la variation temporelle de la fertilité des œufs relative aux différents amendements renforcés par le test de la variance GLM pour chaque dose.

La figure IV.27.a. montre la variation temporelle de la fertilité des œufs de *Meloidogyne* sous l'effet des différents amendements biologiques à la forte dose (Dose1), les résultats relatifs révèlent que la fertilité des œufs varie d'une manière très hautement significative dans le temps (F-ratio=6,78 ;  $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ) et que cette dernière augmente avec le temps pour tous les types de biofertilisants, et la figure IV.27.c. confirme cette augmentation dans le temps et montre que la fertilité des œufs des *Meloidogyne* la plus élevée était enregistré au septième jours de l'essai (groupe homogène a).

Il paraît d'après les résultats que le lombricompost frais a montré une faible fertilité des œufs pendant les sept jours de l'essai par rapport aux autres traitements et au témoin

Cependant le fumier sec a montré une faible fertilité des œufs de *Meloidogyne* durant les premiers jours de l'essai avant qu'elle augmente au quatrième jour pour montrer une fertilité approchable à celle du témoin.

L'application du modèle linéaire général GLM sur les résultats relatifs à l'effet des biofertilisants sur la fertilité des œufs montre que cette dernière varie d'une manière très hautement significative selon les biofertilisants testés (F-ratio=26,87 ;  $p=0,000$  ;  $p<0,001$ , d'après les résultats exposés dans la figure IV.27.b. la fertilité des œufs la plus élevée après celle du témoin est enregistré chez les plants traités avec le fumier sec.(groupe homogène b), cependant les autres biofertilisants ont montré une faible fertilité (groupe homogène c).



**Figure IV.27 :** Modulation comparée de la fertilité des œufs sous l'effet des différents traitements à la forte dose (dose 1).

a, c : Variation temporelle de la fertilité des œufs ; b : effet des biofertilisants sur la fertilité des œufs.

TRT : traitements ; Tem : Témoin ; LS : Lombricompost sec ; LFR ; Lombricompost frais ; FS : Fumier sec ; J1 : Jour 1 ; J2 : Jour 2 ; J3 : Jour 3 ; J4 : Jour ; J5 : Jour 5 ; J6 : Jour 6 ; J7 : Jour 7.

En ce qui concerne la faible dose (Dose 2), la figure IV.28.a' qui expose la variation temporelle de la fertilité des œufs de *Meloidogyne* sous l'effet des différents amendements biologiques à la faible dose (Dose 2), révèlent que la fertilité des œufs varie d'une manière significative dans le temps (F-ratio=3,58 ; p=0,003 ; p<0,005) et que cette dernière augmente avec le temps pour tous les types de biofertilisants, la figure IV.28.c' confirme cette augmentation dans le temps et montre que la fertilité des œufs des *Meloidogyne* la plus élevée était enregistré au septième jours de l'essai (groupe homogène a).

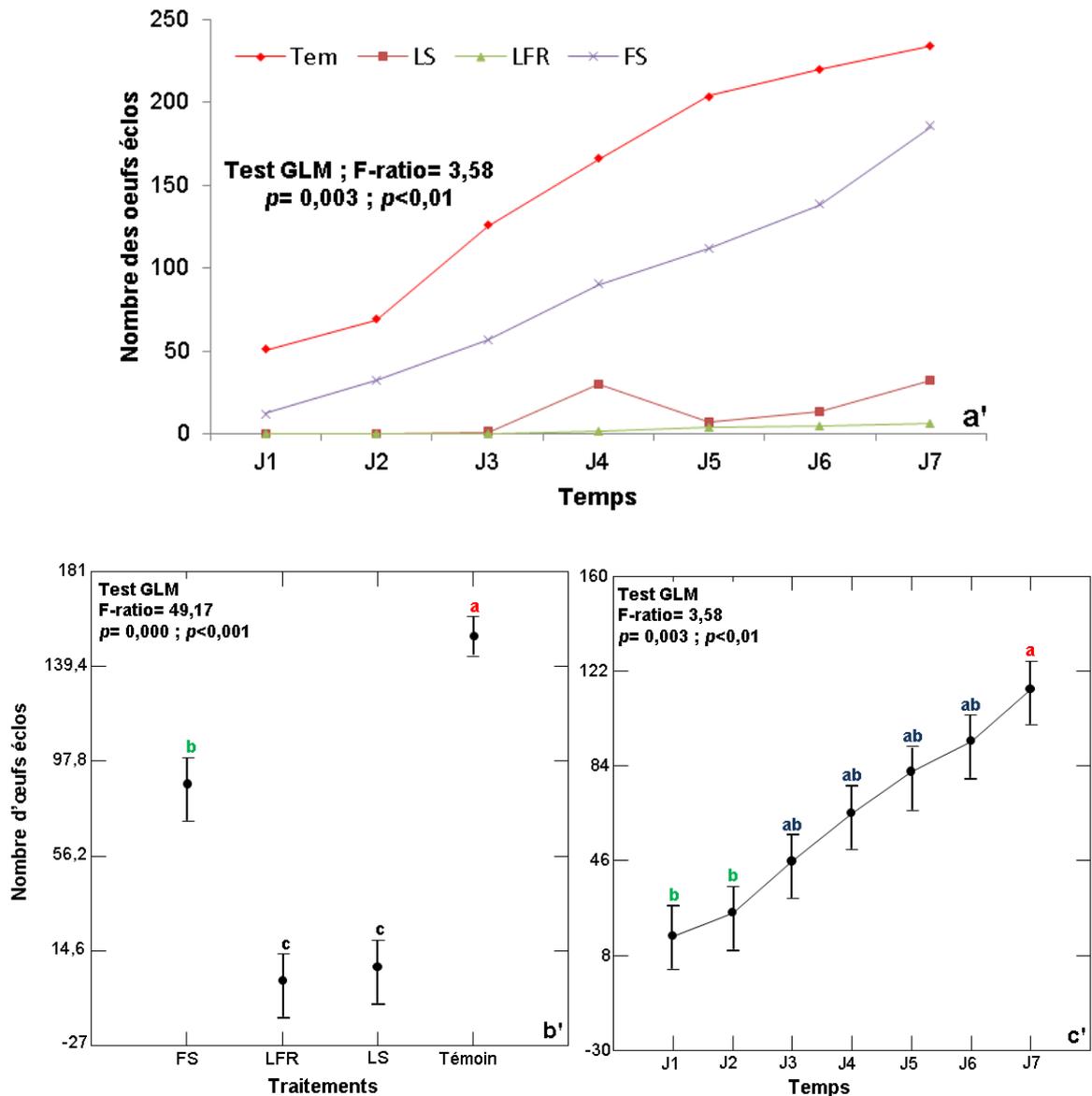
Les résultats révèlent que le lombricompost frais a montré une inhibition de la fertilité des œufs durant les sept jours de l'essai. Cependant la forme sèche du lombricompost a montré une faible fertilité des œufs de *Meloidogyne* les trois premiers jours puis a enregistré une faible augmentation au quatrième jour avant qu'elle montre de nouveau une chute au cinquième jour.

En revanche l'apport du fumier sec a entraîné une augmentation remarquable de la fertilité des œufs de *Meloidogyne* durant les sept jours de l'essai.

L'analyse de la variance de type GLM appliquée sur l'effet des différents amendements biologiques sur la fertilité des œufs des *Meloidogyne* au faible dose (Dose 2) (Figure IV.28.b') exposent une différence très hautement significative entre les différents traitements appliqués ( $F\text{-ratio}=49,17$  ;  $p=0,000$  ;  $p<0,001$ ).

Les résultats montrent que les deux formes du lombricompost fraîche et sèche ont diminué la fertilité des œufs de *Meloidogyne* (groupe homogène c).

En revanche le fumier sec a révélé une fertilité des œufs la plus élevée en comparaison aux autres biofertilisants (groupe homogène b).



**Figure IV.28 :** Modulation comparée de la fertilité des œufs sous l'effet des différents traitements à la faible dose (dose 2).

a', c' : Variation temporelle de la fertilité des œufs ; b' : effet des biofertilisants sur la fertilité des œufs.

TRT : traitements ; Tem : Témoin ; LS : Lombricompost sec ; LFR ; Lombricompost frais ; FS : Fumier sec ; J1 : Jour 1 ; J2 : Jour 2 ; J3 : Jour 3 ; J4 : Jour ; J5 : Jour 5 ; J6 : Jour 6 ; J7 : Jour 7.

#### IV.2.3. Comparaison entre l'activité nématocide des amendements organiques d'origine animale et végétale

Cette partie des résultats est consacrée à la présentation de la comparaison entre l'effet de l'ensemble des amendements biologiques d'origine végétale et animale sur la fluctuation des paramètres du développement des *Meloidogyne*. Les résultats relatifs à chaque paramètre sous l'effet des

biofertilisants végétal et animal et leurs doses, ainsi que les probabilités obtenues par les Tests Wilcoxon et Monte Carlo sont exposés dans le tableau IV.18.

La comparaison des moyennes par paire fait ressortir l'effet individualisé et significatif des biofertilisants à base d'animale sur la structuration populationnelle des *Meloidogyne*. Les probabilités obtenues par les tests de Wilcoxon et de Monte Carlo illustrent la suprématie des biofertilisants à base d'animale par rapport à ceux de base végétale quant à leur capacité à réduire significativement les abondances des paramètres du développement des *Meloidogyne* (nombre de galle, de femelle, de mâle, de sac vide, de masses d'œuf et nombre d'œufs).

En ce qui concerne l'effet de la dose le même effet est observé avec la faible et la forte dose des biofertilisants d'origine animale et végétale testés (Dose 2 et Dose 1).

**Tableau IV.18** : Comparaison par paire (Moyenne  $\pm$  standard erreur) de l'activité nématicide des amendements organiques d'origine animale et végétale.

	Témoïn	DOSE 1		DOSE 2	
		VGTL	ANML	VGTL	ANML
<b>Nbre de galle</b>	33,66 $\pm$ 1,68	10,67 $\pm$ 0,53 <b>a</b>	6,23 $\pm$ 0,31 <b>b</b>	12,70 $\pm$ 0,63 <b>a</b>	6,28 $\pm$ 0,31 <b>b</b>
Test Wilcoxon		0,0012**		0,00015***	
Test Monte Carl		0,0008***		9x10 <sup>-5</sup>	
<b>Nbre femelle</b>	10,83 $\pm$ 0,54	4,42 $\pm$ 0,22 <b>a</b>	2,78 $\pm$ 0,13 <b>b</b>	4,70 $\pm$ 0,23 <b>a</b>	2,39 $\pm$ 0,11 <b>b</b>
Test Wilcoxon		0,0138*		0,0054**	
Test Monte Carl		0,0129*		0,0043**	
<b>Nbre de Mâle</b>	0,66 $\pm$ 0,03	1,82 $\pm$ 0,09 <b>a</b>	0,89 $\pm$ 0,04 <b>b</b>	1,45 $\pm$ 0,07 <b>a</b>	0,89 $\pm$ 0,04 <b>b</b>
Test Wilcoxon		0,0101*		0,0431*	
Test Monte Carl		0,0088**		0,0446*	
<b>Nbre masses d'œufs</b>	9,33 $\pm$ 0,46	3,39 $\pm$ 0,16 <b>a</b>	1,83 $\pm$ 0,09 <b>b</b>	3,76 $\pm$ 0,18 <b>a</b>	1,44 $\pm$ 0,07 <b>b</b>
Test Wilcoxon		0,0056**		0,00092***	
Test Monte Carl		0,0046**		0,00051***	
<b>Nbre sac vides</b>	1,33 $\pm$ 0,06	2,48 $\pm$ 0,12 <b>a</b>	0,50 $\pm$ 0,02 <b>b</b>	2,27 $\pm$ 0,11 <b>a</b>	0,94 $\pm$ 0,04 <b>b</b>
Test Wilcoxon		0,00105**		0,0346*	
Test Monte Carl		0,00083***		0,0348*	
<b>Nbre œufs/5mas</b>	698,66 $\pm$ 34,93	226,97 $\pm$ 11,34 <b>a</b>	135,67 $\pm$ 6,78 <b>b</b>	240 $\pm$ 12 <b>a</b>	105,17 $\pm$ 5,25 <b>b</b>
Test Wilcoxon		0,0192*		0,0055**	
Test Monte Carl		0,0184*		0,0044**	

VGTL : traitements végétal ; ANML : Traitements animal ; Nbre : Nombre ; Carl : Carlo ; œufs/5mas : Œufs par 5 masses.

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

### IV.3. Relation entre les paramètres du développement des *Meloidogyne* et les fluctuations de l'expression végétative des plants de tomate sous l'effet des différents biofertilisants

Les variations des différents paramètres de développement des *Meloidogyne* ainsi que l'expression végétative des plants de tomate, ont été évaluées sous l'effet de différents biofertilisants à base de végétale et animale. Le tableau IV.19 fait ressortir à travers les valeurs du coefficient de *Pearson*, certaines affinités entre les différents paramètres étudiés.

Pour les plants témoins les résultats projetés dans le tableau IV.19 ne montre aucune corrélation entre les paramètres du développement des *Meloidogyne* et l'expression végétative des plants de tomate ( $p > 0,05$ ).

Concernant les biofertilisants d'origine végétale la croissance à la 3<sup>ème</sup> quinzaine et la croissance journalière sont corrélées positivement avec le nombre de galle, de femelle et des masses d'œufs et négativement avec le nombre de mâle ( $r = -0,38$ ,  $p = 0,001$  ;  $p < 0,01$ ) et les sacs vides ( $r = -0,29$ ,  $p = 0,01$  ;  $p < 0,01$ ), cependant aucune corrélation n'est enregistrée entre ces deux paramètres (la croissance à la 3<sup>ème</sup> quinzaine et la croissance journalière) et le nombre des œufs ( $p > 0,05$ ).

Pour le poids racinaire et aérien des plants de tomate les mêmes résultats signalent l'installation des corrélations négatives et positives avec les différents paramètres du développement des *Meloidogyne*, les corrélations négatives ont été enregistrées avec le nombre de femelle, des masses d'œufs et le nombre des œufs, cependant les corrélations positives sont installées avec le nombre des sacs vides, en revanche aucune corrélation n'est enregistrée entre ces deux paramètres (poids racinaire et aérien) et le nombre de galle et de mâle des *Meloidogyne*.

En revanche la production florale des plants de tomates sous l'effet des biofertilisants d'origine végétale ne montre aucune corrélation avec les paramètres du développement des *Meloidogyne* à l'exception de nombre de galle où s'est installée une corrélation positive ( $r = 0,23$ ,  $p = 0,03$  ;  $p < 0,05$ ).

En ce qui concerne les biofertilisants d'origine animale, les résultats montrent l'installation d'une corrélation positive entre la croissance des plants de tomate à la 3<sup>ème</sup> quinzaine et tous les paramètres du développement des *Meloidogyne* (nombre de galle, de femelle, de mâle, des masses d'œufs et des sacs vides) à l'exception de nombre des œufs ( $r=0,17$ ,  $p=0,23$  ;  $p>0,05$ ).

En revanche la croissance journalière des plants de tomate n'est corrélée avec aucun des paramètres du développement des *Meloidogyne* sauf le nombre de mâle où nous avons enregistré une corrélation positive ( $r=0,34$ ,  $p=0,02$  ;  $p<0,05$ ).

Cependant des corrélations positives et négatives ont été installées entre le poids racinaire et les paramètres du développement des *Meloidogyne*, les corrélations négatives sont installées avec le nombre de femelle, des masses œufs et des œufs, alors que la seule corrélation positive est installée avec le nombre des sacs vides ( $r=0,57$ ,  $p=0,0001$  ;  $p<0,05$ ). Concernant le poids aérien est corrélé positivement seulement avec le nombre des mâles et des secs vides.

En ce qui concerne la production florale, les résultats révèlent que cette dernière est corrélé négativement avec tous les paramètres du développement des *Meloidogyne* (nombre de galle, de mâle, des masses d'œufs, des sacs vides et des œufs) à l'exception de nombre de femelle ou nous avons enregistré l'installation d'aucune corrélation ( $p>0,05$ ).

**Tableau IV.19 :** Coefficients de corrélation (C.C.)  $r$  de Pearson et probabilités associées pour l'interaction des paramètres du développement des *Meloidogyne* et l'expression végétative des plants de tomate.

Traitement	paramètre du développement des <i>Meloidogyne</i>	Croissance à la 3 <sup>ème</sup> quinzaine		Croissance journalière		Poids racinaire		Poids aérien		Production florale	
		$p$	C.C.	$p$	C.C.	$p$	C.C.	$p$	C.C.	$p$	C.C.
Témoïn	Nombre de galle	0,60	0,40	0,79	0,21	0,21	0,79	0,57	-0,43	0,54	0,46
	Nombre de femelle	0,75	0,25	0,31	0,69	0,29	-0,71	0,34	0,66	0,22	-0,78
	Nombre de Mâle	0,60	0,40	0,79	0,21	0,21	0,79	0,57	-0,43	0,54	0,46
	Nombre des masses d'œufs	1,00	0,00	0,57	0,43	0,10	-0,90	0,30	0,70	0,20	-0,80
	Nombre des sacs vides	0,60	0,40	0,79	0,21	0,21	0,79	0,57	-0,43	0,54	0,46
	Nombre des œufs /5 masses	0,60	0,40	0,79	0,21	0,21	0,79	0,57	-0,43	0,54	0,46
végétal	Nombre de galle	0,05	0,21	0,04	0,22	0,83	-0,02	0,38	0,09	0,03	0,23
	Nombre de femelle	0,00	0,32	< 0,0001	0,42	< 0,0001	-0,42	0,00	-0,35	0,17	0,15
	Nombre de Mâle	0,00	-0,38	0,00	-0,36	0,80	0,03	0,29	0,11	0,24	-0,13
	Nombre des masses d'œufs	< 0,0001	0,41	< 0,0001	0,44	0,00	-0,38	0,00	-0,39	0,39	0,09
	Nombre des sacs vides	0,01	-0,29	0,01	-0,26	< 0,0001	0,48	< 0,0001	0,52	0,73	0,04
	Nombre des œufs /5 masses	0,11	0,17	0,13	0,16	< 0,0001	-0,43	0,00	-0,40	0,56	0,06
Animal	Nombre de galle	0,03	0,31	0,53	0,09	0,30	-0,15	0,29	0,15	0,00	-0,42
	Nombre de femelle	0,02	0,34	0,15	0,21	0,00	-0,45	0,24	0,17	0,07	-0,26
	Nombre de Mâle	< 0,0001	0,59	0,02	0,34	0,61	-0,07	< 0,0001	0,64	0,05	-0,29
	Nombre des masses d'œufs	0,03	0,32	0,17	0,20	0,00	-0,44	0,35	0,14	0,04	-0,30
	Nombre des sacs vides	0,00	0,46	0,36	0,14	< 0,0001	0,57	< 0,0001	0,61	0,03	-0,32
	Nombre des œufs /5 masses	0,23	0,17	0,79	0,04	0,03	-0,32	0,95	0,01	0,01	-0,38

Carré couleur jaune: les probabilités ( $p < 0,05$ ) ; Carré couleur rose: les probabilités sont marginales ; Carré couleur vert: les corrélations positives ; Carré couleur bleu : les corrélations négatives.

## **CHAPITRE V**

### **DISCUSSION.**

Les *Meloidogyne* constituent une menace sérieuse pour toutes les cultures maraîchères sous abris-serres aussi bien dans les zones littorales que dans les zones sahariennes. La lutte chimique est le moyen le plus usité contre ce parasite cependant leur utilisation est très néfaste à la santé humaine ainsi qu'à l'environnement s'expliquant par l'accumulation des résidus toxiques au niveau des récoltes. Il devient par conséquent, indispensable de contrôler biologiquement ces organismes. Le recours à exploiter les molécules nématocides naturelles à partir de micro-organismes ou de plantes ainsi que l'utilisation d'amendements organiques offrent des avantages écologiques, économiques et agronomiques de faite qu'ils peuvent activer préventivement les réactions de défense des plantes et qui conduit à l'augmentation de sa résistance aux bioagresseurs. Dans cette optique, et vu l'importance des amendements dans le développement des cultures et la régulation des bioagresseurs nous avons essayé de mettre en évidence l'efficacité des différents amendements d'origine végétale et animale sur l'expression végétative des plants de tomate et sur le développement et l'agressivité des nématodes à galle du genre *Meloidogyne*.

#### V.1. Evaluation de l'effet des amendements organiques apportés sur le développement des nématodes à galle du genre *Meloidogyne*

Les résultats obtenus ont montré un effet satisfaisant et très remarquable de tous les traitements d'origine animale et végétale dans la régulation des infestations des nématodes à galles en comparaison avec le témoin. Contrairement à l'expression végétative des plants de tomate, les amendements organiques d'origine animale s'avèrent les plus efficaces (Tableau IV.18). Cet effet restrictif varie en fonction du type de traitement et de sa dose. La réduction des taux d'infestation des racines de tomate par les larves L2 de *Meloidogyne* en relation avec l'utilisation des différents apports de traitements biologiques font ressortir l'effet nématocide des biofertilisants testés.

L'utilisation d'amendements organiques du sol est une pratique culturelle traditionnelle visant à améliorer la fertilité et la structure du sol; il est également connu comme méthode de lutte contre les maladies des sols, y compris les nématodes phytoparasites. Les amendements organiques peuvent également être appliqués dans les systèmes d'agriculture biologique ou durable et permettre aux agriculteurs conventionnels de réduire leur utilisation de nématicide [19]. DIOMANDE [224] affirme que l'apport d'engrais ou les traitements nématicides peuvent doubler le rendement, de culture de riz infesté par *Meloidogyne incognita* à travers la suppression de ce nématode. Alors que MELAKABARHAN et al [225] expliquent l'effet nématicide des engrais d'une part par l'augmentation de la tolérance des plantes aux maladies et d'autre part par l'induction du tissu végétal à développer une cuticule plus épaisse et plus sclérenchymé pour rendre la pénétration des nématodes difficile [226]. Alors que l'efficacité des amendements organiques dans la lutte contre les nématodes parasites des plantes, en particulier les nématodes à galles du genre *Meloidogyne* a été rapportée par plusieurs auteurs [227 ; 228 ; 229 ; 230 ; 231 et 232].

#### V.1.1. Effet sur le degré d'infestation par les *Meloidogyne* (Nombre de galles)

Les résultats de comptage du nombre de galles ont montré que tous les traitements utilisés en amendement du sol ont réduit significativement les infestations de tomate par les *Meloidogyne*. Cependant, le nombre de galles le plus faible observé avec les amendements organiques d'origine végétale est enregistré sur les racines de tomates traitées avec les algues rouges, la sauge fraîche et les grignons d'olive secs, alors que pour les amendements organiques d'origine animale le nombre de galle le plus faible est marqué avec le thé du lombricompost, lombricompost fermenté, chitine de crevette, lombricompost sec et frais dont nous avons marqué l'installation d'aucune galle avec le thé du lombricompost et lombricompost fermenté.

Les résultats relatifs à l'utilisation de la *Salvia officinalis*, grignons d'olive et l'*Urginea maritima* montre l'effet nématicide de ces biofertilisants sur les larves L<sub>2</sub> de *Meloidogyne*. Ces résultats rejoignent les travaux de MCSORLEY et al [233] qui

signalent que l'incorporation de résidus végétaux augmente généralement le nombre de nématodes vivants libres, mais l'augmentation de certains genres de nématodes peut être influencée par le type de résidus végétaux qui peuvent à leur tour affecter les organismes antagonistes, comme les champignons parasites [19]. L'utilisation des grignons d'olive comme biocide exprime un décroissement des maladies causées par les nématodes mais les recherches restent toujours en voie d'exploitation [234]. L'application des grignons d'olive dans un sol infesté par les *Meloidogyne spp.* provoque la réduction du nombre de galles sur les racines de tomate [60] de même HOSSAIN et al [235] ont enregistré un effet toxique du tourteau d'olives sur la population de *Meloidogyne spp.* Cependant et dans le même contexte ABBASI et al [236] révèlent que les tourteaux de neem servent comme un engrais, et plusieurs études ont signalé leur suppression des nématodes et que les tourteaux sont riches en nutriments et d'autres composés nématocides, comme l'ammoniac, qui peuvent être produits pendant la dégradation du tourteau, pourraient être en cause.

La réduction des paramètres de développement de *Meloidogyne javanica* (indice de galles et taux de multiplication) par amendement du sol est attribuée à des molécules toxiques à effet nématocide présentes dans le sol et à la toxicité du matériel en décomposition vis-à-vis des nématodes du sol. En effet, durant le processus de décomposition, le sol s'enrichit en produits phénoliques et en azote, substances nématotoxiques très actives contre les nématodes parasites [237 ; 238 et 229] l'analyse des substances produites lors de la décomposition des amendements dans les sols a permis également d'identifier en dernière phase de décomposition les éléments N.P.K. qui stimulent non seulement la croissance de la plante mais aussi le développement des populations de nématodes saprophages et des parasites naturels ou prédateur de nématodes [239]. Selon ROSSNER et al [240], l'effet nématotoxique de la matière organique incorporée au sol, est dû à la hausse de la température pendant les premières phases de sa décomposition.

Par ailleurs nos résultats relatifs à l'utilisation des algues marines rejoignent les travaux de PARACER et al [241] qui signalent que les algues marines rouges peuvent être utilisées comme amendement de sol à raison de 0,5 à 1% par poids de sol pour lutter contre les nématodes. Les concentrés d'algues rouges ont également la capacité

d'améliorer la tolérance au stress chez nombreuses espèces végétales par augmentation de la concentration des molécules bioactives, notamment des antioxydants [242 et 243]. BALOCH et *al* [244] ont montré que le mélange du sol avec des poudres de macro-algues marines de *Spatoglossum variable*, *Polycladia indica* et *Melanothamnus afaqhusainii* supprime d'une manière significative l'infection par le nématode à galles *Meloidogyne incognita* attaquant la pastèque et l'aubergine. Cependant les observations de SULTANA et *al* [245] soutiennent bien la conclusion précédente et ont rapporté que les poudres sèches des trois macro-algues marines, *S.variable*, *M. afaqhusainii* et le thon *Halemida* ont plus ou moins des effets suppressifs contre *M. incognita* par rapport au toxique nématicide chimique (carbofuran) à la fois en serre et au champ. Des résultats similaires ont également été documentés sur la tomate et les plants de tournesol en réduisant les galles des nématodes sur les racines et la pénétration des nématodes dans les systèmes racinaires [246]. De leur tour WU et *al* [247] ont démontré que l'inoculation du sol avec les bio-stimulants d'algues agricoles pourrait réduire l'invasion de racines de tomates par les juvéniles de deuxième stade des nématodes à galles *M. javanica* et *M. incognita*.

Selon PEREZ [248], la richesse de l'algue rouge en agar lui confère un rôle dans la protection des plantes cultivées. Par ailleurs l'effet nématicide des algues marines est lié à la composition chimique de ces dernières qui sont une source importante des composés bioactifs nématotoxiques [249]

En ce qui concerne l'effet de la chitine sur le nombre de galles nous avons comparé nos résultats à ceux de MIAN et *al* [250], SPIEGEL et *al* [251], GOTLIEB et *al* [252] et DE JIN et *al* [253] qui révèlent que les matériaux chitineux ont attiré une attention particulière pour leur lutte contre les nématodes du sol, car la chitine est présente dans les coquilles d'œufs de nématodes. L'épandage de ces matières dans le sol augmente le nombre de microorganismes chitinolytiques et l'activité de la chitinase dans le sol, ce qui à son tour a des effets néfastes sur les nématodes. De son côté OKA [19] dévoile que l'amendement du sol avec des matériaux chitineux a entraîné la suppression des nématodes par au moins deux mécanismes différents ; Premièrement, la suppression des nématodes est apparue peu de temps après

l'application de la modification en raison des composés azotés toxiques, principalement l'ammoniac et l'acide nitreux [251]. Deuxièmement, une suppression qui a duré même après l'épuisement des composés azotés toxiques ou qui n'est apparue que quelques mois plus tard pourrait être causée par l'augmentation du nombre et de l'activité des organismes antagonistes [254 ; 251; 255 et 256].

Dans des sols et rhizosphères amendés à la chitine, la suppression des nématodes pouvait être associée non seulement à des changements microbiens dans le sol et la rhizosphère, mais aussi avec des changements dans la communauté bactérienne dans le tissu végétal [19]. Il s'avère d'après ces résultats que le contrôle des infestations de *Meloidogyne* dans des sols amendés à la chitine peut être dû à des molécules toxiques à effet nématocide produites par ces apports dans le sol. SPIEGEL et al [251] affirment que cette dernière stimule les microorganismes responsables de la décomposition de la chitine et ces derniers s'attaquent également à la chitine des nématodes entraînant ainsi leur mort. D'autre part les composés oligomériques de la chitine et du chitosane sont de bon éliciteurs des mécanismes de défense des plantes. Ils leur confèrent une résistance induite systémique face aux bioagresseurs [257]. Il a été démontré que le chitosane et ses dérivés, extraits de carapaces de crabes ou de crevettes, appliqués sur les tissus de plantes provoquent l'induction de plusieurs mécanismes biologiques chez les plantes qui sont similaires à ceux observés lors d'infection par des pathogènes [258]. Comme par exemple l'accumulation de phytoalexines, l'augmentation de la lignification dans les tissus ces processus sont impliqués dans la résistance aux maladies en agissant soit sur la germination ou sur la croissance des agents pathogènes [257]. Toujours en termes de réduction des taux d'infestation, l'utilisation du fumier des ovins et contrairement à nos résultats (faible activité), SINGH et al [259] ont observé que le fumier de vache, diminuent les populations de *M. incognita* sur la tomate tout en augmentant la croissance des plants et réduit les attaques de champignons pathogènes. De même les investigations de plusieurs auteurs [238 ; 230 et 231] ont démontré l'efficace des fientes de volailles dans la réduction des nématodes par rapport au fumier de bovin qui est moindre. Cette importante activité est due au fait que les fientes de volailles contiennent plus d'azote que celles des autres animaux. D'après OKA et al [260],

FARAHAT et al [261] et KARMANI et al [262] il existe une corrélation positive entre la teneur en azote de la matière organique et son efficacité sur les nématodes parasites des plantes.

Par ailleurs les résultats relatifs à l'effet des différents types du lombricompost sur le taux d'infestation des plants de tomate montrent un effet très remarquable, cependant les travaux sur l'effet du vermicompost sur les *Meloidogyne* sont nombreux [263; 264 ; 265 ; 266 ; 267 ; 268 ; 269 ; 27 ; et 269], bien que les mécanismes responsables de ces changements ne sont encore que spéculatifs. En référant à ces résultats, il s'avère probablement que le contrôle des infestations des nématodes à galles par utilisation du vermicompost sous ses différentes formes et doses a stimulé les défenses naturelles des plants de tomate qui à leur tour ont pu synthétiser des molécules ayant agi sur le pouvoir biotique de ces phytoparasites. Cependant, SHOVA et al [27], ont affirmé que les mécanismes d'action par lequel le thé de vermicompost pourrait supprimer la pénétration des larves de *M. incognita* dans les racines et l'éclosion des œufs de cette espèce. Il pourrait être dû à l'induction de la résistance de la plante hôte par des *rhizobactéries* bénéfiques, ou la sécrétion d'enzymes hydrolytiques telles que la chitinase qui provoque l'hydrolyse des œufs de nématodes ; ou une protéase qui hydrolyse les protéines protégeant la couche de chitine de la coquille d'œuf de nématode, exposant ainsi la couche de chitine à la chitinase. Le vermicompost améliore les propriétés du sol et augmente le contenu phénolique des racines des plantes [269].

D'autre part dans notre étude nous avons utilisé le vermicompost en amendement, de cet effet on peut lier le contrôle des infestations par des larves de *Meloidogyne* à la présence des molécules toxiques à effet nématocide libérées par les amendements biologiques dans le sol. Cette hypothèse rejoint les travaux de SERFOJI et al [267], qui signalent que les nématodes peuvent être contrôlés par la libération de substances toxiques telles que l'hydrogène, le sulfure, d'ammoniac et les nitrites pendant la décomposition des amendements. Par ailleurs, plusieurs rapports ont documenté des activités bactériennes plus diverses et plus élevées dans les sols traités au thé de vermicompost que ceux non traités. La puissance du vermicompost dans le contrôle des nématodes phytoparasites pourrait être attribuée à sa grande

capacité à activer les communautés microbiennes du sol qui ont un effet antagoniste envers les nématodes phytoparasites [270 et 271]. De son tour RAMESH et al [268] ont montré que les extraits de lombricompost ont été efficaces en inhibant les pénétrations des larves de nématodes et NORMAN et al [266] ont pu déduire que le lombricompost supprime d'une manière significative les populations de nématodes parasites des plantes. De leur tour XIAO et al [272], dénotent que le vermicompost a réduit de 42 à 77% la formation de galles des racines de certains cultivars de tomates infectés par *M. incognita*.

#### V.1.2. Effet sur le développement des adultes (mâles et femelles)

Nos résultats affichent une diminution discernable du développement des adultes mâles et femelles avec l'application des différents biofertilisants. Cependant, les trois types d'algues rouges, le lombricompost fermenté, le thé du lombricompost ainsi que la chitine de crevette n'ont enregistré la présence d'aucune femelle (nombre de femelle=0) cependant les trois types d'algues, le bulbe frais de *l'Urginea*, le grignon d'olive sec et les feuilles sèches de *l'Urginea* ont augmenté le nombre de mâle par rapport au témoin

En plus, nous avons observé la présence de nombreuses galles vides. Ces dernières étaient occupées par des mâles, ces observations seraient probablement liées au pouvoir de ces amendements à masculiniser les larves infestantes L<sub>2</sub> de *Meloidogyne*. Les travaux sur l'expression des sexes chez les nématodes à galles sont peu documentés, cependant de nombreux auteurs attribuent l'apparition des mâles et la dynamique des populations chez les *Meloidogyne* aux conditions défavorables du milieu [273 ; 125 et 274]. PRATX [126], Affirme que les mâles de *Meloidogyne* étaient peu abondants dans des racines de variété sensible tandis que dans celles de variétés plus résistantes, leurs nombre augmentent par rapport à celui des femelles. En se référant à ces résultats on suppose que ces amendements ont contribué à une induction de résistance des plantes hôte par les activités bactériennes, ce qui a conduit à une masculinisation des larves de *Meloidogyne*.

### V.1.3. Effet sur la fécondité des femelles

En général les amendements testés ont réduit significativement la fécondité des femelles de *Meloidogyne* et le nombre moyen des œufs pondus par femelle. Parmi les traitements qui se sont montrés très actifs sur ce paramètre biologique (fécondité) sont les trois types d'algues marines, le lombricompost fermenté, le thé du lombricompost, la sauge fraîche, bulbe frais de *l'Urginea* ainsi que la chitine de crevette. Nos résultats sont comparables à diverses investigations qui se sont intéressées aux amendements organiques d'origine végétale telle que les espèces d'Asteraceae. Les feuilles de *Tagetes patula* [275], de *Chrysanthemum coronarium* [276 et 277], les fleurs *C. segetum*, *Calendula maritima*, *C. officinalis* et *C. suffruticosa*, ainsi que les fleurs, les racines et les graines de *Chrysanthemum coronarium* incorporés au sol infesté par les *Meloidogyne* réduisent sensiblement leur taux de reproduction et l'infestation des plants [277]. Les apports au sol de la poudre d'*Artemisia herba alba* diminuent sensiblement la fécondité des femelles de *Meloidogyne* [23]. Après ces résultats nous constatons qu'il est probable que la présence des principes actifs toxiques après la décomposition des apports dans le sol soit la cause de la réduction de la fécondité. Selon STIRLING [278], la fertilisation accrue des composés phénoliques dans le sol les plants de tomate cultivés dans ce type de sol voient leur niveau des phénols totaux augmenté. Les infestations de ces plants par les larves de *M. javanica* engendrent des femelles dont la fécondité a diminué de manière significative. De même CASTAGNONE [279] a pu démontrer que la matière organique peut provoquer une baisse du potentiel reproducteur des femelles de *Meloidogyne incognita* sur tomate.

### V.1.4. Effets des traitements sur la fertilité des œufs des *Meloidogyne*

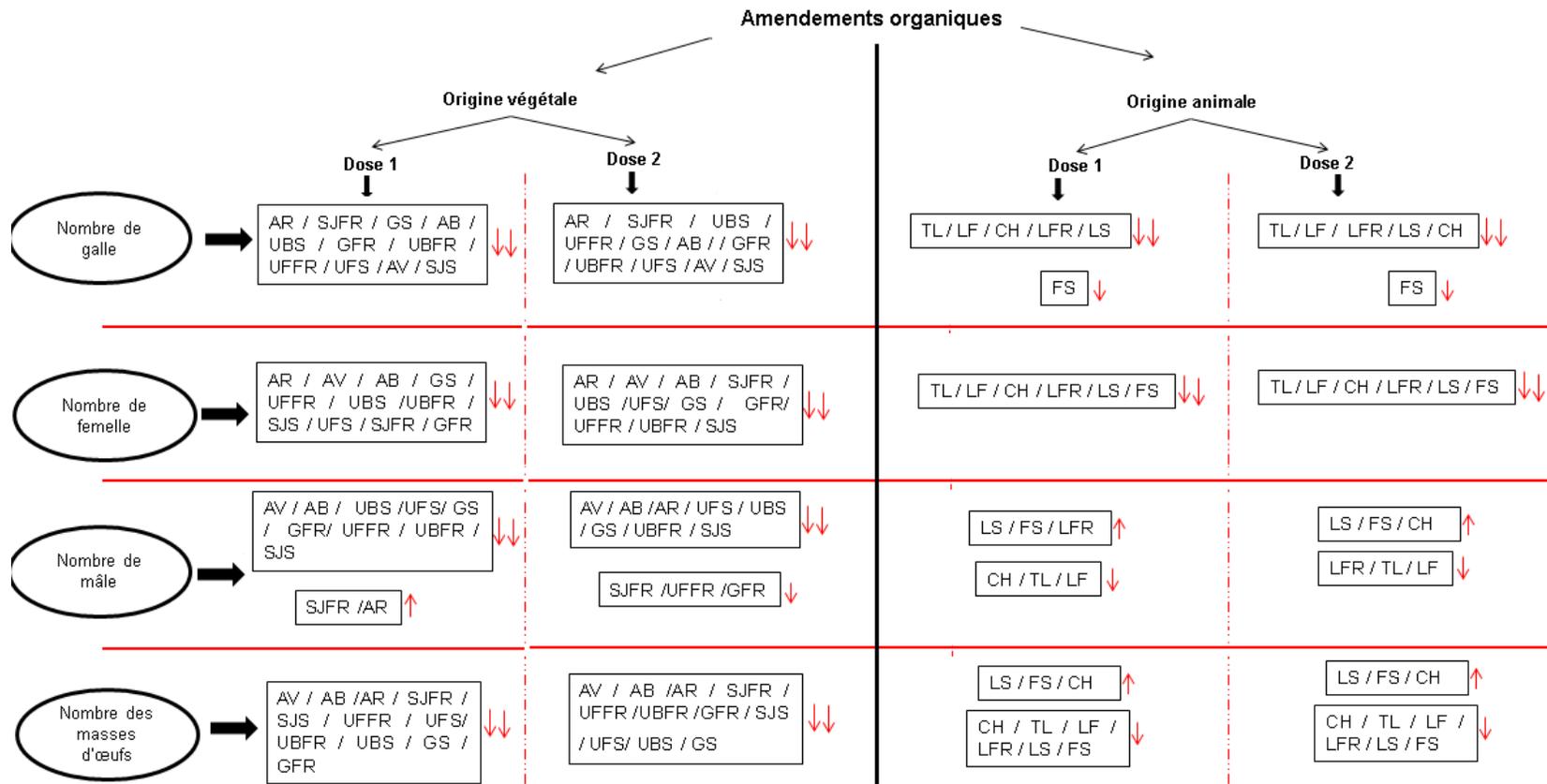
Les résultats obtenus avec les biofertilisants, indiquent une diminution de la fertilité des œufs de *Meloidogyne*. Cette réduction varie en fonction des traitements. La faible éclosion est enregistrée pour les plants traités avec le bulbe et les feuilles fraîches de *l'Urginea*, la sauge fraîche et les deux formes sèches et fraîches du vermicompost. Cependant l'application du lombricompost frais inhibe fortement la

fertilité des œufs. Nos résultats rejoignent l'étude de DIOMANDE [224] qui affirme que la fertilisation chimique des cultures de riz réduit l'éclosion des masses d'œufs *Meloidogyne incognita*. Par ailleurs, les essais *in vitro* de KERKENI [229] signalent que les extraits de compost de fumier réduisent l'éclosion des œufs de *M. incognita* après 48 et 96 h d'incubation. La récente contribution de NGALA et al [280] sur les essais *in vivo* contre les nématodes à galles *Meloidogyne chitwoodi* et *M. hapla* ont révélé que les extraits d'algues issues des macroalgues brunes, *Ascophyllum nodosum* et *Ecklonia maxima* ont la capacité de nuire à l'éclosion des œufs et aux perceptions sensorielles. Il a également confirmé que l'exposition continue des masses œufs de *M. chitwoodi* à 50 et 100% d'extraits aqueux alcalins d'*A. nodosum* réduit considérablement le pourcentage final d'éclosion. De plus, sur des plaques d'agar, des juvéniles<sup>2</sup> (J2) de *M. chitwoodi* pré-exposés à *A. nodosum* ou *E. maxima* ont montré moins d'attrait pour la diffusion de racine de tomate. La pré-exposition de 24 h à *A. nodosum* a réduit l'ineffectivité de *M. chitwoodi* et *M. hapla*.

PANDEY et KALRA [282], ont observé que le thé du vermicompost (extraits aqueux) de différentes sources végétales inhibait l'éclosion des œufs du nématode cécidogène, *M. incognita*. Le lombricompost pourrait supprimer la pénétration aux racines ou l'éclosion de *M. incognita* et qui pourrait être dû à la sécrétion d'enzymes hydrolytiques telles que la chitinase qui provoque l'hydrolyse des œufs de nématode ou une protéase qui hydrolysent les protéines protégeant la couche de chitine de la coquille d'œuf de nématode, exposant ainsi la couche de chitine à la chitinase [27].

La réduction de nombre d'œufs éclos par les amendements testés pourrait s'expliquer d'une part par la libération de composés au cours de leur dégradation ce qui induit des changements du milieu qui devient défavorable au développement des nématodes. Cette première hypothèse rejoint les recherches d'OKA [19] qui rapporte que les amendements organiques peuvent changer les propriétés physiques du sol, qui alternativement peuvent réduire l'éclosion, les mouvements et la survie des nématodes. Soit d'une autre part par l'effet des biofertilisants (amendements) autant que biostimulateur des défenses naturelles des plantes qui vont renforcer la résistance des plantes. Cette deuxième hypothèse est en concordance avec les travaux de VALLAD [282] qui affirme que la mortalité des œufs est sous le contrôle

de certains gènes de défense chez la plante lorsque qu'elles sont exposée à un pathogène.



**Figure V.1 :** Schéma récapitulatif de l'effet des différents amendements testés sur le développement des *Meloidogyne*.

GS : Grignon sec ; GFR : Grignon frais ; UFS : *Urginea* feuille sèche; UFFR : *Urginea* feuille fraîche; UBS : *Urginea* bulbe sèche ; UBFR : *Urginea* bulbe fraîche ; SJS : Sauge sèche ; SJFR : Sauge fraîche ; AV : Algue verte ; AB : Algue brune ; AR : Algue rouge ; LS : Lombricompost sec ; LFR : Lombricompost frais ; FS : Fumier sec; CH Chitine de crevette; TL : Thé de lombricompost ; LF: Lombricompost fermenté.

Deux flèches : effet favorable ; une flèche : effet acceptable ou se rapproche du témoin ; une flèche vers le haut : augmentation ; une flèche vers le bas : diminution

## V.2. Evaluation de l'effet des amendements organiques apportés sur l'expression végétative des plants de tomate var. *Marmande*

L'effet des amendements apportés sur les paramètres de croissance considérés a montré un effet biofertilisant de la majorité des amendements organique de nature végétale, ainsi qu'il paraît d'après ces mêmes résultats que les biofertilisants d'origine végétale semblent plus efficaces que ceux d'origine animale. Pour les amendements d'origine végétale leur effet sur l'expression végétative des plants de tomate varie selon la nature de l'amendement apporté, il y a ceux qui ont montré un effet favorable sur la croissance en hauteur, d'autre ont montré un effet favorisé sur le poids racinaire des plants, alors que certains ont révélé des effets positifs sur le poids aérien des plants de tomate, cependant la majorité des amendements apportés ont favorisé la production florale des plants de tomate. En ce qui concerne les traitements appliqués d'origine animale n'ont pas attribué à un effet favorable sur les différents paramètres de croissance des plants de tomate à l'exception de quelques amendements qui ont favorisé la croissance en hauteur, le poids racinaire et aérien en comparaison avec le témoin, cependant ces amendements ont présenté un effet positif sur la production florale des plants de tomate et qui était plus importante chez les amendements d'origine animale que ceux d'origine végétale (Tableau IV.9).

### V.2.1. Effet des amendements organiques apporté sur la croissance en longueur des plants de tomate

Les résultats obtenus par l'utilisation des grignons d'olive, *Urginea maritima* et *Salvia officinalis* montre l'effet biofertilisant de ces amendements organiques. Ce constat rejoint les résultats de plusieurs auteurs qui révèlent que l'incorporation de la matière organique améliore les propriétés physicochimiques du sol ce qui favorisent la croissance et le développement des plantes [283]. De même ANNABI et al [284], ISMAIL et al [283], VEDIE [285] et VAN SCHÖLL [286] ont montré également que l'incorporation de la matière organique et les engrais verts améliore les propriétés physicochimiques et la capacité de rétention en eau et contribuer à l'amélioration de la stabilité structurale des sols, stimulent l'activité biologique et permettent une

meilleure disponibilité des éléments fertilisants ce qui favorisent la croissance et le développement des plantes. Par ailleurs l'incorporation au sol d'engrais verts améliore la croissance journalière des plants de tomate [287]. Cette stimulation de croissance obtenue chez les plants traités avec les différents amendements organiques revient à la disponibilité de l'humus dans le sol, et la présence de ces substances humiques est due à l'incorporation de la matière organique et sa dégradation dans les sols. De nombreux rapports dans la littérature révèlent que les substances humiques peuvent, dans certaines conditions, stimuler la croissance des plantes et peuvent améliorer la santé des plantes mesurée en termes d'augmentation de la longueur [288].

Toujours en termes de croissance en hauteur, le vermicompost frais a stimulé cette dernière en comparaison avec le témoin, mais pas d'une manière remarquable ; alors que plusieurs travaux ont signalé l'effet du vermicompost dans la stimulation de croissance des plants [268 ; 84 ; 30 ; 269 ; 289 ; 266 et 290]. Ces auteurs ont attribué cet effet à la richesse du vermicompost en divers éléments minéraux tel que l'azote, le potassium et le phosphore. Les biofertilisants à base du vermicompost sont riches en azote et en hormones, ce qui leur a permis de stimuler la multiplication du parenchyme et qui conduit à une augmentation de la phytomasse des plantes [291]. Par ailleurs, la stimulation de la croissance des plantes, peut résulter de molécules bioactives hydrosolubles comme les phytohormones, les acides humiques et fulviques, minéraux, acides aminés, ou métabolites microbiens présents dans le vermicompost [292]. En outre, l'augmentation de la croissance des plants de tomate sous l'effet du vermicompost serait en relation avec son riche statut nutritionnel et la disponibilité immédiate des nutriments [126], la présence d'acides humiques [86 ; 293 ; 294 ; 295 ; 296 ; 297 et 298], et de substances régulatrices de la croissance tels que les auxines, les gibbérellines, les cytokinines d'origine microbienne [294 ; 293 ; 298 et 296]. Ces divers composés font du vermicompost un biofertilisant qui augmente aussi bien la germination, la croissance, la floraison et la fructification de nombreuses cultures.

Cependant les autres formes du lombricompost (lombricompost sec, thé de lombricompost et lombricompost fermenté) ainsi que les deux formes du fumier des

ovins (forme fraîche et sèche) n'ont pas montré un effet favorable sur les paramètres de croissance des plants de tomate à l'exception de la production florale qui était importante chez toutes les formes du lombricompost, nous supputons que ces effets se distinguent par rapport aux composants de ce biofertilisant.

Nous estimons que ces effets sont liés à la durée qui sépare l'incorporation de ces amendements et la plantation des plants et qui n'était pas importante, DHRITI et *a/* [299] signalent que l'incorporation des amendements doit être dans le sol longtemps avant la plantation des cultures, car pendant la phase de décomposition, les bactéries du sol appauvrissent l'azote dans le sol, ce qui entraîne une carence temporaire en nutriments et qui aura un impact négatif sur la croissance des plantes. Dans ce contexte nous supposons que l'activité bactérienne des amendements d'origine animale utilisés ainsi que leur capacité d'augmenter l'activité biologique du sol ont contribué à appauvrir l'azote du sol lors de la décomposition des amendements apportés et qui concorde avec les premiers stades de la croissance de la plante ce qui a entraîné une carence temporaire en nutriments et par la suite une croissance pas vraiment importante chez les plants de tomate, cependant et après dégradation et décomposition de ces amendements et libération des éléments nutritifs facilement assimilable par la plante et qui sont coïncidés avec le stade florale de la plante ces amendements ont contribué à augmenter la production florale des plants de tomate.

Diverses investigations approuvent l'application des algues marines comme bio engrais pour leurs effets positifs sur les rendements des cultures. STIRK et *a/* [300] montrent que les apports à base d'algue ont le pouvoir de stimuler la croissance des plantes en raison de leurs fortes teneurs en régulateurs de croissance, tel que les auxines et les cytokinines. Ils favorisent également l'augmentation de la longueur de tige de tomate, grâce à leur teneur élevée en alginate. Les extraits d'algues altèrent également les propriétés physiques, biochimiques et biologiques du sol et peuvent également affecter l'architecture des racines des plantes, facilitant une absorption efficace des nutriments [299].

MCHUGH [301] Signale que l'utilisation des gels d'agar extrait d'algues rouge riche en éléments nutritifs s'avère très approprié comme substrat de croissance pour la production des plants d'orchidées en pépinières. De même ces substrats sont

recommandés en cultures méristématiques ce qui favorise une bonne production de la biomasse racinaire. Par ailleurs MARFAING [302] affirme que l'utilisation des algues vertes comme fertilisant favorise l'enracinement (multiplication radicelle) grâce au développement de vie microbienne, ce qui permet un développement de la biomasse racinaire.

Selon BARSANTI et al [303] les amendements d'algue permettant d'enrichir les sols en sels minéraux et d'amender les sols acides. L'incorporation au sol de poudre d'algue contribue à un apport important d'éléments nutritifs secondaires agissant sur le processus d'assimilation des éléments fertilisants majeur N, P et K. Ils favorisent leur augmentation et leur stockage dans le sol et sur le métabolisme de la plante qui joue un rôle d'hormone de croissance naturelle [248]. Cependant les algues décomposées, en tant que matière organique, amélioreraient généralement les propriétés physico-chimiques du sol, la capacité de rétention d'eau, l'activité microbienne et protégeaient également la plante contre des conditions environnementales défavorables telles que des températures extrêmes, un stress hydrique ou un excès de nutriments [304 et 305].

De même, divers extraits d'algues sont également connus pour affecter la régulation des gènes qui ont joué un rôle important dans l'absorption des nutriments. Par exemple, l'extrait d'Algue. *Nodosum* a régulé à la hausse l'expression d'un gène de transporteur de nitrate NRT1.1. qui a amélioré la détection de l'azote et le transport de l'auxine [306 et 307], entraînant une croissance accrue des racines latérales et une meilleure assimilation de l'azote.

En revanche les faibles effets de certains amendements organiques apportés sur l'expression végétative des plants de tomate dans certain cas sont probablement associés à une mauvaise absorption des éléments minéraux disponibles (NPK). Il est probable que notre sol présente une carence de certains éléments indispensables à l'absorption racinaire comme le fer, qui joue un rôle important dans l'amélioration de l'absorption racinaire et la composition de nombreuses enzymes, intervenant à la respiration, la synthèse de la chlorophylle et à la fixation d'azote de l'air. Selon [308] dans l'emploi des engrais, il existe la notion de règle du minimum. Il ne suffit pas de fournir au sol de grosses quantités d'un élément quelconque s'il n'y'a pas les autres

éléments en quantité suffisantes. Le rendement est proportionnel à la quantité de l'élément qui se trouve en moindre proportion dans le sol.

#### V.2.2. Effet des amendements apportés sur le poids de la partie racinaire et aérienne des plants de tomate

Les résultats relatifs au poids frais des deux parties racinaires et aériennes montrent l'effet des grignons d'olives et les trois types des algues marines en comparaison avec le témoin en se référant à l'hypothèse tirée précédemment et qui a une relation avec la présence des substances humiques due à l'incorporation de la matière organique et sa dégradation dans les sols, on suppose que les substances humiques présentes dans le sol améliorent la croissance des plants de tomate en augmentant le poids de la partie racinaire et aérienne. Cette hypothèse rejoint les travaux de CHEN et al [309] qui signalent que quel que soit leur mode d'application les substances humiques améliorent la croissance des végétaux, en induisant une augmentation quantitative de la longueur, de la surface, du volume ou de la masse des organes des plantes.

Ces modifications s'observent sur la croissance racinaire par l'apparition et l'élongation de nouvelles racines. Ainsi RAUTHAN et al [310] soulignent une accélération de la croissance des racines (longueur, poids sec) chez le concombre cultivé en aquiculture en présence de 100 à 300 mg.L<sup>-1</sup> d'acides fulviques extraits du sol. L'utilisation de solutions humiques sur une culture d'*Agrostis Stolonifera L.* (graminée) permet également d'observer une augmentation de 38 à 45 % de la biomasse racinaire et un accroissement de 15 % de la longueur des racines traitées [311].

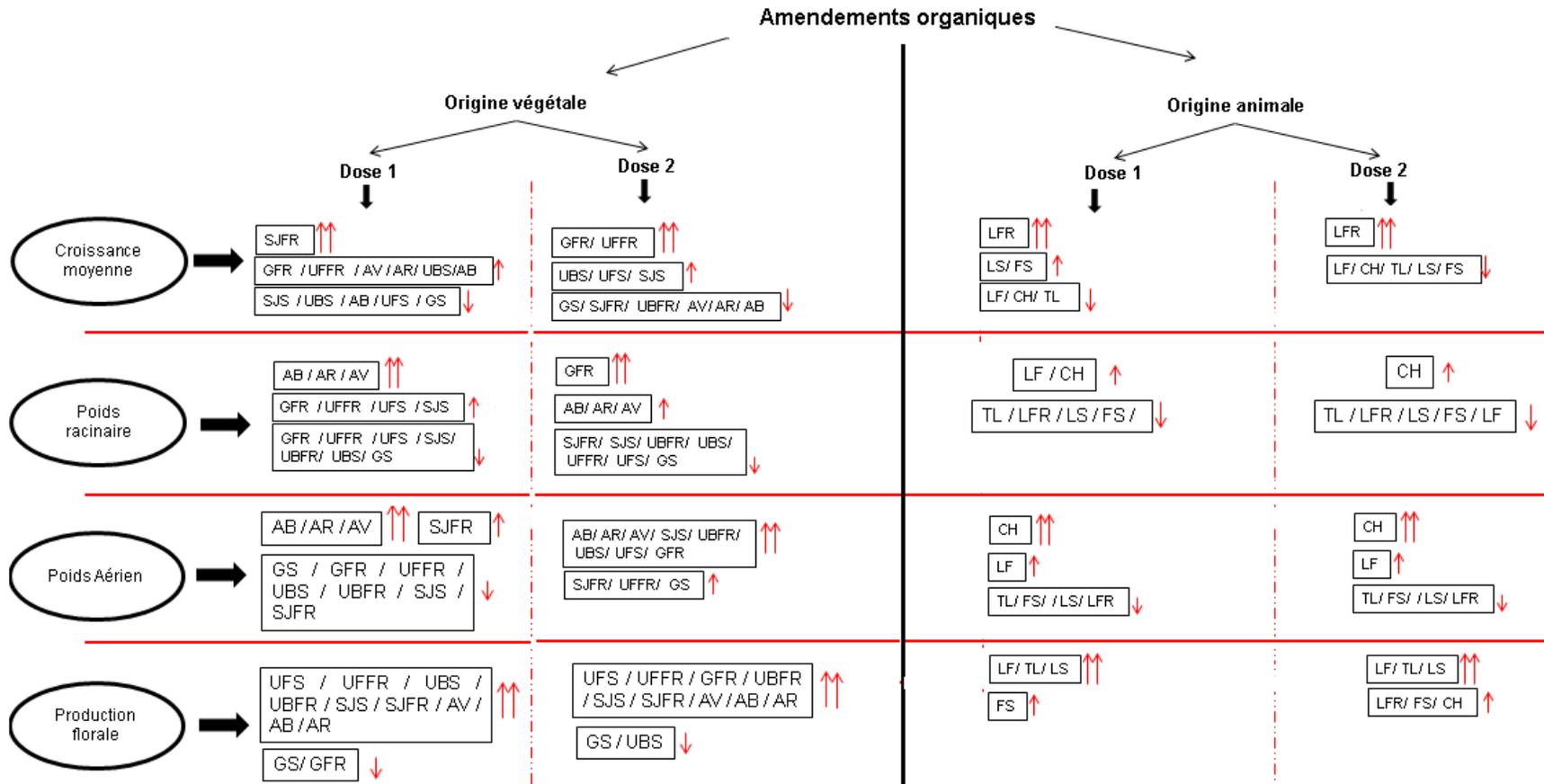
De nombreuses études montrent que l'ajout de solutions humiques aux cultures hydroponiques favorise la croissance des parties aériennes [309 et 288]. Les principaux effets s'observent sur la production de biomasse de feuilles, de fleurs, de tiges et de fruits.

L'étude de l'impact des acides humiques sur la croissance du teck (*Tectona grandis L.f.*) permet de corrélérer positivement la concentration de matière humique avec la hauteur des plantes, le diamètre de la tige et la teneur en matière sèche totale [312]

D'autres travaux comparant les effets des substances humiques sur le maïs et les algues, révèlent une augmentation de 30 à 50 % de la biomasse du maïs pour une concentration de 5 mg.L<sup>-1</sup> et de 100% de la biomasse des algues pour une concentration de 60 mg.L<sup>-1</sup>. La concentration des substances humiques joue un rôle important sur la réponse des végétaux. Il existe une concentration optimale d'application qui varie d'une plante à l'autre [50]. Comme la germination, la croissance des plantes est inhibée par de fortes concentrations [313].

### V.2.3. Effet des amendements apportés sur la production florale des plants de tomate

Les résultats de la production florale montrent que la majorité des amendements organiques apportés ont induit à une augmentation de la production florale, cette induction florale est liée avec la composition de ces amendements organiques par des substances stimulatrices de la croissance des plante. Ces résultats sont comparables avec ceux de GUERMACHE et al [291] qui révèlent que la composition des différents types de vermicompost agit sur l'induction florale et la formation de fruit. De son tour LAKHDAR [214] signale que l'application du vermicompost augmente le nombre de gousses de pois chiche, favorise la floraison et conduit en même temps à une floraison précoce et elle a lié ces résultats à la disponibilité des minéraux, principalement l'azote, qui peut être utilisé rapidement par les plantes Dont nous avons l'acide humique, phytohormones et les minéraux qui stimulent la croissance; cela augmente probablement la lumière interception, ce qui améliore la photosynthèse, conduisant à une croissance et un rendement accrus de même des études précédentes ont souligné que l'ajout de vermicompost favorise la floraison et le rendement, probablement en raison de la présence d'hormones telles que l'indole acétique et des acides gibbérelliques ou des molécules avec un effet hormonal.



**Figure V.2 :** Schéma récapitulatif de l'effet des différents amendements testés sur les plants de tomate.

GS : Grignon sec ; GFR ; Grignon frais ; UFS : *Urginea* feuille sèche ; UFFR : *Urginea* feuille fraîche ; UBS : *Urginea* bulbe sèche ; UBFR : *Urginea* bulbe fraîche ; SJS : Sauge sèche ; SJFR : Sauge fraîche ; AV : Algue verte ; AB : Algue brune ; AR : Algue rouge ; LS : Lombricompost sec ; LFR ; Lombricompost frais ; FS : Fumier sec ; CH Chitine de crevette ; TL : Thé de lombricompost ; LF : Lombricompost fermenté.

Deux flèches : effet favorable ; une flèche : effet acceptable ou se rapproche du témoin ; une flèche vers le haut : augmentation ; une flèche vers le bas : diminution.

## **CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

Au cours des dernières années, l'attention portée aux effets secondaires des pesticides a profondément modifié la perception à l'égard de ces produits vu leurs conséquences sur l'environnement, les cultures et la santé humaine. Une large gamme de méthodes alternatives est déjà disponible. Certaines de ces méthodes sont déjà utilisées, plus ou moins empiriquement, par les producteurs. C'est le cas par exemple des amendements organiques.

Dans un but d'amélioration agronomique, environnementale et économique nous avons testé des moyens biologiques à base d'amendements organiques dans le contrôle des nématodes à galles du genre *Meloidogyne*. Par ailleurs, nous avons également pris en compte l'effet biofertilisant de ces amendements sur le développement des plants de tomate «var. *Marmande*».

L'effet des amendements apportés sur les paramètres de croissance considérés a montré un effet biofertilisant de la majorité des amendements organique de nature végétale, ainsi qu'il paraît d'après ces mêmes résultats que les biofertilisants d'origine végétale semblent plus efficaces sur la croissance en longueur que ceux d'origine animale, cependant l'effet sur le reste des paramètres de croissance étudiés, les deux types d'amendements ont montré un effet convergent.

Pour les amendements d'origine végétale leur effet sur l'expression végétative des plants de tomate varie selon la nature de l'amendement apporté, il y a ceux qui ont montré un effet favorable sur la croissance en hauteur, d'autre ont montré un effet amélioré sur le poids racinaire des plants comme, alors que certains ont révélé des effets positifs sur le poids aérien des plants de tomate. Cependant, la majorité des amendements apportés ont favorisé la production florale des plants de tomate.

En ce qui concerne les traitements appliqués d'origine animale ont dévoilé un faible effet sur les différents paramètres de croissance des plants de tomate à l'exception de quelques amendements à savoir qui ont favorisé la croissance en hauteur, le

poids racinaire et aérien en comparaison avec le témoin. Par ailleurs ces amendements ont présenté un effet positif sur la production florale des plants de tomate et qui était plus important en comparaison aux amendements d'origine végétale

L'effet de ces amendements organiques sur l'expression végétatif des plants de tomate est lié principalement à la nature des molécules composantes de chaque produit et à l'incorporation de la matière organique et sa dégradation dans les sols, et pour que cette matière organique stimule l'expression végétative des plants de tomate d'une manière favorable il faut que les amendements soient incorporés plutôt dans le sol avant la plantation des cultures pour favoriser la dégradation et la libération des molécules actives.

Quant à la régulation des populations des nématodes à galles du genre *Meloidogyne*, les résultats obtenus ont montré un effet satisfaisant et très remarquable de tous les traitements d'origine animale et végétale dans le contrôle des infestations des nématodes à galles en comparaison avec le témoin. Contrairement à l'expression végétative des plants de tomate, les amendements organiques d'origine animale s'avèrent les plus efficaces. Cet effet restrictif varie en fonction du type de traitement et de sa dose. La réduction des taux d'infestation des racines de tomate par les larves L<sub>2</sub> de *Meloidogyne* en relation avec l'utilisation des différents apports de traitements biologiques font ressortir l'effet nématocide des biofertilisants testés.

Par ailleurs l'effet nématocide des amendements organiques apportés est lié à la composition chimique de ces derniers qui s'avère d'une part une source importante des composés bioactifs nématotoxiques et d'autre part leur décomposition dans le sol permet la libération et la production des molécules toxiques à effet nématocide régulant les populations des nématodes dans le sol.

D'autre part ces amendements contribués à une induction de résistance des plantes hôte par les activités bactériennes, ce qui a conduit à une masculinisation des larves de *Meloidogyne*.

En perspectives, il serait intéressant de :

(i) Poursuivre et élargir ces investigations en ciblant les déchets organiques afin de les recycler en vue de leur valorisation comme amendement organique dans le domaine agricole d'une part et assainir l'environnement d'autre part.

(ii) Approfondir le même protocole sur un laps de temps assez important dans le but de vérifier le comportement des générations ultérieures.

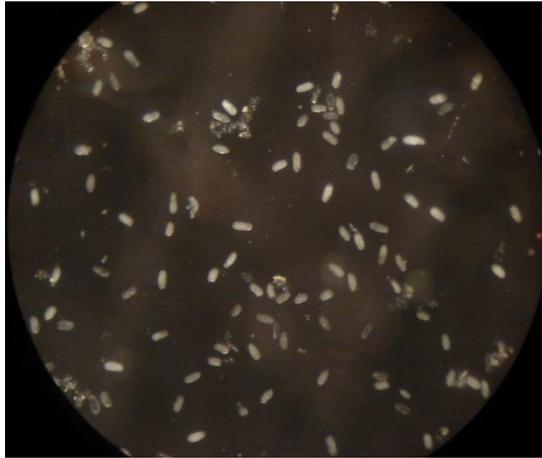
(iii) Vérifier l'efficacité de ces amendements in situ (terrain) sur divers cultures hôtes des nématodes à galles ainsi que sur d'autres genres de nématodes à importance économiques, comme *Globodera* nématodes à kystes de pommes de terre et le vecteur du virus du court-noué le nématode du genre *Xiphinema*.

(iv) Pousser les investigations sur la physiologie des nématodes dans le but de desseller les vraies causes de l'installation de phénomène de la masculinisation.

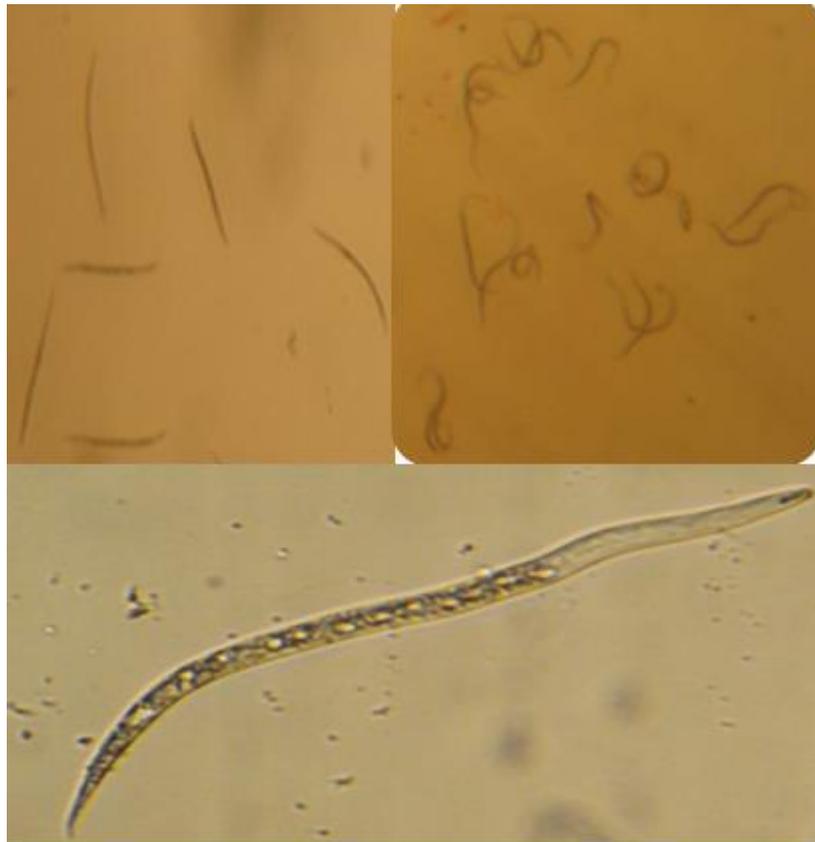
(v) Elargir les recherches dans le domaine de la phytochimie en utilisant des variétés résistantes et évaluer leurs performances sous l'effet du biofertilisant.

(vi) Caractérisation des molécules bioactives présentent dans ces biofertilisants, afin de les formuler et les utiliser comme produits stable applicables dans le domaine agricoles.

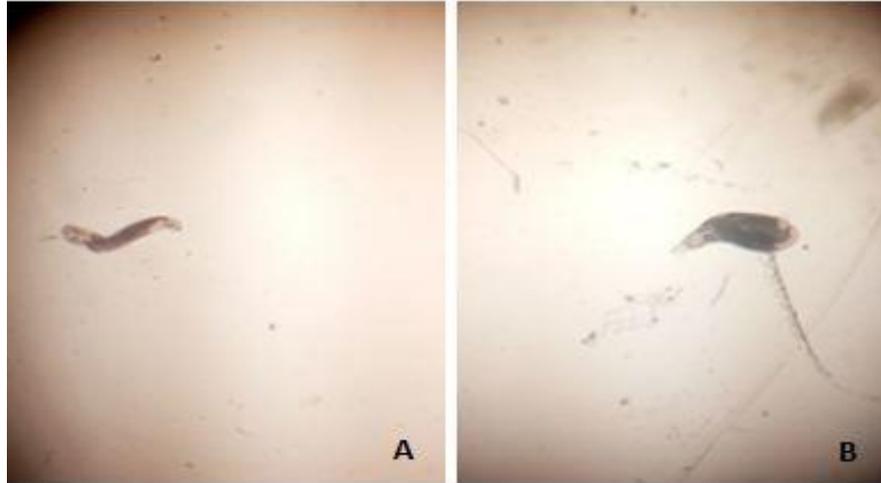
## Appendice A.



**Appendice A.1** : Œufs de *Meloidogyne* après dissociation des masses gélatineuse



**Appendice A.2** : larves du deuxième stade de *Meloidogyne*



**Appendice A.3** : Larve L3 (A) et jeune femelles (B) de *Meloidogyne*



**Appendice A.4** : Mesure de la longueur de la partie aérienne (a) ; du poids de la partie racinaire (b) et du poids de la partie aérienne (c).

## APPENDICE B.

### LISTE DES SYMBOLES ET D'ABREVIATIONS

A.C.P	: Analyse en Composantes Principales
C	: Carbone
°C	: Degrés Celsius
C.A.H	: Complexe Argilo-humique
CEC	: Capacité d'échange en cations
Cm	: Centimètre
CO <sub>2</sub>	: Dioxyde de carbone
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	: Dihydrogéo-phosphate
M.O.	: Matière organique
G.L.M	: modèle linéaire global
Kg	: Kilogramme
L	: Litre
ml	: Millilitre
Mg	: Milligramme
M.O.S.	: Matière organique sèche
O <sub>2</sub>	: Oxygène
P	: Probabilité
%	: Pour cent (pourcentage)

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 **F.A.O., 2020.** Food, Agriculture Organization of the United Nations. Plateforme de connaissances sur l'agriculture familiale, Algérie : <http://www.fao.org/familyfarming/countries/dza/fr/>
- 2 **F.A.O. 2017.** Données de la base statistique de l'organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture sur le site <http://www.fao.org/faostat/fr/>
- 3 **Hammache M., 2010.** influence de quelques types de sols algériens sur le développement des nématodes a galles ; *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* et *M. arenaria* (tylenchida, meloidogynidae). *Lebanese Science Journal*, 11 (2), pp. 47-61.
- 4 **Lamberti F., Greco N. & Zaouchi H., 1975.** Etude sur les nématodes chez le palmier dattier et autres cultures importantes d'Algérie. *Bull.phytosanitaire de la F.A.O.* pp.156-160.
- 5 **Sellami S., Lounici M., Eddoud & BENSEGHIR H., 1999.** Distribution et plantes hôtes associées aux *Meloidogyne* sous abri plastique en Algérie. *Nematologia Mediterranea*, **27**: 295-301.
- 6 **Sikora R.A. & Fernandez E., 2005.** Nematodes parasites of vegetables. *CAB International*, pp. 319-392.
- 7 **Castagnone-Sereno P. & Djan-Caporalino C., 2011.** Lutte contre les nématodes à galles en cultures maraîchères : des recherches pour promouvoir la durabilité des résistances variétales. *Innovation Agronomique*, Vol. 5, pp. 55-64.
- 8 **Whitehead A.G., 1998.** Plant nematode control. Ed. CAB International, 384 p.
- 9 **Agrios G.N., 2005.** Plant pathology. ed. Elsevier Academic Press, 922 p.
- 10 **Nebih Hadj-Sadok., 2000.** Etude de la biologie des *Meloidogyne spp.* (Nematoda Meloidogynidae) dans quelques régions du littoral

algérien. Thèse Magister. Inst. Nat. Agro., El-Harrach, 176p.

- 11 **Sellami S., Lounici M., Eddoud & Benseghir H., 1999.** Distribution et plantes hôtes associées aux *Meloidogyne* sous abri plastique en Algérie. *Nematologia Mediterranea*, **27**: 295-301.
- 12 **Nadji S., 1991.** Enquête sur l'état d'infestation des cultures maraichères par les *Meloidogyne* (Nematoda-Meloidogynidae) dans les régions d'Adrar et d'Ouargla. Thèse Ing. Inst. Tech. Argri. Saha., Ouargla ,27p.
- 13 **Laalam H. & Djelfaoui Z., 1992.** Influence de la salinité sur le comportement des *Meloidogyne*. These Ing. Agro. Saha. Inst. Nat. For. Sup. Agro.saha. Ouargla, 29 p.
- 14 **Boumada A., 1994.** Etude de d'état d'infestation des cultures maraichère par les nématodes du genre *Meloidogyne* dans la région d'Ouargla. These Ing. Agro. Nat. Form. Sup. .Agro. Saha. Ouargla, 72p.
- 15 **Medjahed S., 2010.** Evaluation de l'activité nématocide de quelques extraits de plantes contre *Meloidogyne incognita* (White et Kofoid, 1919) Chitwood 1949 (*Nematoda : Meloidogynidae*). Thèse magi. Inst. Nat. Agro., El Harrach, Alger, 126 p.
- 16 **Brzeski M.W. & Coosemans J., 2005.** Introduction to the biology and management of Nematodes Interacting with Agro Ecosystems. Fascicule pour Post graduate International Nematology Course. Université de Gand, Belgique. Pp.12-30
- 17 **Bayonne L., Tabula T.K. & Madoungou P., 2005.** Effets de l'iboga (*Tabernanthe iboga* Baillon) sur les nématodes à galles (*Meloidogyne* sp.) parasites de tomate *Tropicultura*. **23**(1) pp. 6-10.
- 18 **El badri G.A., Lee D. W., Park J.C., Yu H. B. & Choo H.Y., 2008.** Evaluation of various plant extracts for their nematocidal efficacies against juveniles of *Meloidogyne incognita*. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 11, Pp 99–102.
- 19 **Oka Y., 2009.** Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments. A review, *Applied Soil Ecology*, Vol.44, pp. 101-115.

- 20 Sellami S.M. & Mouffarrah A., 1994.** Effet des extraits aqueux de quelques plantes sur la mortalité et l'éclosion des larves de *Meloidogyne incognita*. Mededelingen Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische. Wetenschappen, University Gent 59, pp: 813-816.
- 21 Zemmouri H., 1995.** Essai de lutte par l'emploi de plantes nématocides contre *Meloidogyne incognita*. Thèse Ing. Agr. Inst. Nat. Agro. El-Harrach, 42p.
- 22 Laroum H., 1997.** Contribution à l'étude de l'influence des extraits de quelques plantes sur l'activité et la mortalité des *Meloidogyne* (nématodes à galles). These ing. Agro. I.N.F.S/A.S. Ouargla. 41p.
- 23 Khier N., 2011.** Evaluation de la toxicité de deux espèces d'Armoise « *Artemisia herba alba* » « *Artemisia judaïca* » sur les *Meloidogyne spp.* (*Nematoda-Meloidogynidae*) in Vivo et in Vitro. Thèse Ing. univ. SAAD DAHLEB DE BLIDA, 71p.
- 24 Denni A., 2011.** Contribution à l'étude de l'effet toxique de la Moutarde jaune « *Sinapis arvensis* » sur les larves (L2) de *Meloidogyne* (*Nematoda-Meloidogynidae*), thèse de Master, univ. SAAD DAHLEB DE BLIDA, 71p.
- 25 Couderchet M., Le Floch G., Rey P. & Tirilly Y., 2003.** Effet du flumioxazine sur l'attaque de feuilles de tomate par *Botrytis cinerea*. In AFPP, éd. : 7ème Conférence internationale sur les maladies des plantes.
- 26 Lizzi Y., Coulomb C., Polian C, Coulomb J P & Coulomb P O., 1998.** La Défense des Végétaux, PHYTOMA, N°508, p : 29-30.
- 27 Shova M., Koon-H. W., Brent S., & Miaoying T., 2017.** Suppression of Root-Knot Nematode by Vermicompost Tea Prepared From Different Curing Ages of Vermicompost. *Plant Disease*, **101**:734-737.
- 28 Dabin B. & SEGALEN P., 1970.** techniques rurales en Afrique, pédologie et développement. OVATY-PARIS, N° 6, 42p.
- 29 Munroe J., Brown C., Lauzon J., O'Halloran I., Bruulsema T. &**

- Cowan D., 2018.** Manuel sur la fertilité du sol. *l'Ontario*, N° 611F, 3<sup>ème</sup> Ed., 236p.
- 30 Scheda U., 2015.** L'importance de la matière organique du sol. *The importance of soil organic matter*. ENG. 02, vers.20141113, 5p.
- 31 Shibu ME., Leffelaar PA., Van Keulen H. & Aggarwal PK., 2006.** Quantitative description of soil organic matter dynamics-A review of approaches with reference to rice-based cropping systems. *Geoderma* **137**: 1-18
- 32 Manlay RJ., Feller C. & Swif MJ., 2007.** Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of cropping systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **119**: 217-233
- 33 Kögel-Knabner, I., 2002.** The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.* **34**: 139–162.
- 34 Schaeffer, A., Nannipieri, P., Kästner, M., Schmidt, B., & Botterweck, J. 2015.** From humic substances to soil organic matter–microbial contributions. In honour of Konrad Haider and James P. Martin for their outstanding research contribution to soil science. *J. Soils Sediments* **15**: 1865–1881.
- 35 Razanamalala K., 2017.** Priming effect : Vers un outil de gestion de la fertilité des sols cultivés à Madagascar, Thèse de Doctorat, Univ. Montpellier, France, 159p.
- 36 Lehmann J. & Kleber M., 2015.** The contentious nature of soil organic matter. *Nature* **528**: 60–68.
- 37 Cotrufo M.F., Wallenstein M.D., Boot C.M., Deneff K., & Paul E., 2013.** The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter, *Glob. Change Biol.* **19**: 988–995.
- 38 Klappenbach JA., Dunbar JM. & Schmidt TM., 2000.** rRNA Operon

Copy Number Reflects Ecological Strategies of Bacteria. *Appl Environ Microbiol* **66**: 1328–1333.

- 39 **Huber G. & Schaub Ch., 2011.** La fertilité des sols : Importance de la matière organique, Chambre d'agriculture, France, 42p.
- 40 **Giva G., 2011.** Guide des produits organiques utilisables en languedoc-Roussillon. Chambre Agriculture Occitanie, France, TOME 1, p75.
- 41 **Baldock J.A. & Nelson P.N., 2000.** Soil organic matter, p. 25-84. *In* Handbook of soil science. M. E. Sumner (Eds.), CRC Press, USA.
- 42 **White R.E., 1997.** Principles and practice of soil science. The soil as a natural resource. 3rd ed. Blackwell Science. 348p.
- 43 **Franzluebbers A.J., Haney R.L., Honeycutt C.W., Arshad M.A., Schomberg H.H & Hons F.M., 2001.** Climatic influences on active fractions of soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.*, **33**:1103-1111.
- 44 **Soane B.D., 1990.** The role of organic matter in soil compactibility: A review of some practical aspects. *Soil Tillage Res.* **16**: 179-201.
- 45 **Stevenson F.J., 1994.** Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. Ed *Wiley & Sons, Inc.*, 350 P.
- 46 **Chalhoub M., 2010.** Effet de l'apport de composts sur la dynamique hydrique du sol, la disponibilité de l'azote pour la plante et le lessivage du nitrate : cas d'un sol limoneux cultivé du bassin parisien, Thèse de Doctorat. UNIV. Paris-Sud 11, 254p.
- 47 **Annabi M., 2005.** Stabilisation de la structure d'un sol limoneux par des apports de compost d'origine urbaine, relation avec les caractéristiques de leur matière organique. Thèse de Doctorat de l'INAPG, 286 p.
- 48 **Hudson B.D., 1994.** Soil organic matter and available water capacity. *J. Soil Water. Conserv.* **49**:89-194.
- 49 **Rawls W.J., Pachepsky Y.A., Ritchie J.C., Sobecki T.M. & Bloodworth H., 2003.** Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*, **116**:61–76

- 50 **Lee Y.S. & Bartlet R.J., 1976.** Stimulation of plant growth by humic Substances. *Soil Sci. Soc. Am J.*, **40**:876-879.
- 51 **Chen Y., De Nobili, M., & Aviad T., 2004.** Stimulatory effects of humic substances on plant growth. *In: Magdoff F. & Weil R.R. 2004.* Soil Organic Matter *in* Sustainable Agriculture, *CRC Press*, pp. 103-129.
- 52 **Cotrufo M.F., Wallenstein M.D., Boot C.M., Deneff K., & Paul E., 2013.** The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter, *Glob. Change Biol.* **19**: 988–995.
- 53 **Lehmann J. & Kleber M., 2015.** The contentious nature of soil organic. *Nature* **528**: 60–68.
- 54 **Dungait, J.A.J., Hopkins, D.W., Gregory, A.S., & Whitmore, A.P. 2012.** Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance. *Glob. Change Biol.* **18**: 1781–1796.
- 55 **Six J., Elliott E.T., & Paustian K., 2000.** Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem.* **32**: 2099–2103.
- 56 **Hättenschwiler, S., Fromin, N., & Barantal, S., 2011.** Functional diversity of terrestrial microbial decomposers and their substrates. *in Razanamalala K., 2017.* Priming effect : Vers un outil de gestion de la fertilité des sols cultivés à Madagascar, Thèse de Doctorat, Univ. Montpellier, France, 159p.
- 57 **Kallenbach, C.M., Frey, S.D., & Grandy, A.S., 2016.** Direct evidence for microbial-derived soil organic matter formation and its ecophysiological controls. *Nat. Commun.* **7**.
- 58 **F.A.O., I.I.F.A. & I.I.M.P.H.O.S., 2003.** Les engrais et leurs applications, Quatrième édition, ISBN 92-5-104414-7, 77p.
- 59 **Dragon S. & Icard CH., 2010.** Effet d'apport de différents amendements organiques sur les propriétés du sol - Bilan de 15 années

d'essai en culture légumière à la SERAIL. *Echo-MO*. N° 81, 8p.

- 60 Bellahammou S., 2010.** Contribution à l'étude de la diversité de la nématofaune associés aux cultures maraichères dans la vallée d'oued Righ, Wilaya d'Ouargla.Thès. Ing. Agro. Blida.78p.
- 61 Melquiot P. & Bertolini G., 2003.** 1.001 mots et abréviations de l'environnement et du développement durable. Lyon : Ed. *Recyconsult*, 190 p. ISBN : 2-9520542-0-7.
- 62 Seh Ngoun E.E., 2009.** Impacts Agronomiques, Economiques Et Environnementaux De Quelques Amendements Organiques A Nkolondom (Yaounde-Cameroun). Thèse de Master professionnel, CRESA Forêt-Bois, Cameroun, 98p.
- 63 Tejada, M., Hernandez, M.T. & Garcia, C., 2006.** Application of two organic amendments on soil restoration: Effects on the soil biological properties. *J. Environ. Qual.* 35, p. 1010 – 1017.
- 64 Kielh, E.J., 1985.** Fertilizantes orgânicos, *Agronômica Ceres, Piracicaba, Brasil*, p. 417 – 431.
- 65 Snapp, S.S., Mafongoya P.L. & Waddington, S., 1998.** Organic matter technologies for integrated nutrient management in smallholder cropping systems of Southern Africa. *Agric. Ecosyst. Environ.* 71: 185 – 200.
- 66 Terman. G.L., Soileau, J.M. & Allen, S.E., 1973.** Municipal waste compost: effects on crop yields and nutrient content in greenhouse pot experiments. *J. Environ. Qual.*, 2, pp. 84-89
- 67 Bengtson, G.W. & Cornette, J.J., 1973.** Disposal of composted municipal waste in a plantation of young slash pine. Effect on soil and tree, *J. Environ. Qual.*, 2, p.441-444.
- 68 Vishnu, P.G., Sabeha, K.O. & Tony, H., 2008.** Remediation of copper and cadmium in contaminated soil using compost with inorganic amendments, *Water Air Soil Pollut.*, Springer Sci., Business Média, p.14.
- 69 Cuinier, C., 1975.** Recherche sur la microflore édaphique des terroirs

viticoles de Touraine. Application culturelle. Thèse, Fac. Sci. Clermont Ferrand. 277 p.

- 70 Onwuene, I.C. & Sinha, T. D., 1991.** Field and vegetable production in warm climate. *Mac. Millan*, London, U.K., p.220.
- 71 Bustamante, M.A., Parede, C.S., Moral R., Agulló, E., Pérez-Murcia M.D. & Abad M., 2008.** Composts from distillery wastes as peat substitutes for transplant production, available in <http://www.aginternetwork.net>. p. 15
- 72 Chabrier CH., Mbolidi-Baron H. & Emmanuel W., 2007.** Techniques de lutte alternative, 5556 PRAM 5, 43p.
- 73 Villenave C., Bongers T., Ekschmitt K., Fernandes P. & Oliver R., 2003.** Changes in nematode communities in millet farmers' fields in Senegal after enrichment by manuring, *Nematology* **5**: 351-358.
- 74 Afnor, 2005.** Le compost: Dénominations, spécifications et marquage; *Eds AFNOR*, 16p.
- 75 Devisscher S., 1997.** Le compost. Mémoire de DESS, Université de Picardie, 60p.
- 76 De Bertoldi, M., Vallini, G. & Pera, A., 1983.** The biology of composting. *Waste Manage. Res.*, 1: 157-176.
- 77 Leclerc B., 2001.** Guide des matières organiques; (eds) *guide technique de l'ITAB*, 238p.
- 78 FAO, 1988.** Aménagement du sol: Production et usage du compost en milieu tropical et subtropical. *Bulletin Pédologique*, N° 56, 165p.
- 79 Toundou O., 2016.** Evaluation des caractéristiques chimiques et agronomiques de cinq composts de déchets et étude de leurs effets sur les propriétés chimiques du sol, la physiologie et le rendement du maïs (*Zea mays* L. Var. Ikenne) et de la tomate (*Lycopersicum esculentum* L. Var. Tropimech) sous deux régimes hydriques au Togo. Thèse de Doctorat, Univ. LOME, Togo, 195p.

- 80 **Pramanik, P., Ghosh, G.K., Ghosal, P.k. & Banik, P., 2007.** Changes in organic e C, N, P and K and enzyme activities in vermicompost of biodegradable organic wastes under liming and microbial inoculants. *Bioresource Technology* 98, 2485-2494.
- 81 **F.A.O., 2005.** Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole.
- 82 **ThiPhuong N., 2015.** Effets des amendements organiques exogènes sur la composition de la matière organique et le stockage du carbone d'un sol dégradé par l'érosion dans le Nord du Vietnam, Thèse de Doctorat, Univ. Pierre et Marie Curie, France, 106p.
- 83 **Edwards, C.A. & Burrows, I., 1988.** The potential of earthworm composts as plant growth media. In: Edwards, C.A., Neuhauser, E. (Eds). *Earthworms in waste and environmental management*. SPB Academic Press. The Hague, the Netherlands, pp 21-32.
- 84 **Ndegwa, P.M. & Thompson, S.A., 2001.** Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresource Technology*, 76, 107–112.
- 85 **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 :266–269.
- 86 **Atiyeh, R.M., Dominguez, J., Subler, S. & Edwards, C.A., 2000.** Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei* Bouché) and the effects on seedling growth. *Pedobiologia*, 44, 709-724.
- 87 **Acevedo, I.C. & Pire, R., 2004.** Effects of vermicompost as substrate amendment on the growth of papaya (*Carica papaya* L.). *Interciencia*, 29, 274–279.
- 88 **Canellas, L.P., Olivares, F.L., Okorokova, A.L. & Facanha, A.R., 2002.** Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma H<sub>p</sub> ATPase activity in maize roots. *Plant Physiology* 130, 1951-1957.

- 89 **Arancon, N., 2004.** «An Interview with Dr. Norman Arancon», Casting Call, vol. 9, N°2, *in* **Munroe M., 2005.** Guide du lombricompostage et de la lombriculture à la ferme. Centre d'agriculture biologique du Canada, 37p.
- 90 **Munroe G., 2004.** Guide du lombricompostage et de la lombriculture à la ferme, Centre d'agriculture biologique du Canada, 37p.
- 91 **Canellas, L.P., Olivares F.L., Okorokova-Facanha A.L. & Facanha A.R., 2002.** «Humic Acids Isolated from Earthworm Compost Enhance Root Elongation, lateral root Emergence, and Plasma Membrane Ht +- ATPase Activity in Maize Roots». *Plant Physiology*, vol. 130, p.1951-1957.
- 92 **Edwards, C.A. & Arancon N., 2004.** Vermicomposts Suppress Plant Pest and Disease Attacks. *REDNOVA NEWS*, <http://www.rednova.com/display/?id=55938>
- 93 **Biocycle 2001.** «Vermicompost as Insect Repellent», 19p.
- 94 **Larbalétrier, A. 1891.** Les engrais et la fertilisation du sol, *Baillièrè*, 373p.
- 95 **Pierre J.R., 2015.** La Biométhanisation De Fumier De Bovin A Une Température psychrotrophe. Thèse de Doctorat, Univ. Québec, Canada, 264p.
- 96 **Soltner D., 2003.** Les bases de la production végétale *in* **Noufou Doudjo O. & Abobo-Adjamé A., 2009.** Etude comparative de l'influence de la fertilisation minérale et organique sur la productivité du cultivar à baies allongées de *lagenaria siceraria* (molina) standl (cucurbitaceae). Thèse de Maitrise, Univ. d'Abobo-Adjamé, Côte-d'Ivoire, 24p.
- 97 **Zougmoré R., Zida Z., & Kambou NF., 2003.** Role of nutrient amendments in the success of half-moon soil and water conservation practice in semi-arid Burkina Faso *in* **Noufou Doudjo O. & Abobo-Adjamé A., 2009.** Etude comparative de l'influence de la fertilisation minérale et organique sur la productivité du cultivar à baies allongées de *lagenaria siceraria* (molina) standl (cucurbitaceae), Thèse de

Maitrise, Univ. d'Abobo-Adjamé, Côte-d'Ivoire, 24p.

- 98 Noufou Doudjo O. & Abobo-Adjamé A., 2009.** Etude comparative de l'influence de la fertilisation minérale et organique sur la productivité du cultivar à baies allongées de *lagenaria siceraria* (molina) standl (cucurbitaceae), Thèse de Maitrise, Uni. d'Abobo-Adjamé, Côte-d'Ivoire, 24p.
- 99 Pousset J., 2011.** *Engrais verts et fertilité des sols – Principes agronomiques, Pratiques agricoles*, Productions végétales et grandes cultures, Agriproduction Editions France Agricole, 3e édition.
- 100 Dustin L., 2013.** Étude de l'impact des engrais verts sur les qualités physiques et biologiques des sols sableux en cultures maraîchères nantaises. Thèse de Doctorat, Univ. Weihenstephan-Triesdorf, Allemagne, 125p.
- 101 Allison F., 1973.** Soil organic matter and its role in crop production, *Elsevier scientifique publishing company*, chapter 22, Green manuring and related practices, P 445 – 460
- 102 Löhnis F., 1926.** Nitrogen availability of green manures, *Soil science*, vol 22.
- 103 McSorley R. & Frederick J.J., 1999.** Nematode population fluctuations during decomposition of specific organic amendments. *J. Nematol.* 31, 37–44.
- 104 Wang K.H., Sipes B.S. & Schmitt D.P., 2002.** *Crotalaria* as a cover crop for nematode management: a review. *Nematropica* 32 :35–57.
- 105 Louvieux J., 2004.** Mesure de l'efficacité d'extraits d'algues sur la vigne (*Vitis vinifera* L.), en conditions contrôlées et au vignoble, validée par la mesure de l'activité photosynthétique et les analyses chimiques. thèse Ing., Univ., Bruxelles, p.
- 106 Jolivet E., Langlais-Jeannin I. & Morot-Gaudry J-F., 1991.** Les extraits d'algues marines : propriétés phytoactives et intérêt agronomique. *Année Biologique*, 30 : 109-126.

- 107 Piegel, Y., Cohn, E., Galper, S., Sharon, E. & Chet, I., 1991.** Evaluation of a newly isolated bacterium, *Pseudomonas chitinolytica* sp. nov. for controlling the rootknot nematode *Meloidogyne javanica*. *Biocontrol Sci. Technol.* **1**:115–125.
- 108 Hassainia A., 2018.** Obtention du bio-polymère «chitine» à partir du champignon «agaricus bisporus»: extraction et caractérisation. Univ. Guelma, Algérie, 130p.
- 109 Alabouvette C. & Cordier CH., 2019.** Fertilité biologique des sols : des microorganismes utiles à la croissance des plantes, *Innovations Agronomiques* **69** : 61-70,
- 110 Ikrina M.A. & Kolbin A.M., 2004.** Regulators of Plant Growth and Development, Vol.1, *Stimulants*. Moscow: Chimia.
- 111 Torre L.A., Battaglia V. & Caradonia F., 2016.** An overview of the current plant biostimulant legislations in different European Member States. *J.Sci.Food Agric.* **96** :727–734.doi:10.1002/jsfa.7358.
- 112 Yakhin O.I., Lubyantsev A.A., Yakhin I.A. & Brown P.H., 2017.** Biostimulants in Plant Science: A global Perspective. *Frontiers in Plant Science* **7**, p.1-32.
- 113 Du Jardin P., 2015.** Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae* **196**, p. 3-14.
- 114 Desfontaines L., Rotin P. & Ozier-Lafontaine H., 2018.** Les Biostimulants : Qu'en savons-nous ? Quelles alternatives pour l'agriculture Guyanaise. *Innovations Agronomiques* **64** :31-46.
- 115 Faessel L., Gomy C., Nassr N., Tostivint C., Hipper C. & Dechanteloup A., 2014.** Produits de stimulation en agriculture visant à améliorer les fonctionnalités biologiques des sols et des plantes. Étude des connaissances disponibles et recommandations stratégiques, rapport d'étude au ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt. *Bio by Deloitte et RITMO Agroenvironnement*, 148 p.
- 116 Ghelder C., 2020.** Le locus de résistance Ma des Prunus vis-à-vis des nématodes à galles : Originalité structurale et évolution dans la famille

des NBS-LRRs chez les plantes. Thèse de Doctorat, Univ. Côte-d'Azur, France, 203p.

- 117 Jones JT., Haegeman A., Danchin E., Gaur HS., Helder J., Jones M., Kikuchi T., Manzanilla-López R., Palomares-Rius JE. & Wesemael W., 2013.** Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology* **14**: 946–961.
- 118 Goodey JB., Franklin MT. & Hooper DJ. 1965.** The nematode parasites of plants catalogued under their hosts Ed: *F.Royal*, Commonwealth Agricultural Bureaux.
- 119 Barker KR., Carter CC. & Sasser JN., 1985.** Advanced Treatise on *Meloidogyne*. Volume I: *Biology and Control*. Department of Plant Pathology, North Carolina State University.
- 120 Abad P., Gouzy J., Aury J., Castagnone-Sereno P., Danchin E., Deleury E., Perfus-Barbeoch L., Anthouard V., Artiguenave F. & Blok VC., 2008.** Genome sequence of the metazoan plant-parasitic nematode *Meloidogyne incognita*. *Nature Biotechnology* **26**: 909–915.
- 121 Treub M., 1885.** Onderzoekingen over Sereh-Ziek Suikkerriet gedaan in s'Lands Plantentium te Buitenzorg. *Mededeelingen uit's Lands Plantentium, Batavia* **2**: 1–39.
- 122 Chitwood BG., 1949.** Root-knot nematodes I. A revision of the genus *Meloidogyne* Goeldi, 1887. *P. Helm. Soc. Wash.* **16**: 90-104.
- 123 Hunt DJ., Luc M. & Manzanilla-Lopez RH., 2005.** Identification, morphology and biology of plant-parasitic nematodes. *In: Luc M, Sikora RA & Bridge J., 2005.* Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture. *CABI Publishing*, pp.11-80.
- 124 Mukhaimar M., 2015.** Sources naturelles de la résistance contre les nématodes à galles *Meloidogyne javanica* chez la plante modèle *Arabidopsis thaliana*. Thèse de Doctorat, Uni.Paris-Sud, France, 114p.
- 125 DE Guiran DG. & Netscher C., 1970.** Les nématodes du genre *Meloidogyne*, parasites de cultures tropicales. *Cah. ORSTOM, Sér. Biol.* **11**: 151-182.

- 126 Pratz L., 2017.** Identification de marques épigénétiques chez le nématode à galles parasite de plantes *Meloidogyne incognita*. Thèse de Doctorat, Univ. Côte d'Azur, France, 328p.
- 127 Sikora RA., Bridge J. & Starr JL., 2005.** Management practices: an overview of integrated nematode management technologies. *In: Luc M, Sikora RA & Bridge J., 2005.* Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture. *CABI Publishing*, pp. 793-820.
- 128 Mokabli A., 1988.** Les principaux facteurs qui déterminent l'importance et l'agressivité des *Meloidogyne* sous abris serre en Algérie. 69 p. Thèse magister : Inst. Nat. Agro : El Harrach, Alger.
- 129 Tebib M., 2006.** Infestation de quelques régions du littoral centre par les nématodes à galles. Thèse, Magi., Zoologie Appliquée à la Protection des Végétaux, Institut National Agronomique El-Harrach, 118p.
- 130 Triantophyllou AC., 1985.** Cytogenetics, cytotaxonomy and phylogeny of root-knot nematodes. *In: Sasser JN. & Carter CC., 1985.* An advanced treatise on *Meloidogyne*. Vol. I, *Biology and control*, North Carolina State University Graphics, pp: 113-126.
- 131 Chitwood DJ. & Perry RN., 2010.** Reproduction, physiology and biochemistry. *In: Perry RN., Moens M., & Starr JL., 2010.* Root-Knot nematodes. 1st edition, *CABI publishing*, pp. 182-194.
- 132 Triantaphyllou AC., 1966.** Polyploidy and reproductive patterns in the root-knot nematode *Meloidogyne hapla*. *J. Morphol.* **118**: 403-413.
- 133 Perry RN. & Moens M., 2011.** Introduction to plant-parasitic nematodes; modes of parasitism. *In: Jones J., Gheysen L. & Fenoll C., 20110* Genomics and molecular genetics of plant-nematode interactions. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London and New York, pp. 3-17.
- 134 Sasser JN. & Carter CC., 1985.** An Advanced Treatise on *Meloidogyne*. Vol. I: *Biology and Control*. North Carolina State University Graphics, pp. 19-23.
- 135 Castagnone-Sereno P., Danchin E., Perfus-Barbeoch L. & Abad P.,**

- 2013.** Diversity and Evolution of Root- Knot Nematodes, Genus *Meloidogyne* : New Insights from the Genomic Era. *Annual Review of Phytopathology* **51**: 203–220.
- 136 Khallouk S., Voisin R., Van Ghelder C., Engler G., Amiri S. & Esmenjaud D., 2011.** Histological mechanisms of the resistance conferred by the Ma gene against *Meloidogyne incognita* in *Prunus spp.* *Phytopathology* **101**: 945–951.
- 137 Gaur HS., Beane J. & Perry RN., 2000.** The influence of root diffusate, host age and water regimes on hatching of the root-knot nematode *Meloidogyne triticoryzae*. *Nematology* **2**: 191-199.
- 138 Perry RN. & Wesemael W., 2008.** Host plant effects on hatching of root-knot nematodes. *Russ. J. Nematol.* **16**:1–5.
- 139 Clemence M., 2017.** Caractérisation des petits ARN régulateurs impliqués dans la formation des cellules géantes induites par les nématodes phytoparasites du genre *Meloidogyne*. Thèse de doctorat, Univ. Côte d'Azur, France, 289p.
- 140 Rosso M.N., Favery B., Piotte C., Arthaud L., De Boer JM., Hussey RS., Bakker J., Baum TJ. & Abad P., 1999.** Isolation of a cDNA Encoding a  $\beta$ -1,4-endoglucanase in the Root-Knot Nematode *Meloidogyne incognita* and Expression Analysis During Plant Parasitism. *Molecular Plant. Microbe Interactions* **12**:585–591.
- 141 Jaubert S., Laffaire JB., Piotte C., Abad P., Rosso MN. & Ledger TN., 2002.** Direct identification of stylet secreted proteins from root-knot nematodes by a proteomic approach *in Clemence M., 2017.* Caractérisation des petits ARN régulateurs impliqués dans la formation des cellules géantes induites par les nématodes phytoparasites du genre *Meloidogyne*. Thèse de doctorat, Univ. Côte d'Azur, France, 289p.
- 142 Jaubert S., Laffaire J.B., Ledger TN., Escoubas P., Amri E.Z., Abad P., Rosso MN., 2004.** Comparative analysis of two 14-3-3 homologues and their expression pattern in the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* *in Clemence M., 2017.* Caractérisation des petits ARN régulateurs impliqués dans la formation des cellules géantes induites

par les nématodes phytoparasites du genre *Meloidogyne*. Thèse de doctorat, Univ. Côte d'Azur, France, 289p.

- 143 Truong NM., Nguyen CN., Abad P., Quentin M., Favery B., 2015.** Function of Root-Knot Nematode Effectors and Their Targets in Plant Parasitism. Plant Nematode Interactions: *in Clemence M., 2017.* Caractérisation des petits ARN régulateurs impliqués dans la formation des cellules géantes induites par les nématodes phytoparasites du genre *Meloidogyne*. Thèse de doctorat, Univ. Côte d'Azur, France, 289p.
- 144 Bellafiore S., Shen Z., Rosso M.N., Abad P., Shih P. & Briggs SP., 2008.** Direct Identification of the *Meloidogyne incognita* Secretome Reveals Proteins with Host Cell Reprogramming Potential (*JL Dangl, Ed.*). *in Clemence M., 2017.* Caractérisation des petits ARN régulateurs impliqués dans la formation des cellules géantes induites par les nématodes phytoparasites du genre *Meloidogyne*. Thèse de doctorat, Univ. Côte d'Azur, France, 289p.
- 145 Danchin E., Arguel M.J., Campan-Fournier A., Perfus-Barbeoch L., Magliano M., Rosso M-N., Da Rocha M., Da Silva C., Nottet N. & Labadie K., 2013.** Identification of Novel Target Genes for Safer and More Specific Control of Root-Knot Nematodes from a Pan-Genome Mining (*E Ghedin, Ed.*). *in Clemence M., 2017.* Caractérisation des petits ARN régulateurs impliqués dans la formation des cellules géantes induites par les nématodes phytoparasites du genre *Meloidogyne*. Thèse de doctorat, Univ. Côte d'Azur, France, 289p.
- 146 Lee HJ., Park YJ., Kwak KJ., Kim D., Park JH., Lim JY., Shin C., Yang K-Y. & Kang H., 2015.** MicroRNA844- Guided Downregulation of Cytidinephosphate Diacylglycerol Synthase3 (CDS3) mRNA Affects the Response of *Arabidopsis thaliana* to Bacteria and Fungi. *Molecular Plant-Microbe Interactions* **28**: 892–900.
- 147 Vieira P., De Clercq A., Stals H., Van Leene J., Van De Slijke E., Van Isterdael G., Eeckhout D., Persiau G., Van Damme D. & Verkest A., 2014.** The Cyclin-Dependent Kinase Inhibitor KRP6 Induces Mitosis and Impairs Cytokinesis in Giant Cells Induced by Plant-Parasitic Nematodes in *Arabidopsis*. *in Clemence M., 2017.* Caractérisation des

petits ARN régulateurs impliqués dans la formation des cellules géantes induites par les nématodes phytoparasites du genre *Meloidogyne*. Thèse de doctorat, Univ. Côte d'Azur, France, 289p.

- 148 Jaouannet M., Perfus-Barbeoch L., Deleury E., Magliano M., Engler G., Vieira P., Danchin EGJ., Rocha M Da., Coquillard P. & Abad P., 2012.** A root-knot nematode-secreted protein is injected into giant 148 cells and targeted to the nuclei. *in Clemence M., 2017.* Caractérisation des petits ARN régulateurs impliqués dans la formation des cellules géantes induites par les nématodes phytoparasites du genre *Meloidogyne*, Thèse de doctorat, Univ. Côte d'Azur, France, 289p.
- 149 Villain L., Baujard P., Anzueto F., Hernandez A. & Sarag J.L., 2002.** Protection intégrée des caféières d'Amérique centrale contre les nématodes. p.118-119.
- 150 De Guiran G., 1983.** Nématodes, les ennemis invisibles. *La Littorale S.A. (Ed.)*, France, p.41.
- 151 Karajeh M., Abu Gharbieh W., & Massaoud S., 2005.** First report of the root knot nematode *Meloidogyne arenaria* race 2 from several vegetable crops in Jordan. *Pant disease*, Vol.89, pp.206.
- 152 Rahman L., 2003.** Root knot diseases and its control. *Agfact*, p.1–10.
- 153 Olsen MW., 2000.** Root-knot Nematode. University of Arizona, Arizona Cooperative Extension, AZ1187, November, p.1–3.
- 154 Stoll G., 2002.** Protection naturelle des végétaux en zone tropical. Acta. Ed. *Margaf verlag*, Allemagne. 386 p.
- 155 Castillo P., Landa B.B., Navas-Cortes J.A, Vovlas N. & Jimenezdiaz R.M., 2006.** First report of *Meloidogyne arenaria* parasiting lettuce insouthern Spain, *Plant disease*, V.90, p.975.
- 156 Tisserat N., 2006.** Root knot nematode of tomato. Fact sheets tomato, Extension plant pathology Kansas State University, Manhattan.
- 157 Hoefflerlin P., Djian-Caporalino C., Villeneuve F., Goillon C., Jeannequin B., Navarrete M., Mateille TH., Terrentroy A. & Szilvas**

- S.I, 2018.** Les nématodes à galles *Meloidogyne spp.*, Le mensuel du centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, 24p.
- 158 Nicol JM., Turner SJ., Coyne DL., Den Nijs L., Hockland S. & Tahna Maafi Z., 2011.** Current nematode threats to world agriculture. In: **Jones J. Gheysen G. & Fenoll C.** Genomics and molecular genetics of plant-nematode interactions. Springer Science, Business Media, Dordrecht, p.21-43.
- 159 Djian-Caporalino C., Védie H. et Arrufat A., 2009.** Gestion des nématodes à galles : lutte conventionnelle et luttés alternatives. L'atout des plantes pièges. *PHYTOMA*, 3p.
- 160 Wesemael W., Perry R.N. et Moens M., 2006.** The influence of root diffusate and host age hatching of the root-knot nematodes *Meloidogyne chitwoodi* and *Meloidogyne fallax*. *Nematology*, Vol. **8**(6), p.895-902.
- 161 Van Damme V., Hoedekie A. et Viaene N., 2005.** Long term efficacy of *Pochonia chlamydosporia* for management of *Meloidogyne javanica* in glasshouse crops. *Nematology* **7**, p.741 - 754.
- 162 Ighilli H., 1986.** Inventaire des nématodes phytophages sur cultures maraîchères et sur palmier dattier dans la région d'Ouargla. Thèse Ing : Agro., I.N.A. El Harrach.52p.
- 163 Nadji A., 1988.** Inventaire de la nematofaune sur culture maraîchères et contribution à l'étude de quelques aspects biologique des *Meloidogyne*. : Memoire Ingenieur, Agro., I.N.A, EL Harrach, 52p.
- 164 De Guiran G., 1970.** le problème *meloidogyne* sur tabac a Madagascar. *Cah. ORSTOM, sb. Bol.*, n° 11, pp.187-208.
- 165 Fravel D.R., 2005.** Commercialization and implementation of biocontrol. *Annu. Rev. Phytopathol.* **43**: 337-359.
- 166 Silva P., Barbosa J., Nascimento A.V., Faria J., Reis R., & Bousbaa H. 2001.** Monitoring the fidelity of mitotic chromosome segregation by the spindle assembly checkpoint. *Cell. Prolif.*, **44**:391-400.
- 167 B'chi M., 1984.** Étude de l'action des champignons prédateurs sur

divers Nématodes du sol en microscopie électronique à balayage(SEW).  
*Revue Nématol.* 7 (1) : 29-34.

- 168 Diop D., 1998.** Ecologie de l'infestation de *Meloidogyne javanica* (Treub, 1885), Chitwood, 1949 (Nematoda) par l'actinomycète parasitoïde *Pasteuria penetrans* Sayre & Starr, 1985. Projet d'obtention du grade de docteur de 3ème cycle de Biologie Animale, Univ. Cheikh ANTA DIOP Dakar, 149p.
- 169 Cayrol J.C., Djian C., Panchaud-Mattei E., Frankowski J.P. & Pijarowski L., 1991.** Lutte biologique contre les nématodes phytoparasites: possibilités actuelles et perspectives. *Bulletin d'information de Zoologie*, No. 7: 56-62.
- 170 Harley J.L & Harley E.L., 1991.** A check list of mycorrhiza in the British flora. *New Phytol. Supplement to vol. 2*, 105 p.
- 171 Duponnois R., Cadet P., Senghor K. & Sougoufara B., 1997.** Etude de la sensibilité de plusieurs acacias australiens au nématode à galles *Meloidogyne javanica*. *Ann. Sci For.*, **54**: 179-188.
- 172 Ducouso M., 1990.** Importance des symbioses racinaires pour l'utilisation des acacias en Afrique de l'Ouest. Thèse de Doctorat, Université de Lyon 1, 260p.
- 173 Mahdi D., 1996.** Etude préliminaire d'une méthode de lutte biologique par filtrat de champignons contre les espèces de *Meloidogyne*. Thèse .Ing.Agro. INES.Blida, 65p
- 174 Belkacem F., 1997.** Contribution à une étude préliminaire d'une méthode de lutte biologique par filtrat de culture de deux champignons *F.soloni* et *R.soloni* contre les œufs de deux espèces de *Meloidogyne* (*M.incognita* et *M.arenaria*) (Nematoda, *Meloidogynidae*).thèse ing.agro. inst.agro.blida. 66p.
- 175 Tefret S., 1997.** Contribution à l'étude du filtrat de culture *Fosarium oxysporum* sur la fertilité des œufs de *Meloidogyne arenaria* (Nematoda, *Meloidogynidae*).mem. enseignement universitaire appliquée en protection des végétaux, inst.agro.blida. 25p.

- 176 Goettel, M.S., Eilenberg, J. & Glare, T.R., 2008.** Entomopathogenic fungi and their role in regulation of insect populations, *Comprehensive Molecular Insect Science*. Elsevier, Oxford, vol.6, pp. 361–406.
- 177 Gan Z., Yang J., Tao N., Liang L., Mi Q., Li J. & Zhang K.Q., 2007.** Cloning of the gene *Lecanicillium psalliotae* chitinase Lpch1 and identification of its potential role in the biocontrol of root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **72**:1309-1317.
- 178 Nguyen N.V., Kim Y.J., Oh K.T., Jung W.J., Park R.D., 2007.** The role of chitinase from *Lecanicillium antillanum* B-3 in parasitism to root-knot nematode *Meloidogyne incognita* eggs. *Biocontrol Sci. Technol.* **17**:1047-1058.
- 179 Duval J., 1991.** les nématodes de la tomate. *lechevalier*. Tom n°1, pp: 176-178.
- 180 Van Gundy S.D., 1985.** Ecology of *Meloidogyne* spp.: emphasis on environment factors affecting survival and pathogenicity. An advanced treatise on *Meloidogyne*. *Biology and Control. IMP*, **1**: 177-182.
- 181 Akhtar M. & Malik A., 2000.** Roles of organic soil amendments and soil organisms in the biological control of plant-parasitic nematodes: a review. *Bioresource Technology*, **74**:35-47.
- 182 Djian C., 1992.** Etat actuel des connaissances sur les substances nématocides produites par micro-organismes et des végétaux supérieurs. Actes de II ème Symposium sur les substances naturelles d'intérêt biologique. Ed. Du CNRS, France, 188p.
- 183 Khan Z. & Kim Y.H., 2007.** A review on the role of predatory soil nematodes in the biological control of plant parasitic nematodes. *Applied Soil Ecology*, **35**: 370-379
- 184 Holtkamp R., Kardol P., Van Der Wal A., Dekker S.C., Van Der Putten W.H. & De Ruiter P.C., 2008.** Soil food web structure during ecosystem development after land abandonment. *Applied Soil Ecology*, **39**: 23-34.
- 185 Imbriani J.L., Mankau R., 1983.** Studies on *Lasioseius scapulatus*, a

- Mesostigmatid mite predaceous on nematodes. *Journal of Nematology* **15**:523-528.
- 186 Kong J.O., Lee S.M., Moon Y.S., Lee S.G. & Ahn Y.J., 2007.** Nematicidal activity of Cassia and Cinnamon oil compounds and related compounds toward *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda : *Parasitaphelenchidae*). *J. Nematol.* **39** :31-36
- 187 Nebih Hadj- Sadok D., Hadroug S. & Taoussi F., 2014.** activite nématocide in vitro des extraits aqueux des plantes médicinales « *artemisia campestris*, *ziziphus lotus*, *datura stramonium* et *urginea maritima* » sur des larves de *Meloidogyne* spp. Dixième conférence internationale sur les ravageurs en agriculture, Montpellier, 7p.
- 188 Djerroudi Z ., Eddoud A. & Kellili M., 2011.** effet des extraits aqueux de végétaux sur les nématodes phytoparasites du genre *Meloidogyne* spp. *Revue des Bioressources* Vol. 1 N° 2, pp.49-54.
- 189 Dahmane T., Sellami S. & Mezrket A., 2010.** activité nématocide de quelques huiles essentielles contre *meloidogyne incognita*. *Nematol. medit.* **38**:195-201
- 190 Goguey T., Langlais C. & Queneherve P., 2005-** Techniques de lutte alternative. Cahier du PRAM n°5,64p.
- 191 Auger J., Dugravot S., Naudin A., Abo-Ghalia A., Pierre P. & Thibout E., 2011.** Utilisation des composés allélochimiques des *Allium* en tant qu'insecticides. *IOBC w.p.r.s. Bulletin* Vol. 25 pp.2-11.
- 192 Pathar A.K., Vadan B.S. & Brar J. S., 1988.** Water Hyacinth and neem leaves for the control of root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on Brinjal. *Plant Disease Research*, **3 (1)** :74-76.
- 193 Mian J.H. & Rodriguez-Kàbana R., 1982.** Survey of nematicidal properties of some organic materials available in Alabama as amendments to soil for control of *Meloidogyne arenaria*. *Nematropica*, **12**: 234-245.
- 194 Cayuel M.L., Millner P.D., Meyer S.L.F. & Roig A., 2008.** Potential of olive mill waste and compost as biobased pesticides against weeds,

- fungi, and nematode. *Science Direct. Science of the total environment*, **399**:11-18.
- 195 Mokrini F., Janati S., Houari A., Essarioui A., Bouharroud R. & Mimouni A., 2018.** Management of plant parasitic nematodes by means of organic amendment, *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* **6 (3)**:337-344
- 196 Linford D.M., (1939).** Attractiveness of roots and excised shoot tissues to certain nematodes. *Proc. helminth. Soc. Wash.* **6** : 11-18.
- 197 Faruk M.I., Bari M.A., Nahar M.S., Rahman M.A. & Hossain M.M., 2001.** Management of root knot nematode (*Meloidogyne spp.*) of tomato with two organic amendments and a nematicide. *Bangladesh J. Plant Pathol.*, **17**: 27-30.
- 198 Adegbite, A.A. & Adesiyun, S.O., 2005.** Root extracts of plants to control root-knot nematode on edible soybean. *World J. Agric. Res.*, **1**:18-21.
- 199 Belhaddad O., 2018.** Phytochimie, fractionnement et activité antioxydante et antibactérienne des extraits de *Urginea maritima* et *Urtica pilulifera*. Thèse doctorat en sciences; université FARHAT ABBAS-SETIF 1, Pp46-52.
- 200 Fennane M., Ibn-Tattou M. & El Oualid j., 2014.** Flore pratique du Maroc. Vol.3. *Dicotylédones, Monocotylédones* : Inst. Scientifique.
- 201 Hammiche.V, Merad.R. & Azzouz M., 2013** : plante toxique à usage médicinal du pourtour méditerrané ; ISBN, 978-2-8178-0374-6-Springer Vertage PARIS 2013 *silla maritima*. (L.) Baker, PP227-230 ; pp 404-405.
- 202 Daoudi A., Nejem M., Bachiri L., Ibijbijen J. & Nassiri L., 2019.** Monographies des plantes à haute fréquence d'utilisation en pharmacopée traditionnelle au Moyen Atlas Central Maroc. *Journal of animale et plante sciences*, vol .**40(3)** : Pp 6712-6730.
- 203 Al-Tardeh S, Sawidis T, Diannelidis B.E & Delivoploulos S., 2006.** Anatomical studies on the adventitious roots of the geophyte *Urginea maritima* (L.) Baker. *Journal of Biological Research.* **5** :61-70. 62p.

- 204 Meziane S., 2013.** Modélisation de la cinétique du séchage convectif du grignon d'olive. *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 16 N°2, pp.379 – 387.
- 205 Bernard N., Brigitte L., Gerard G. & Remy M., 2012.** Grignons d'Olives et Compost. Fiche N°23,4p.
- 206 Benyahia N. & Zein K., 2003.** Analyse des problèmes de l'industrie de l'huile d'olive et solutions récemment développées. Contribution spéciale de Sustainable Business Associates (SBA) dans le cadre de la 2ème Conférence Internationale Swiss Environmental Solutions for Emerging Countries (SESEC II).
- 207 Touati L., 2012.** valorisation des grignons d'olive étude de cas : essai de valorisation en biocarburant. Thèse Mag. Génie alimentaire, univ. M'hamed bougara-boumerdes, 68p.
- 208 Djerroumi, A & Nacef M., 2004.** 100 plantes médicinales d'Algérie. Edition Palais du livre, p.135-131.
- 209 Foy F., 1843.** Traité de matière médicale et de thérapeutique appliqués à chaque maladie en particulier. Paris, Ed. G.B.L., 9-10 pp.
- 210 Hans W.K., 2007.** 1000 plantes aromatiques et médicinales. *Terre édition*.
- 211 Lu Y. & Yeap E., 2004.** Antioxidant activities of polyphénols from sage (*Salvia officinalis*), *journal food chemistry*, 75, p: 197-202.
- 212 Kamatou G.P., Viljoen A.M., Gono-Bwalya A.B., Van Zyl R.L., Vuuren V.S., Lourens A.C., Baser K.H., Demirci B., Lindsey K.L., Staden V.J. & Steenkamp P., 2005.** The *In vitro* pharmacological activities and a chemical investigation of three South African *Salvia* species. *Journal of Ethnopharmacology* 102, p : 382 - 390.
- 213 Russo A. & Senatore F., 2013.** Chemical composition and anticancer activity of Parasites de tomate ; *tropicultura*, pp : 6-10.
- 214 Lakhdar F., 2018.** Contribution à l'étude des potentialités antiproliférative et antibactérienne des algues brunes et rouges de la

côte d'El Jadida pour une valorisation médicale et environnementale, Thèse de Doctorat, Univ. Nantes, France, 238p.

- 215 Chaichi W., Djazouli Z., Djemai I., Abdelkader S., Ribera I., & Nancé J., 2017.** Stimulation des défenses naturelles par l'application d'un Lombricompost. Effet sur les paramètres populationnels d'*Aphis fabae* Scop. (Homoptera: Aphididae) et la qualité Phytochimique de la fève. *Lebanese Science Journal*, **18(1)**: 81-97.
- 216 Coche A.G., Muir J.F. & Laughlin T., 1997.** Méthodes simples pour l'aquaculture pisciculture continentale. La gestion les étangs et leur eau. FAO. 50p.
- 217 Tolaimate A., Rhazi M., Alagui A., Desbrieres J. & Rinaudo M., 2008.** Valorization of waste products from fishing industry by production of the chitin and chitosan valorisation des déchets des industries de peche par production de la chitine et du chitosane, *Phys. Chem. News* **42** :120-127.
- 218 Timchenko L.S. & Maiko T.K., 1989.** Nematicidal properties of plants antagonists of nematodes of decorative plants. *Bulleten Vsesoyuznogolnstitutata Gel mintologiiim. K. I. Skryabina*, **50**: 81–84.
- 219 Chaichi W. & Djazouli Z., 2017.** 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*. *Revue Agrobiologia*, **7(1)**: 247-262.
- 220 Philis I., 1984-** the development of *M.Javanica* on tomato in cryprus *nématologica* 30, pp. 470-474.
- 221 Hussey R.S. & Barker K.R., 1973.** A comparison of methods of collecting mocula of *meloidogyne spp.* including a new technique. *Pl. Dis.Reptr.* 57, pp.1025-1028.
- 222 Hammer Ø., Harper D.A.T. & Ryan P.D., 2001.** PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeont. Electron.* **4(1)**: 9pp. [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)

- 223 Phillippeau G., 1986.** Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales. *SESI-ITCF*, Paris.
- 224 Diomandé M., 1981.** Effets direct et combiné des engrais et de *Meloidogyne incognita* sur le riz pluvial. *Revue Nématol.*, **4 (1)** : 71-74.
- 225 Melakabarhan H., Bird G.W. & Gore R., 1997.** Impact of plant nutrition of *Pratylenchus penetrans* infection of *Prunus avium* root stocks. *Journal Nematology*, **29**:381-388.
- 226 Huber D.M., 1980.** The role of mineral nutrition in defense in Plant Pathology. *An Advance Treatise*, **5**:381-406.
- 227 Haougui A., Sarr E. & Alzouma I., 2003.** Effet de l'amendement du sol par les plantes nématicides sur le développement de *Meloidogyne javanica* (Treubn 1885 ; Chitwood, 1949) et la croissance de la tomate. *Annales de l'Université de Niamey*, tome VII, pp. 25-29.
- 228 Anuja B. & Sharma S., 2006.** Biocontrol of *Meloidogyne incognita* in *Lycopersicon esculentum* with AM fungi and oil cakes. *Plant Pathology Journal*, **5**: 166-172.
- 229 Kerkeni A., Horrigue-raouani N. & Etkhedher M.B., 2007.** Effet suppressif de cinq extraits de compost vis-à-vis du nématode à galles *Meloidogyne incognita*. *Nematol. Medit.*, **35**, pp. 15-21.
- 230 Pakeeratan P., Mikunthan G. & Tharshani N., 2009.** Effect of different animal manure on *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) on tomato. *World J. Agric. Sci.*, **5(4)**: 432-435.
- 231 Ismail A.E. & Mohamed M.M., 2012.** Nematicidal potentiality of some animal manure combined with urea against *Meloidogyne arenaria* and growth and productivity of sugar beet under field conditions. *Pak. J. nematol.*, **30(1)**: 57-65.
- 232 Haougui A., Toufique M., Sinaba F., Doumma A. & Adam T., 2013.** Effet de fumiers d'animaux sur le développement de *Meloidogyne javanica* et la croissance du poivron sous serre. *J. Appl. Biosci.*, **67**, pp.5228 – 5235.

- 233 McSorley R. & Frederick J.J., 1999.** Nematode population fluctuations during decomposition of specific organic amendments. *J. Nematol.* **31** : 37–44.
- 234 Cayuela M., Millner P., Meyer S.L.F. & Roig A., 2008.** Potential of olive waste and compost as biobased pesticides against weeds. *Fungi, and nematodes. Sci. Total Environ.* **399** :11–18.
- 235 Hossain M.S., Zahid M.I. & Mian I.H., 1992.** Effect of decomposition period on the efficacy of two oil cakes for control of root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*). *Japanese Journal of Nematology*, **22**: 1-10.
- 236 Abbasi P.A., Riga E., Conn K.L. & Lazarovits G., 2005.** Effect of neem cake soil amendment on reduction of damping-off severity and population densities of plant–parasitic nematodes and soilborne plant pathogens. *Can. J. Plant Pathol.* **27** : 38–45.
- 237 Nwanguama E.I. & Fawole B., 2004.** Efficacy, of organic soil amendment on the populations of *Meloidogyne incognita* on okra in South-Western Nigeria. *Nigerian J. Horticul. Science*, **9**: 89-95.
- 238 Siddiqui Z.A., 2004.** Effect of plant growth promoting bacteria and composted organic fertilizers on the reproduction of *Meloidogyne incognita* and tomato growth. *Bioresource Technology*, **95**: 223-227.
- 239 Regnault-Roger C., Philogène B. & Vincent C., 2008.** Biopesticides d'origine végétale. Paris, *ed.lavoisier*, 546p.
- 240 Rossner, J. & Zebitz, C.P.W., 1986.** Effect of neem products on nematodes and growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants. In: **Schmutterer H. & Ascher, K.R.S., 1986.** Natural pesticides from neem tree (*Azadirachta indica*) A. JUS, and other tropical plants. Proc. 3rd International Neem Conference, Nairobi, Kenya, 10-15.
- 241 Paracer S., Tarjan A.C. & Hodgson L.M., 1987.** Effective use of marine algal products in the management of plant-parasitic nematodes. *Journal of Nematology*, **19**:194-200
- 242 Fan D., Hodges D.M., Zhang J., Kirby C.W., Ji X., Locke S.J., Critchley A.T. & Prithiviraj B., 2011.** Commercial extract of the brown

seaweed *Ascophyllum nodosum* enhances phenolic antioxidant content of spinach (*Spinaciaoleracea* L.) which protects *Caenorhabditis elegans* against oxidative and thermal stress. *Food chem.* **124** :195–202.

- 243 Khan W., Rayorath U.P., Subramanian S., Jithesh M.N., Rayorath P., Hodges D.M., Critchley A.T., Craigie J.S., Norrie J. & Prithiviraj B., 2009.** Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *J. Plant Growth Regul.* **28** :386– 399.
- 244 Baloch G.N., Tariq S., Ehteshamul-Haque S., Athar M., Sultana V. & Ara J., 2013.** Management of root diseases of eggplant and watermelon with the application of asafetida and seaweeds. *J. Appl. Bot. Food Qual.* **86** :138–142.
- 245 Sultana V., Baloch G.N., Ara J., Ehteshamul-Haque S., Tariq R.M. & Athar M., 2011.** Seaweeds as an alternative to chemical pesticides for the management of root diseases of sunflower and tomato. *J. Appl. Bot. Food Qual.* **84** :162–168.
- 246 Featonby-Smith B.C. & Van Staden J., 1983.** The effect of seaweed concentrates on the growth of tomato plants in nematode-infested soil. *Sci. Hortic.* **20** :137–146.
- 247 Wu Y., Jenkins T., Blunden G., von Mende N. & Hankins S.D., 1998.** Suppression of fecundity of the root-knot nematode, *Meloidogyne javanica*, in monoxenic cultures of *Arabidopsis thaliana* treated with an alkaline extract of *Ascophyllum nodosum*. *J. Appl. Phycol.* **10** : 91–94.
- 248 Perez R., 2009.** Ces algues qui nous entourent : Conception actuelle, Rôle dans la biosphère, Utilisation, culture, Quae, 131p.
- 249 Seham M., Hamed A., Amal A., Abd El-Rhman A., Neveen AbdelRaouf B., Ibraheem B.M. & Ibraheem B., 2018.** Role of marine macroalgae in plant protection & improvement for sustainable agriculture technology, Hosted by *ELSEVIER Basic Appl. Sci.* **7**:104–110.
- 250 Mian H.I., Godoy G., Shelby R., Rodriguez-Kabana R. & MorganJones G., 1982.** Chitin amendments for control of *Meloidogyne arenaria* in infested soil. *Nematropica* **12** : 71–84.

- 251 Spiegel Y., Chet I., Cohen E., 1987.** Use of chitin for controlling plant parasitic nematodes. II. Mode of action. *Plant Soil* **98** : 337–345.
- 252 Gotlieb D., Oka Y., BenDaniel B. & Cohen Y., 2003.** Dry mycelium of *Penicillium chrysogenum* protects cucumber and tomato plants against the root-knot nematode *Meloidogyne javanica*. *Phytoparasitica* **31** : 217–225.
- 253 De Jin R., Won Suh J., Dong Park R., Woong Kim Y., Krishnan H.B. & Kim K., 2005.** Effect of chitin compost and broth on biological control of *Meloidogyne incognita* on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Nematology* **7** : 125–132.
- 254 Rodríguez-Ka´ bana R., Morgan-Jones G. & Chet I., 1987.** Biological control of nematodes: soil amendments and microbial antagonists. *Plant Soil* **100** : 237–247.
- 255 Hallmann J., Rodríguez-Ka´ bana R. & Kloepper J.W., 1999.** Chitin-mediated changes in bacterial communities of the soil, rhizosphere and within roots of cotton in relation to nematode control. *Soil Biol. Biochem.* **31** :551–560.
- 256 De Jin R., Won Suh J., Dong Park R., Woong Kim Y., Krishnan H.B. & Kim K., 2005.** Effect of chitin compost and broth on biological control of *Meloidogyne incognita* on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Nematology* **7** :125–132.
- 257 Barber M.S. & Ride J.P., 1994.** Levels of elicitor-active B(1,4) Linked N-acetyl-D-glucosamine oligosaccharides in the lignifying tissues of wheat. *Phys. Mol. Plant pathol.* **45** :37-45.
- 258 Kendra D.F. & Christian D., 1989.** Chitosan oligomers from *Fusarium solani*/pea interaction, chitinase/B-glucanase digestion of sporeling and from fungal wall chitin actively inhibit fungal growth and enhance disease resistance. *Physiol. Mol. Plant pathol* **35** : 215-230.
- 259 Singh S.P., Veena P., Khan A.M. & Saxena S.K., 1986.** Changes in the phenolic contents, related rhizosphere mycoflora and nematode population in tomato inoculated with *Meloidogyne incognita* as a result of soil amendment with organic matter. *Indian journal of nematology*,

15(2):197-201.

- 260 Oka Y. & Yermiyahu U., 2002.** Nematode-suppressive effects of composts against the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* on tomato. *Nematology* **4** :891–898.
- 261 Farahat A.A., Al-Sayed A.A. & Mahfoud N.A., 2010.** Compost and other organic and inorganic fertilizers in the scope of the root-knot nematode reproduction and control of *Meloidogyne incognita* infecting to tomato. *Egypt. J. Agronematol.*, **9**: 18-29.
- 262 Karmani B.M., Jiskani M.M., Khaskheni M.I. & Wagan K.H., 2011.** Influence of organic amendment on population and reproduction of root-knot nematode *Meloidogyne incognita* in eggplants. *Pak. J. Agri. Agril. Engg., Vet. Sci.*, **27 (2)** : 150- 159.
- 263 Swathi P., Rao KT. & Rao PA., 1998.** Études sur le contrôle de *Meloidogyne incognita*, nématode à noeuds racinaires, dans la mini-série sur le tabac. *Tobacco Res.*, **1**:26-30
- 264 Arancon N.Q., Edwards C.A. & Lee S., 2002.** Management of plant parasitic nematode population by use of vermicomposts. Proceedings Brighton Crop Protection Conference, *Pests and Diseases* **2** :705–710.
- 265 Morra L., Palumbo AD., Bilotto M., Ovieno P. & Ptcascia S., 1998.** Solarisation des sols: les greffes de fertilisation organique contribuent à la construction d'un système de production intégré dans une séquence tomate-courgette. *Colture-Protte*. **27** : 63–70.
- 266 Norman Q. A., Galvis P., Edwards C. & Yardim E., (2003).**The trophic diversity of nematode communities in soils treated with vermicompost. *Pedobiologia*, **47**:736–740.
- 267 Serfoji P., Rajeshkumar S. & Selvaraj T. 2010.,** Management of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* on tomato cv Pusa Ruby. By using vermicompost, AM fungus, *Glomus aggregatum* and mycorrhiza helper bacterium, *Bacillus coagulans*. *Journal of Agricultural*

*Technology*, **6(1)**: 37-45.

- 268 Ramesh Kumar K., Nattuthurai N. & Gurusamy R. 2011.** Influence of vermicompost in root- knot nematode management as a function of soil fortification. *Elixir Agriculture*, **38** : 4210-4213.
- 269 Awad-Allah S. F. A. & Khalil M. S., 2019.** Effects of vermicompost, vermicompost tea and a bacterial bioagent against *Meloidogyne incognita* on banana in Egypt. *Pakistan Journal of Nematology*, **37 (1)**:25-33.
- 270 Krause S.M., Madden L.V. & Hoitink H.A.J., 2001.** Effect of potting mix microbial carrying capacity on biological control of *Rhizoctonia* damping-off of radish and *Rhizoctonia* crown and root rot of poinsettia. *Phytopathology*, **91** :1116-1123.
- 271 Scheuerell S.J., Sullivan D.M. & Mahaffee W.F., 2005.** Suppression of seedling damping-off caused by *Pythiu multimum*, *P. irregulare*, and *Rhizoctonia solani* in container media amended with a diverse range of Pacific Northwest compost sources. *Phytopathology*, **95**: 306-315.
- 272 Xiao Z., Liu M., Jiang L., Chen X., Griffiths B.S., Li H. & Hu F., 2016.** Vermicompost increases defense against root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in tomato plants. *Applied Soil Ecology*, **105** :177-186.
- 273 Triantaphyllou A.C., 1969.** Gametogenesis and the chromosomes of two rootknot nematodes, *Meloidogyne graminicola* and *Meloidogyne naasi*. *J. Nematol.*, **1** : 62-71.
- 274 Triantaphyllou A.C., 1973.** Environmental sex differentiation of nematodes in relation to pest management. *Annus Rev. Phytopathol*, **11** : 441-462.
- 275 Ploeg A.T., 200.** Effects of amending soil with *Tagetes patula* cv. Single Gold on *Meloidogyne incognit* infestation of tomato, *Nematology*, **2**: 489–493.
- 276 Bar-Eyal M., Sharon E. & Spiegel Y., 2006.** Nematicidal activity of *Chrysanthemum coronarium* L., *Eur. J. Plant Pathol.*, **114**: 427-433.

- 277 Pérez M.P., Navas-Cortés J.A., Pascual-Villalobos M.J. & CASTILLO P., 2003-** Nematicidal activity of essential oils and organic amendments from Asteraceae against root-knot nematodes, *Plant Pathol.*, **52**:395-401.
- 278 Stirling G.R., 1991.** Biological Control of plant parasitic Nematodes. Progress, Problems and Prospects. CAB International, Wallingford. 282 p.
- 279 Castagnone P., Kremarrec A., Clairon M. & Anais A., 1988.** Effet dépresseur d'un apport de boue résiduaire sur le parasitisme de *Meloidogyne incognita*. Med. Fac. Landbouww Rijksuniv., Gent **53 (26)**: 73-75.
- 280 Ngala B.M., Valdes Y., Dos Santos G., Perry R.N. & Wesemael W.M.L., 2016.** Seaweed-based products from *Ecklonia maxima* and *Ascophyllum nodosum* as control agents for the root-knot nematodes *Meloidogyne chitwoodi* and *Meloidogyne hapla* on tomato plants. *J. Appl. Phycol.* **28** : 2073–2082.
- 281 Pandey, R. & Kalra, A., 2010.** Inhibitory effects of vermicompost produced from agro-waste of medicinal and aromatic plants on egg hatching in *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood. *Current Science*, **98** : 833-835.
- 282 Vallad G.E., Cooperband L. & Goodman R.M., 2003.** Plant foliar disease suppression mediated by composted forms of paper mill residuals exhibits molecular features of induced resistance. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, **63**: 65-77.
- 283 Ismail A.E., Abd-El-Mageed M.M., Rashad A.A. & Awaad M.S., 2011.** Root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* suppression and changes of grapevine yield properties determined by waste residues from jojoba, black seed oil extraction and slow release nitrogen fertilizer. *Nematol.*, **29**: 187-205.
- 284 Annabi M., Bahri H. & Latiri K., 2009.** Statut organique et respiration microbienne des sols du nord de la Tunisie. *Base*, **13(3)** : 401-408.

- 285 Védie H., 2008.** les engrais verts en maraichage biologique. Fiche GRAB, 8p.
- 286 Van Schöll L., 1998.** gérer la fertilité du sol. *agrodok 2.*, 88p.
- 287 Moussouni A., 2014.** Effet des amendements organique sur la régulation de *Meloidogyne* (*Nematoda, Meloïdogynidae*) sur tomate.thèse M2. en phytopharmacie, univ.blida1, 52p
- 288 Vaughan D. & Malcom R.E., 1985.** Influence of humic substances on growth and physiological processes.In Soil organic matter and biological activity. *M. R. E. Vaughan D., eds. Boston, Dordrecht. 37-75.*
- 289 Munnoli PM., Da Silva JAT. & Saroj B., 2010.** Dynamics of the soil-earthworm-plant relationship: Review. *Dynamic soil. Dynamic plant*, 4(Spécial Issue) **1** : 1–21.
- 290 Jayakumar P. & Natarajan S., 2012.** Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential. *Pathma and Sakthivel Springer Plus.***1**:26p.
- 291 Guermache L., Kobbi S., Aroun M.E.F., Merah O. & Djazouli Z., 2018.** Évaluation des changements induits par différents types de vermicompost sur les traits morpho-physiologique et biochimique du haricot vert. *Revue Agrobiologia*, **8(2)**:1072-1084.
- 292 Chaichi W., Djazouli Z., Zebib B., & Merah O., 2018.** Effect of Vermicompost Tea on Faba Bean Growth and Yield. *Compost Science & Utilization*.UCSU#1528908. VOL 0.ISS 0
- 293 Grappelli A., Galli E. & Tomati U., 1987.** Effet de ver de terre sur la fructification d'*Agaricus bisporus*. *Agrochimica*, **2**: 457–462.
- 294 Krishamoorthy RV. & Vajranabiah SN., 1986.** Activité biologique des moulages de vers de terre: évaluation des niveaux de promoteur de croissance des plantes dans les moulages. *Proc Indian Acad. Sci.*, **95** : 341–35.
- 295 Masciandaro G., Ceccanti B. et Gracia C., 1997.** Gestion agro-écologique des sols: traitements de fertigation et de vermicompost.

*Bioresour Technol.*, **59** : 199-206.

- 296 Muscolo A., Bovalo F., Gionfriddo F. & Nardi S., 1999.** La matière humique de ver de terre produit un effet semblable à celui de l'auxine sur la croissance cellulaire et le métabolisme du nitrate de *Daucus carota*. *Sol Biol. Biochem.*, **31** : 1303-1311.
- 297 Senesi N., Saiz-Jiménez C. & Miano TM., 1992.** Caractérisation spectroscopique de complexes analogues à des acides métalliques-humiques de déchets organiques compostés par des vers de terre. *Sci. Total Environ.*, **117-118** : 111-120.
- 298 Tomati U., Grappelli A., & Galli E., 1987.** La présence de régulateurs de croissance dans les déchets de vers de terre. Dans: Bonvicini Paglioi AM, Omodeo P, éditeurs. Sur les vers de terre. Actes du colloque international sur les vers de terre. Colloques et monographies sélectionnés. Union Zoologica Italian. 2. Mucchi: Modena. pp. 423–435.
- 299 Dhriti B., Mahbobeh Z., Pramod R. & Balakrishnan P., 2015.** Seaweed extracts as biostimulants in horticulture, Rview, *Scientia Horticulturae Hosted by ELSEVIER*, **196**: 39–48.
- 300 Stirk, W.A., Arthur, G.D., Lourens, A.F., Novak, O., Strnad, M. & Van Staden, J., 2004.** Changes in cytokinin and auxin concentrations in seaweed concentrates when stored at an elevated temperature *in* Seham M., Hamed A., Amal A., Abd El-Rhman A., Neveen Abdel-Raouf B., Ibraheem B.M. & Ibraheem B., **2018.** Role of marine macroalgae in plant protection & improvement for sustainable agriculture technology, *Hosted by ELSEVIER Basic Appl. Sci.* **7** :104–110
- 301 McHugh D.J., 2003.** A guid to sea weed industry, FAO, Fisheries Technical Paper Rome, Italy, 105p.
- 302 Marfaing H., 2004.** Les algues dans notre alimentation : Intérêt nutritionnel et utilisations. CEVA, Dietecom Bretagne. *Rev Nut. Prat.* 1-9.
- 303 Barsanti L. & Gualtieri P., 2014.** Algae: anatomy, biochemistry, and biotechnology, CRC press.
- 304 Stephenson E., 1972.** Longfellow revised, *in* Dhriti B., Mahbobeh Z.,

- Pramod R. & Balakrishnan P., 2015.** Seaweed extracts as biostimulants in horticulture, Rview, *Scientia Horticulturae Hosted by ELSEVIER* **196**:39–48.
- 305 Anderson G., 2009.** Seaweed extracts shows improved fruit quality at McLaren Vale vineyard trial, *in Dhriti B., Mahbobeh Z., Pramod R. & Balakrishnan P., 2015.* Seaweed extracts as biostimulants in horticulture, Rview, *Scientia Horticulturae Hosted by ELSEVIER* **196**:39–48.
- 306 Krouk G., Lacombe B., Bielach A., Perrine-Walker F., Malinska K., Mounier E., Hoyerova K., Tillard P., Leon S., Ljung K., Zazimalova E., Benkova E., Nacry P. & Gojon A., 2010.** Nitrate-regulated auxin transport by NRT, *in Dhriti B., Mahbobeh Z., Pramod R. & Balakrishnan P., 2015.* Seaweed extracts as biostimulants in horticulture, Rview, *Scientia Horticulturae Hosted by ELSEVIER* **196**:39–48.
- 307 Castaings L., Marchive C., Meyer C. & Krapp A., 2011.** Nitrogen signalling in Arabidopsis: how to obtain insights into a complex signalling network, *in Dhriti B., Mahbobeh Z., Pramod R. & Balakrishnan P., 2015.* Seaweed extracts as biostimulants in horticulture, Rview, *Scientia Horticulturae Hosted by ELSEVIER* **196**:39–48.
- 308 Ferry J. & Ferry J., 1965.** L'agriculture moderne. 3<sup>ème</sup> Ed. Hatier. Paris. France. 288p.
- 309 Chen Y. & Aviad T., 1990.** Effects of humic substance on plant growth. *In: MacCarthy P., Clapp C.E., Malcolm R.L. & Bloom P.R., eds.* Humic substances in soil and crop sciences: selected readings. Madison, WI, USA: American Society of Agronomy, Inc. & Soil Science Society of America, Inc.
- 310 Rauthan B.S. & Schnitze M., 1981.** Effects of a soil fulvic acid on the growth and nutrient content of cucumber (*Cucumis sativus*) plants. *Plant and soil*, **63**: 491-495.
- 311 Cooper, R. J., C. Liu & Fischer D.S., 1998.** Ooting & nutrient content of creeping bentgrass." *Crop Science*. "Influence of humic substances on rooting and nutrient content of creeping bentgrass." *Crop Science*. **38(6)**: 1639-1644.

- 312 Fagbenro J. A. & Agboola A.A., 1993.** Effect of different levels of humic acid on the growth and nutrient uptake of teak seedlings. *Journal of Plant Nutrition* **16(8)**: 1465-1483.
- 313 Eyheraguibel B., 2004.** Caracterisation des substances humiques biomimetiques - effets sur les vegetaux, Thèse de doctorat, ENSAT, Toulouse, France, 231p.
- 314 Chaichi W., Djazouli Z., Zebib B. & Merah O., 2018.** Effect of Vermicompost Tea on Faba Bean Growth and Yield, *Compost science & utilization*, UCSU#1528908, VOL 0, ISS 0.