

UNIVERSITE DE SAAD DAHLAB DE BLIDA

Faculté des Sciences Agro-Vétérinaires et Biologiques

Département des Sciences Agronomiques

MEMOIRE DE MAGISTER

Spécialité : **Biopesticides et gestion phytosanitaire**

**EFFET DES BIOFERTILISANTS SUR L'EVOLUTION DES
METABOLITES SECONDAIRES DES PLANTS DE TOMATE ET LE
DEVELOPPEMENT DES NEMATODES A GALLES DANS DES
CONDITIONS CONTROLEES.**

Par

Fadhéla SAFIDDINE

Devant le jury composé de :

Mr. SNOUSSI S.A.	Professeur., U. S.D.B.	Président
Mr. DJAZOULI Z.E.	MCA., U. S.D.B.	Promoteur
Mme. NEBIH D.	MAA., U.S.D.B.	Co-Promotrice
Mme. GUENDOUZ - BENRIMA A.	Professeur., U. S.D.B.	Examinatrice
Mr. BOUNACEUR F.	MCB., U.I.K.Tiaret	Examineur

Blida, Novembre 2012.

RESUME

Les problèmes agronomiques dus aux différents genres de nématodes sont mondialement connus sur les cultures maraichères. Les espèces de ces genres sont très polyphages et constituent un problème phytosanitaire d'une grande envergure.

Dans un but d'amélioration agronomique, environnementale et économique nous avons envisagé de tester l'effet des dilutions et de modes d'application du jus et thé de lombric sur la physiologie et la qualité phytochimique du support nourricier et sur la structure populationnelle des *Meloidogynes*. Des variations des teneurs des molécules biochimiques des feuilles et des racines de tomate ont été observées durant la période d'essai. Les résultats obtenus ont révélé que le thé et le jus de lombric en fonction de modes d'application et des dilutions ont un effet masculinisateur sur les larves de *Meloidogyne*. Enfin, les résultats ont montré un effet biofertilisant du thé et jus de lombric sur la croissance des plants de tomate variété *Lycopersicum esculentum* (Marmande).

Mots clés :

Lycopersicum esculentum, *Meloidogyne spp*, masculinisation, qualité phytochimique, physiologie.

ABSTRACT

EFFECT OF THE BIOFERTILISANTS ON THE EVOLUTION OF THE SECONDARY METABOLITES OF the TOMATO SEEDLINGS AND THE DEVELOPMENT OF THE NEMATODES HAS WALES UNDER CONDITIONS CONTROLEES.

The agronomic problems due to the various kinds of nematodes are universally known on the market gardening. The species of these kinds are very polyphagous and constitute a plant health problem of a great scale.

With aim of an agronomic, environmental and economic improvement we planned to test the effect of dilutions and modes of application of the juice and the of lombric on the physiology and the phytochimique quality of the feeder support and on the populationnelle structure of the Meloidogyne ones. Variations of the contents of the biochemical molecules of the sheets and roots of tomato were observed during the trial period. The results obtained revealed that the and the juice of lombric according to modes of application and dilutions have a masculinisateur effect on the larvae. Lastly, the results showed a biofertilisant effect of the and juice of lombric on the growth of the tomato seedlings variety *Lycopersicum esculentum* (Marmande).

Key words:

Lycopersicum esculentum, *Meloidogyne spp*, nématocide activity, phytochimique quality, aspect.

تأثير الأسمدة على تطور المركبات الثانوية للنباتات الطماطم و على نوع من الديدان الخيطية ذات العقد الجذرية *Meloidogyne*

المشاكل الزراعية الناتجة عن أنواع مختلفة من الديدان الخيطية على زراعة الخضر هي معروفة في جميع أنحاء العالم و هذه الاخيرة تسبب مشاكل على صحة النباتات بصفة كبيرة.

لغرض التحسين الزراعي ، البيئي و الاقتصادي ، قررنا دراسة تأثير التخفيفات و طريقة استعمال عصير و شاي سماد الديدان على فيزيولوجيا و الجزيئات الكيميائية لشجيرات الطماطم و على الديدان الخيطية ذات العقد الجذرية. تم ملاحظة تغيرات في مستويات الجزيئات الكيميوحيوية من أوراق و جذور الطماطم خلال الفترة التجريبية. النتائج المتحصل عليها بينت ان عصير و شاي سماد الديدان بدلالة التخفيفات و طريقة الاستعمال لها تأثير ذكوري على الديدان الالخطية ذات العقد الجذرية.

أخيرا، أظهرت النتائج ان عصير و شاي سماد الديدان له دور في التسميد الحيوي و له تأثير ايجابي على نمو شجيرات الطماطم.

:

مارماند ، الميلودوجين، الجودة الكيميونباتية، فيزيولوجيا النبات، اثر ذكوري.

REMERCIEMENT

Tout d'abord je remercie de m'avoir donné la santé, le courage et la force pour réaliser ce travail.

Je tiens à exprimer ma plus haute gratitude et mon respect au professeur : Mr. SNOUSSI S.A. qui m'a fait l'honneur de présider le jury de ma soutenance.

Mes vifs remerciements s'adressent aux membres de jury Mr BOUNACEUR FARID et Mme Guendouz Atika; qui ont accepté de consacrer un peu de leur temps précieux pour juger ce travail, et de m'avoir bénéficié de leurs conseils et de leurs avis éclairés.

Je remercie profondément Mr DJAZOULI ; mon promoteur, pour m'avoir encadré lors de ce projet et qui n'a épargné aucun effort pour m'aider à bien mener ce présent travail à terme.

J'adresse également mes sincères remerciements à Mme NEBIH pour son aide et ses conseils.

Je remercie également tout le personnel administratif du département d'agronomie pour son service précieux.

Je remercie sincèrement mes très chers parents, qui ont tout ma gratitude pour leur sacrifice éternel, et qui ont fait tout leur possible pour la réussite de mes études.

Et enfin je remercie de tout mon cœur tous ceux qui m'ont aidé pendant les périodes difficiles, et tout particulièrement Ali.

DEDICACES

Cette thèse est dédiée à :

- ❖ Mes chers parents.
- ❖ Mon mari et ma belle famille.
- ❖ Ma sœur Zineb.
- ❖ Mes deux frères Rachid et Mohamed.
- ❖ A toutes mes amies et collègues.

SAFIDDINE Fadhéla

TABLE DE MATIERES

RESUME

ABSTRACT

REMERCIEMENTS

DEDICACES

SOMMAIRE

LISTE DES ILLUSTRATIONS ET GRAPHIQUES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION 17

**CHAPITRE 1 : Nutrition minérale et la stimulation des défenses
naturelles de la plante..... 20**

Introduction 20

1.1 Généralité sur les éléments essentiels à la vie de la plante..... 21

1.2 Eléments minéraux et exigences des plantes..... 22

1.3 Mécanismes de la nutrition végétale..... 26

1.4 Les fertilisants organiques..... 27

1.4.1 Les engrais minéraux..... 28

1.4.2. Les engrais organo-minéraux 28

1.4.3 Les engrais organiques..... 28

1.4.4 Les amendements organiques..... 29

1.4.5 Les supports de culture..... 29

1.5 Lombricompost..... 29

1.5.1 Le lombricompostage..... 30

1.5.2 Technique de lombricompostage..... 30

1.5.3 Type de lombrics en lombricompostage..... 32

1.6	Stimulation des défenses naturelles des plantes.....	33
1.6.1	Les résistances constitutives.....	34
1.6.2	Mécanismes moléculaires.....	35
1.6.2.1	Reconnaissance de l'agent pathogène.....	35
1.6.2.2	Réponse précoce.....	37
1.6.2.3	Voies de signalisation et réactions de défense.....	37
1.6.2.4	Voie de l'acide jasmonique et production de phytoalexines.....	38
1.6.2.5	Voie de l'acide salicylique et production de protéines PR.....	38
1.6.2.6	Autres molécules signal.....	39
1.7	Caractéristiques générales des SDN.....	39
1.7.1	Intérêt en protection des plantes.....	40
1.7.2	Intérêt technique.....	40
1.7.3	Intérêt environnemental.....	41
1.7.4	Place dans l'agriculture contemporaine.....	42

CHAPITRE 2 : Synthèse bibliographique sur les *Meloidogyne spp.*.... 43

2.1	Généralité.....	43
2.2	Position systématique des nématodes à galles.....	44
2.3	Morphologie des nématodes à galles.....	45
2.4	Biologie et cycle de développement.....	48
2.5	Les facteurs écologiques affectant la différenciation sexuelle du genre <i>Meloidogyne</i>	50
2.5.1	La nutrition.....	50
2.5.2	La densité d'infection.....	50
2.5.3	La résistance de l'hôte.....	50
2.5.4	Inhibiteur ou régulateurs de la croissance des plantes.....	50
2.5.5	Irradiation.....	51
2.5.6	Température.....	51
2.6	Symptômes et notion d'indice de galle.....	51

2.7	Lutte biologique contre les nématodes à galles.....	53
2.7.1	Les champignons nématophage.....	53
2.7.2	Les bactéries parasites.....	54
2.7.3	Les mycorhizes.....	54
 CHAPITRE 3 : MATERIEL ET METHODES.....		56
3.1	Introduction.....	56
3.2	Objectifs.....	56
3.3	Conditions expérimentales.....	57
3.4	Obtention du matériel biologique.....	57
3.4.1	Obtention des plantules de tomate.....	57
3.4.2	Extraction et préparation des larves (L2) de <i>Meloidogyne</i>	58
3.4.3	Obtention de lombricompost.....	59
3.4.4	Préparation des dilutions.....	60
3.5	Dispositif expérimentale.....	60
3.6	Méthodes d'étude.....	62
3.6.1	Effets du mode d'application et des dilutions du thé et du jus de lombricompost sur la qualité phytochimique des plants de tomate.....	62
3.6.1.1	Extraction et quantification de la proline.....	62
3.6.1.2	Extraction et quantification des sucres totaux.....	63
3.6.1.3	Estimation de la quantité d'eau des racines de tomate.....	63
3.6.2	Effets du mode d'application et des dilutions du thé et du jus de lombricompost sur la physiologie des plants de tomate.....	64
3.6.3	Action sur le développement des nématodes à galles.....	64
3.6.3.1	Estimation du taux d'infestation des racines par larves (L2).....	64

3.6.3.2	Estimation du taux de développement des larves (L2) en femelles.....	65
3.6.3.3	Evaluation de la fécondité des <i>Meloidogyne</i>	65
3.7	Analyses statistiques des résultats.....	66
3.7.1	Analyse multivariée (PAST vers. 1.37).....	66
3.7.2	Analyse de variance (SYSTAT vers. 12, SPSS 2009).....	66
3.7.3	Corrélations-régression (SYSTAT vers. 12, SPSS 2009 et Excel™)	67
CHAPITRE 4 : RESULTATS.....		68
4.1.	Tendance générale de l'effet des traitements au jus et au thé du lombricompost sur la physiologie et la physionomie des plants de tomate.....	68
4.1.1	Tendance générale de l'effet des traitements sur l'accumulation des sucres totaux.....	68
4.1.2	Tendance générale de l'effet des traitements sur l'accumulation de la proline.....	69
4.1.3	Tendance générale de l'effet des traitements sur la quantité d'eau.....	70
4.1.4	Tendance générale de l'effet des traitements sur la croissance des plants de tomate.....	71
4.2.	Evaluation de l'effet des traitements au jus et au thé du lombricompost sur la physiologie et la physionomie des plants de tomate.....	73
4.2.1.	Evaluation de l'effet des traitements sur l'accumulation des sucres totaux.....	73
4.2.2	Evaluation de l'effet des traitements sur l'accumulation de la proline.....	74

4.2.3	Évaluation de l'effet des traitements sur la quantité d'eau.....	75
4.2.4	Évaluation de l'effet des traitements sur la croissance des plants de tomate.....	75
4.3	Etude comparée des traitements au jus et au thé du lombricompost sur la physiologie et la physionomie des plants de tomate.....	81
4.3.1	Etude comparée des traitements sur l'accumulation des sucres totaux.....	81
4.3.2	Etude comparée des traitements sur l'accumulation de la proline.....	84
4.3.3	Etude comparée des traitements sur la quantité d'eau.....	86
4.3.4	Etude comparée des traitements sur la croissance des plants de tomate.....	87
4.4	Tendance générale de l'effet des traitements au jus et au thé du lombricompost sur le développement des nématodes à galles (<i>Meloidogyne</i>).....	89
4.4.1	Tendance générale de l'effet des traitements au jus et au thé du lombricompost sur le nombre de galles.....	89
4.4.2	Tendance générale de l'effet des traitements au jus et au thé du lombricompost sur le nombre de larves transformées en femelles.....	90
4.5	Evaluation de l'effet des traitements au jus et au thé du lombricompost sur le développement des nématodes à galles (<i>Meloidogyne</i>).....	91
4.5.1	Evaluation de l'effet des traitements sur le nombre de galles...	91
4.5.2	Evaluation de l'effet des traitements sur le nombre de larves transformées en femelles.....	92
4.6	Etude comparée des traitements au jus et au thé du lombricompost sur le développement des nématodes à galles (<i>Meloidogyne</i>).....	93
4.6.1	Etude comparée des traitements sur le nombre de galles.....	93
4.6.2	Etude comparée des traitements sur le nombre le nombre de larves transformées en femelles.....	95

4.7	Relation entre l'expression de formation de galle et la variation d'accumulation des taux de la proline et sucres totaux.....	96
4.8	Relation entre le nombre de femelles et la variation d'accumulation des taux de la proline et sucres totaux.....	98
	CHAPITRE 5 : Discussion Générale.....	100
	CONCLUSION GENERALE.....	109
	APPENDICES.....	112
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	120

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure 1.1	Les éléments essentiels indispensables à la croissance des plantes.....	21
Figure 1.2	Schéma d'un lombricomposteur verticale.....	31
Figure 1.3	Schéma d'un lombricomposteur horizontal.....	32
Figure 1.4	Schéma explicatif du sacrifice cellulaire.....	35
Figure 1.5	Schéma explicatif de la perception des agresseurs.....	36
Figure 2.1	Meloidogyne sp.....	47
Figure 2.2	Cycle de développement des nématodes à galles.....	49
Figure 2.3	Dégâts sur racines de tomate (A), carotte (B), concombre (C), laitue (D) et sur tomates en serre (E) et melons en plein champ (F).....	52
Figure 2.4	Le champignon <i>Paecilomyces lilacinus parasitans des œufs de Meloidogyne</i>	53
Figure 2.5	Des bactéries <i>Pasteuria penetrans</i> collées sur une larve de Meloidogyne...	54
Figure 2.6	Schéma d' <i>Endomycorhize</i> à arbuscule dans les cellules d'une racine Meloidogyne.....	55
Figure 3.1	Présentation du matériel biologique.....	57
Figure 3.2	Les masses d'œufs des Meloidogynes dans les tamis.....	58
Figure 3.3	Système d'obtention de lombricompost.....	59
Figure 3.4	Schéma directeur de l'effet de jus et thé du lombricompost sur les nématodes à galles, la qualité phytochimique et la physiologie des plants de tomate.....	61
Figure 3.5	Estimation du taux de développement des larves (L3) en femelles.....	65
Figure 4.1	Accumulation des sucres totaux selon les paramètres du traitement en absence de nématodes (a) et en présence de nématodes (b).....	69

Figure 4.2	Accumulation de la proline selon les paramètres du traitement en absence de nématodes(a) et en présence de nématodes (b).....	70
Figure 4.3	Quantité d'eau des racines de tomate selon les paramètres du traitement...	71
Figure 4.4	Tendance générale de l'effet du jus et du thé du lombricompost sur la croissance des plants de tomate en absence de nématodes (a) en en présence de nématodes (b).....	72
Figure 4.5	Analyse multivariée « A.C.P » représentant l'effet de lombricompost sur les taux des sucres totaux en absence (a) et en présence des nématodes (b)...	77
Figure 4.6	Analyse multivariée « A.C.P » représentant l'effet de lombricompost sur les taux de la proline en absence (a) et présence des nématodes (b).....	78
Figure 4.7	Analyse multivariée « A.C.P » représentant l'effet de lombricompost sur les quantités d'eau en absence (a) et présence des nématodes (b).....	79
Figure 4.8	Analyse multivariée « A.C.P » représentant l'effet de lombricompost sur la croissance des plants en absence (a) et présence des nématodes (b).....	80
Figure 4.9	Modulation comparée des sucres totaux selon le mode d'application, la dilution et la nature de traitement en et absence présence des nématodes.	83
Figure 4.10	Modulation comparée de la proline selon le mode d'application, la dilution, la nature de traitement en absence et la présence des nématodes.....	85
Figure 4.11	Variation de la quantité d'eau des racine de tomate selon les différents modes d'application et dilutions du thé et jus de lombric.....	86
Figure4.12	modulation comparée de la croissance moyenne des plants de tomate selon le mode d'application, la dilution et la nature de traitement en présence et absence de nématodes.....	88
Figure 4.13	Effet du jus et thé de lombric sur le taux d'infestation des racines de tomate.....	89
Figure 4.14	Effet de jus et thé de lombric sur le développement des femelles des Meloidogynes.....	90

Figure 4.15	Analyse multivariée « A.C.P » représentant l'effet de jus et le thé de lombricompost sur le nombre de galles de <i>Meloidogyne</i>	92
Figure 4.16	Analyse multivariée « A.C.P » représentant l'effet de jus et thé de lombric sur le nombre de femelles.....	93
Figure 4.17	Modulation comparée de nombre de galles selon le mode d'application, la dilution et la nature de traitement.....	94
Figure 4.18	Modulation comparée de nombre de galles selon le mode d'application, la dilution et la nature de traitement.....	95
Figure 5.1	Schéma expliquant le model hypothétique de l'effet stimulateur des plants de tomate et l'effet masculinisateur de jus et thé de lombric.....	102
Figure 5.2	Schéma expliquant le model hypothétique de la variation de la phytochimie des plants sous l'effet de l'apport de jus et thé de lombric.....	105
Figure 5.3	Schéma expliquant le model hypothétique de la stimulation des paramètres morphologiques de la plante par l'application de jus et thé de lombric.....	108
Tableau 4.1	Modèle G.L.M. appliqué au taux des sucres totaux selon le jus et le thé du lombric (N=360).....	81
Tableau 4.2	Modèle G.L.M. appliqué au taux de la proline selon le jus et le thé du lombric (N=360) :.....	84
Tableau 4.3	Effet de jus et thé de lombric sur la quantité d'eau des racines de tomate à travers l'analyse de la variance.....	86
Tableau 4.4	Effet de jus et thé de lombric sur la croissance des plants de tomate à travers l'analyse de la variance en présence et absence des nématodes.....	87
Tableau 4.5	Modèle G.L.M. appliqué au nombre de galles en fonction de la nature de traitement, dilution et le mode d'application (N=360).....	94
Tableau 4.6	Modèle G.L.M. appliqué au nombre de femelles en fonction de la nature de traitement, dilution et le mode d'application (N=360).....	95

Tableau 4.7	Coefficients r de Pearson et probabilités associées pour l'interaction taux de la proline, sucre totaux et le nombre de galles.....	97
Tableau 4.8	Coefficients r de Pearson et probabilités associées pour l'interaction taux de la proline, sucre totaux et le nombre de femelles.....	99

INTRODUCTION

Dans les années à venir, la production agricole devra faire face à un double défi, répondre aux besoins croissants de la population mondiale tout en préservant l'environnement et les ressources naturelles. En effet, selon les prévisions des Nations Unies, la population mondiale actuellement d'environ 6,3 milliards d'individus atteindra près de 8 milliards d'individus en 2030 [4]. La production agricole devra alors être significativement plus élevée. Les surfaces agricoles ayant atteint leur limite dans de nombreux pays, cette augmentation ne pourra se faire que par une augmentation des rendements. De plus, elle devra tenir compte des contraintes du développement durable en préservant l'environnement et en protégeant les ressources naturelles [60].

La lutte contre les ennemis des cultures a fait d'énormes progrès au cours du 20^{ème} siècle. Ces progrès ont été rendus possibles par des percées scientifiques et techniques notamment en chimie (analytique et de synthèse) et en biologie comportementale (dynamique des populations, analyse des écosystèmes, théorie et pratique de la lutte biologique, biotechnologie) [48]. La gamme des produits phytopharmaceutique contre certains ravageurs est épuisée en raison des nombreuses résistances apparus suite à l'utilisation massive de certains produits. La réduction des pertes de cultures dues à l'impossibilité de contenir les pathogènes et ravageurs devenus résistants aux pesticides permet des gains de production et donc des gains économiques substantiels [5].

Face à ces profils toxicologiques et écotoxicologiques nettement importants constatés au cours de ces dernières décennies et qui sont liés à l'accumulation des résidus de pesticides, il était urgent de développer des méthodes de contrôle et de protection plus écologiques tout comme les approches alternatives complémentaires et innovantes. Cette démarche s'inscrit dans le cadre du développement d'une protection intégrée, raisonnée ou biologique telle que l'utilisation des molécules bioactive [39,90].

Les S.D.N. sont pour l'agronomie une nouvelle porte qui s'ouvre, les produits SDN sont souvent peu phytotoxiques, les doses utilisées sont souvent très basses. Ainsi cette toxicité faible est un plus pour les utilisateurs en terme de sécurité de traitements.

Les résultats positifs de ces produits doivent contribuer à diminuer l'impact des pratiques agricoles sur l'environnement et à diminuer les intrants potentiellement dangereux pour la santé du consommateur et les applicateurs. En effet, l'utilisation de produits stimulants les défenses des plantes devrait permettre de diminuer les applications de produits phytopharmaceutiques, la pression environnementale devant s'en trouver améliorée. Une valorisation auprès des consommateurs de cultures produites dans des schémas plus respectueux de l'environnement sera donc envisagée avec la création possible d'un nouveau label qualité. La stratégie de stimulation des défenses n'est pas une stratégie définitive. Elle doit être complétée par des traitements phytosanitaires curatifs ou, lorsque cela est possible, par d'autres stratégies de protection des végétaux comme la PBI (Protection de Lutte Biologique Intégrée) [90].

La réalisation des engrais verts est une des pratiques de base en agriculture biologique ; elle est souvent considérée comme une des clefs de la réussite des cultures. En maraîchage biologique, les engrais verts constituent une des réponses aux nombreuses préoccupations, 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 suivante. En outre, leur rôle environnemental est fondamental : cultivés en inter-culture automnale, ils limitent le lessivage des nitrates et l'érosion des sols, qui sont autant d'inconvénients dus aux sols nus. L'utilisation des engrais verts peut également répondre à un objectif précis de lutte contre les ravageurs et les maladies. [72].

De nombreux résultats de recherche démontrent clairement les effets positifs de la fertilisation foliaire sur la croissance, le développement et parfois même sur le rendement des cultures [44, 14, 99, 100, 8, 98, 105 et 107]. Les fertilisants foliaires utilisés sont confrontés à des barrières physiques considérables avant d'entrer dans le cytosol des cellules épidermales des feuilles

[73]. Les conditions climatiques et la nature du ou des produits utilisés influencent significativement l'efficacité de ces barrières au passage des micro et macroéléments [93, 94]. Pour toutes ces raisons, la fertilisation foliaire ne devrait être utilisée que dans des cas exceptionnels, par exemple lorsque le niveau de compaction du sol est élevé et que l'absorption racinaire des minéraux est à un niveau anormalement bas. Plusieurs recherches démontrent que l'utilisation de la fertilisation foliaire ne peut être une méthode alternative à la fertilisation racinaire, mais plutôt complémentaire [63, 99, 100, 73]. Bien qu'il en demeure certaines inquiétudes sur l'efficacité de la fertilisation foliaire pour prévenir des carences minérales, son utilisation soutenue pourrait réduire la pollution des sols associée à la surfertilisation du sol, et dans un même temps réduire les coûts associés [41].

Cette étude se propose pour évaluer l'effet stimulateur des défenses naturelles d'un lombricompost. Il s'agit d'évaluer et de comparer l'efficacité de la dilution, du mode d'application et du thé et du jus du lombricompost sur la qualité phytochimique et physiologique du support nourricier et sur les paramètres biologiques des nématodes à galles.

Dans ce contexte, la présente étude rentre dans le cadre de la recherche et d'évaluation de l'effet stimulateur des défenses naturelles d'un lombricompost. Elle a pour premier objectif d'évaluer et de comparer l'efficacité des dilutions et de modes d'application du thé et jus de lombric sur les paramètres populationnels des nématodes à galle, afin de mettre en exergue une des méthodes de lutte intégrée peu coûteuses, efficaces et facilement utilisables par les agriculteurs.

Le deuxième objectif vise donc à approfondir notre connaissance sur les modulations de la qualité phytochimique sous les différents régimes d'apport du lombricompost et mettre en corrélation les affinités qui peuvent subsister entre le support nourricier et la dynamique des populations des *Meloidogyne*.

CHAPITRE 1 :

NUTRITION MINERALE ET LA STIMULATION DES DEFENSES NATURELLES DE LA PLANTE.

- Introduction

Les principes de l'agriculture biologique concernent l'agriculture au sens large, comprenant la façon dont les hommes entretiennent le sol, l'eau, les plantes et les animaux afin de produire, de préparer et de distribuer la nourriture et les autres biens nécessaires à la survie de l'homme [52].

L'agriculture biologique est en fait un système holistique de production animale ou végétale qui optimise la productivité et la santé des différentes communautés de l'agro-écosystème, notamment les organismes du sol, des plantes, du bétail et des humains. Le but principal de l'agriculture biologique est la mise en place d'entreprises productives et durables et leur mise en harmonie avec l'environnement [76].

Bon nombre d'agriculteurs biologiques croient que la réussite d'un système d'agriculture biologique commence avec le sol ; un sol sain produit des plantes saines qui permettent aux animaux et aux humains qui les consomment d'être eux aussi en santé. Ils perçoivent le sol comme un organisme vivant qui est le siège de processus et de formes de vie interdépendants [92].

Les plantes cultivées en serre tirent la plus grande partie de leur alimentation du sol. La fertilité du sol se divise en plusieurs compartiments qui diffèrent tant par la quantité d'éléments qui s'y retrouvent, par la forme sous laquelle ils s'y retrouvent et par la vitesse avec laquelle ces éléments sont fournis à la plante [68].

1.1. Généralité sur les éléments essentiels à la vie de la plante

Parmi les nombreux éléments que l'on peut retrouver dans la composition des tissus végétaux, dix-neuf (19) seulement se sont révélés indispensables à la croissance, au développement et à la reproduction des plantes. Ces éléments essentiels sont :

6 éléments majeurs	O	oxygène	}	3 éléments de l'air et du sol
	C	carbone		
	H	hydrogène		
	N	azote	}	16 minéraux essentiels = ELEMENTS FERTILISANTS
	P	phosphore		
	K	potassium		
S	soufre			
Ca	calcium			
Mg	magnésium			
10 oligo-éléments	Fe	fer		
	Zn	zinc		
	Cu	cuivre		
	B	bore		
	Mn	manganèse		
	Si	silicium		
	Mo	molybdène		
	Na	sodium		
	Co	cobalt		
	Cl	chlore		

Figure 1.1 : Les éléments essentiels indispensables à la croissance des plantes [81].

Les éléments essentiels sont répartis en deux groupes :

- Le carbone, l'hydrogène et l'oxygène qui proviennent de l'air et de l'eau du sol ;
- Les 16 autres, que la plante trouvent sous forme minérale dans le sol, sont appelées éléments fertilisants.

La plante trouve tous ces éléments essentiels dans deux milieux : l'air et le sol. L'air fournit le carbone (assimilé sous forme de CO_2) et l'oxygène, fixé grâce à la photosynthèse. Le sol fournit les éléments minéraux et l'eau.

Parmi les éléments minéraux essentiels, six (6) sont nécessaires en grande quantité, ce sont les éléments majeurs : l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le soufre (S), le calcium (Ca) et le magnésium (Mg). Les trois premiers, N, P et K, sont les éléments minéraux dont la plante a besoin en plus grandes quantités, c'est pourquoi ces 3 éléments sont intégrés dans la composition de la majorité des engrais chimiques.

Des éléments mineurs, dits oligo-éléments, sont également nécessaires en quantité moindre : le fer, le zinc, le cuivre, le bore, le manganèse, le silicium, le molybdène, le sodium, le cobalt et le chlore.

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

Afin de garantir à la fois une disponibilité suffisante pour la plante, et ne pas apporter plus que nécessaire (perte financière et risque écologique), il est utile de connaître exactement le montant exporté par la plante. C'est ce qu'on appelle un bilan d'exportation. Le montant exporté par la culture indique la quantité de fertilisants qu'il faut apporter pour la culture suivante [34].

1.2. Éléments minéraux et exigences des plantes

Un sol fertile doit contenir tous les éléments fertilisants essentiels, en quantités suffisantes et en proportions équilibrées. Les éléments fertilisants

doivent également se trouver sous des formes assimilables. Faute de ces deux conditions, les plantes ne pourront pas atteindre leur plein potentiel de croissance.

Chacun des éléments fertilisants essentiels remplit une ou des fonction(s) spécifique(s) dans la croissance et le développement de la plante. Une carence en l'un d'entre eux aboutit à une croissance réduite ou anormale. Les rôles principaux de chaque élément fertilisant et les effets causés par leur carence sont :

-L'azote (N) qui Joue un rôle primordial dans le métabolisme des plantes. C'est le constituant numéro un des protéines, composants essentiels de la matière vivante. Il s'agit donc d'un facteur de croissance, mais aussi de qualité. La concentration en azote nécessaire pour une croissance optimale varie entre 2% et 5% de biomasse sèche [69].

Dans le sol, l'azote existe sous de très nombreuses formes : *l'azote organique* qui provient des débris de récolte, des fumures organiques (résidus végétaux et animaux de toutes sortes), est insoluble dans l'eau et non assimilable par les plantes ; *l'azote ammoniacal*, qui résulte de la transformation de l'azote organique sous des influences microbiennes, est soluble dans l'eau mais reste peu assimilable par les plantes et *l'azote nitrique*, qui provient de la transformation de l'azote ammoniacal, est extrêmement soluble et très assimilable par les plantes. Il est absorbé par elles sous forme de nitrates. Du fait de sa solubilité, l'azote nitrique est très facilement lessivable par la pluie. L'essentiel de la nutrition azotée des plantes est assurée par les nitrates.

Ces particularités expliquent que son apport soit généralement fractionné (plusieurs apports au cours du cycle de culture). L'azote doit donc être apporté, autant que possible, juste avant son absorption par la plante, afin d'éviter le lessivage vers la nappe phréatique ou les rivières ou la transformation en ammoniac gazeux [34].

-Le phosphore qui se trouve dans le sol sous trois formes : *une forme accessible*, liée au complexe argilo-humique par le calcium et le magnésium ; *une forme combinée*, il est immobilisé, en partie, par les hydroxydes d'aluminium et de fer dans les sols acides (dans ce cas, il est nécessaire de chauler le sol pour le libérer) ; et *une forme insoluble*, en sol calcaire, le phosphore peut être sous forme

de phosphates de calcium, dont certains sont insolubles [53]. Sa concentration moyenne pour une croissance optimale est de l'ordre de 60 $\mu\text{mol/g}$ de matière sèche, ce qui correspond à moins de 0,2 % de la biomasse sèche totale [86].

Le phosphore intervient dans les transferts énergétiques (ATP), dans la transmission des caractères héréditaires (acides nucléiques), la photosynthèse et la dégradation des glucides. Cet élément est essentiel pour la floraison, la nouaison, la précocité, le grossissement des fruits et la maturation des graines. [34]. Il est particulièrement abondant dans les organes jeunes, où les cellules en multiplication intense renferment une plus grande proportion d'acides nucléiques et sont le siège de synthèses particulièrement actives réclamant de l'énergie libérale, du potentiel réducteur, et des sucres phosphorylés.

Ces besoins sont couverts par un mécanisme « d'appel » qui mobilise à partir des autres parties de la plante les composés phosphorés nécessaires aux parties en voie de croissance, la rapidité de cette mise à disposition aboutit à ce que la carence phosphorique se manifeste généralement en premier lieu sur les organes les plus âgés. Néanmoins, c'est souvent en s'adressant à des tissus jeunes que le diagnostic analytique des besoins phosphoriques est le mieux assuré [46].

-Le potassium qui se trouve dans le sol uniquement sous forme minérale. Il provient soit de la décomposition de la matière organique et des minéraux du sol, soit des engrais.

Pour certains minéraux, la quantité présente dans le sol doit être supérieure à la quantité nécessaire ; en effet ils peuvent être présents dans le sol, mais non disponibles pour autant pour la plante. Le potassium est essentiellement retenu par l'humus ou l'argile.

Est très mobile dans la plante. Il joue un rôle primordial dans le développement racinaire, dans l'absorption des cations (ions positifs, p.ex. NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+}), dans l'accumulation des hydrates des protéines, dans l'activation des enzymes de la photosynthèse, dans le maintien de la turgescence de la cellule et la régulation de l'économie en eau de la plante (régulation des stomates). Le potassium est l'ion principal des solutions cytoplasmiques. Le

potassium joue un rôle fondamental dans les processus d'échanges transmembranaires passifs et actifs dans les cellules.

C'est aussi un élément de résistance des plantes au gel, à la sécheresse et aux maladies. Il est essentiel pour le transfert des assimilats vers les organes de réserve (bulbes et tubercules) et il participe activement à améliorer la qualité des fruits et la taille des grains et des semences.

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

Ces plantes, tout comme certaines légumineuses (arachide, niébé, haricot), ont besoin de soufre, d'où l'intérêt d'un apport potassique sous forme de K_2SO_4 plutôt que KCl. On insiste fréquemment sur la nécessité de respecter un rapport entre S et N à tout moment du cycle végétatif. Par exemple, pour l'orge, le rapport S/N recommandé est de 1 pour 3 pour la plante complète et 1 pour 4 pour le grain. Pour le blé, ces deux rapports sont de 1 pour 2,5. Pour le colza, le rapport est de 1 pour 0,8 pour la plante entière, et de 1 pour 0,9 pour le grain (le colza est une plante particulièrement riche en soufre).

D'une façon générale, le soufre n'est que peu fixé dans les sols ; il peut donc y avoir risque de pertes par drainage. Le soufre peut être fourni par le fumier (en moyenne 1,25 unité de SO_3 par tonne), ou des engrais minéraux, tels que le sulfate d'ammoniaque (60 % de SO_3), le superphosphate de chaux simple (plus de 27 % de SO_3) et le sulfate de potasse (45 % de SO_3).

-Le calcium est un constituant fondamental des parois cellulaires, c'est lui qui donne leur résistance tissulaire aux membranes pectiques, intervient dans la division cellulaire (mitose) et dans le maintien de la structure des chromosomes et il possède un rôle important dans les échanges transmembranaires.

Enfin, il est un activateur important d'enzymes et un neutralisant des acides organiques, il favorise aussi la formation et la maturation des fruits et des graines.

Au-delà de ses rôles essentiels au sein de la plante, le calcium améliore également la structure du sol, où il joue un rôle essentiel dans le contrôle du pH (acidité) du sol et donc de la disponibilité des autres éléments du sol pour la plante (certains ions sont rendus inaccessibles à des pH trop faibles ou trop élevés).

-Le magnésium est un constituant primordial de la chlorophylle, il joue donc un rôle important dans la photosynthèse. Il favorise la mobilité des sucres et du phosphore dans la plante et est aussi un activateur important d'enzymes. Comme le calcium, il est aussi destiné à améliorer la structure du sol (et non pas tant à « nourrir » la plante) [34].

1.3. Mécanismes de la nutrition végétale

Les plantes absorbent normalement les éléments fertilisants par leurs racines, bien qu'elles puissent le faire également par leurs feuilles, mais dans une faible mesure et souvent de manière négligeable.

Les éléments fertilisants pénètrent dans les racines sous forme d'ions (particules infiniment petites porteuses de charges électriques). Ces ions peuvent être positifs (cations) ou négatifs (anions). Les cations sont par exemple : l'Ammonium NH_4^+ , le Potassium K^+ , le Calcium Ca^{2+} , le Magnésium Mg^{2+} , le Manganèse Mn^{2+} . Les anions sont par exemple : les Phosphates H_2PO_4^- ou HPO_4^{2-} , les Nitrates NO_3^- , les Sulfates SO_4^{2-} .

Pour être disponibles sous forme d'ions, les éléments fertilisants doivent être en solution dans l'eau du sol. Dans un sol totalement dépourvu en eau, la plante ne pourra pas absorber les éléments minéraux du sol même si ceux-ci sont disponibles en grande quantité.

L'absorption proprement dite de l'eau et des éléments fertilisants se fait à l'extrémité des plus fines racines, dans des organes de taille microscopique

appelés poils absorbants. En raison de la ramification abondante du système racinaire, il y a souvent des millions d'extrémités de racines pour une seule plante adulte. Le nombre de ces extrémités semble être le critère le plus important de l'efficacité d'une plante à prélever dans le sol de l'eau et des sels minéraux. Le développement du système racinaire est donc directement responsable de la capacité qu'aura la plante à se nourrir.

La solution du sol se compose de l'eau et des éléments nutritifs dissous. Cette solution est retenue dans les pores et interstices du sol et la plante doit dépenser de l'énergie pour absorber cette eau et les particules nutritives qu'elle contient.

Les racines dégagent du gaz carbonique (CO_2) qui se combine avec l'eau pour former de l'acide carbonique (H_2CO_3). Les racines excrètent aussi d'autres acides organiques (exsudats racinaires qui participent à la décomposition des éléments minéraux de la roche) dont les composants se dissocient en ions positifs et négatifs. Ceux-ci s'échangent avec les ions analogues (de même charge) présents dans la solution du sol, tels que NH_4^+ , K_+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , H_2PO_4^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , lesquels sont absorbés par les poils absorbants à l'extrémité des racines, puis migrent vers d'autres parties de la plante en suivant le passage de la sève.

L'absorption d'éléments nutritifs est donc un phénomène actif complexe qui nécessite de l'énergie et fait intervenir la respiration (production de CO_2). Dans des sols froids ou des sols asphyxiés (peu d'oxygène), la respiration sera ralentie et l'absorption racinaire limitée. Dans de telles conditions, les carences se manifestent plus fréquemment [34].

1.4. Les fertilisants organiques

Les matières fertilisantes sont des produits destinés à assurer la nutrition des végétaux ou à améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. Elles comprennent les fertilisants minéraux ou organiques (engrais) et les amendements. Pour clarifier le vocabulaire utilisé par la suite, il est nécessaire de préciser leur signification.

1.4.1. Les engrais minéraux

Les fertilisants minéraux sont des substances solides, fluides ou gazeuses contenant un (engrais simple) ou plusieurs (engrais composés) éléments nutritifs majeurs (N.P.K.) sous une forme inorganique. Les engrais azotés sont obtenus par la synthèse de l'azote de l'air et l'utilisation de gaz naturels. Les engrais phosphatés ou potassiques sont réalisés par extraction de minerais, sous forme de roches salines ou sédimentaires transformées. Bien que leur source soit fondée sur des éléments naturels, le recours à des techniques d'élaboration lourdes souvent liées à la chimie leur a valu souvent la connotation d'engrais chimique [17].

1.4.2. Les engrais organo-minéraux (NFU 42-001)

Les fertilisants organo-minéraux contiennent à la fois des matières organiques d'origine végétale et/ou animale et des matières fertilisantes minérales. Ils doivent contenir au minimum 1 % d'azote d'origine organique. On distingue les engrais organo-minéraux azotés et les engrais organo-minéraux composés (N.P.K., N.P., N.K.). Les engrais organo-minéraux N.P.K., N.P. et N.K. doivent posséder une teneur minimale en $N + P_2O_5 + K_2O$ supérieure ou égale à 7 %. La teneur en azote est supérieure ou égale à 3 % pour les engrais organo-minéraux azotés et à 2 % pour les engrais organo-minéraux composés [91].

1.4.3. Les engrais organiques

Les engrais organiques ont un rôle nutritif, mais apportent également de la matière organique s'ils sont constitués de matière végétale. On distingue les engrais organiques azotés tels que le sang desséché, la corne broyée, les déchets de cuir, la farine de plume, le tourteau végétal et les engrais organiques composés (N.P.K., N.P., N.K.) tels le guano de poissons, la vinasse de mélasse [17].

1.4.4. Les amendements organiques

Il s'agit de matière fertilisante composée principalement de combinaisons carbonées d'origine végétale fermentées ou fermentescibles destinées à l'entretien ou à la reconstitution du stock de la matière organique du sol. Les amendements améliorent les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. Les amendements calciques ou magnésiens ont pour rôle principal de maintenir ou d'élever le pH du sol. Les amendements organiques, d'origine végétale, entretiennent ou reconstituent l'humus, donc le stock de matière organique du sol [91].

1.4.5. Les supports de culture

Ce sont des produits organiques contenant des matières fermentées essentiellement végétale ou susceptible de fermenter, mais qui se différencient des amendements organiques par une teneur plus élevée en matières inertes ; matériau permettant l'ancrage du système racinaire de la plante, la circulation de substances nutritives exogènes, et jouant ainsi le rôle de support [61].

1.5. Lombricompost

Le lombricompost est un amendement riche en éléments nutritifs pour les végétaux (azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium). Il améliore l'aération, la structure du sol et augmente sa capacité de rétention d'eau. Son pH est relativement neutre. Les plantes qui reçoivent du lombricompost sont plus productives et généralement plus résistantes aux maladies.

Le lombricompost est une substance brun foncé qui ressemble à du terreau. C'est en fait le résultat du recyclage de matières végétales effectué par des lombrics en utilisant les enzymes de leurs systèmes digestifs pour en faire de l'humus riche en vitamines et minéraux. Le lombricompost est sans odeur car les vers suppriment l'odeur de décomposition des déchets en les digérant, grâce aux enzymes de leur intestin.

1.5.1. Le lombricompostage

Le vermicompostage ou lombricompostage est une méthode écologique de valorisation et de transformation des déchets biodégradables en engrais naturel fondé sur l'utilisation de vers de compost.

Le vermicompostage produit deux engrais naturels, un sous forme solide, le vermicompost ou Lombricompost qui est un amendement organique de premier ordre, l'autre liquide, le thé de compost.

Les déchets sont placés avec les vers dans un récipient appelé vermicomposteur ou lombricomposteur dans lequel est reconstitué un milieu favorable. Les vers se nourrissent des déchets qu'on leur apporte, leurs déjections s'accumulent et constituent le lombricompost. L'eau contenue dans les déchets qui percole à travers le lombricompost en formation constitue le thé de compost [15].

Le lombricompost est un amendement homogène et efficace permettant d'accroître la fertilité des sols en utilisant les matières organiques disponibles. De plus, le lombricompost présente des niveaux de contamination en microorganismes pathogènes bien plus faibles que le compost conventionnel [77].

1.5.2. Technique de lombricompostage

L'intérêt pour le lombricompostage de déchets organiques s'est intensifié au cours des vingt dernières années. Il s'agit essentiellement d'un système technologique à faible coût lorsqu'il est mis en œuvre en fonction des matières organiques disponibles localement [43].

Il existe beaucoup de conteneurs différents pour faire du lombricompostage. Ils peuvent être en bois, en plastique ou encore en frigolite, avec un aspect plus ou moins esthétique selon les constructeurs. On peut toutefois les classer en trois catégories qui partagent toutes le même principe de fonctionnement du lombricompostage : les avantages sont les mêmes et les

résultats identiques. Les différences se situent au niveau pratique et/ou de l'encombrement. [82].

-Lombricomposteur verticale : un seul bac est le lombricomposteur la plus simple. Un conteneur basique avec un robinet dans le fond suffit. Les déchets sont alors simplement déposés par le haut comme on le ferait avec une poubelle classique. Simple, peu onéreux et ne nécessitant pas de grands espaces, ce simple bac complique la récolte. À ce moment il faudra sortir tout le contenant, séparer les déchets non encore transformés pour les remettre au fond et surtout trier le lombricompost des vers. [45].

Inspiré de la technique du silo, ce dispositif permettra de traiter de plus grandes quantités de matière. On veillera cependant à ce que la température ne s'élève pas trop en raison du volume plus important de déchets accumulés. Une température supérieure à 40°C est mortelle pour les vers qui fuiront la compostière. [30].

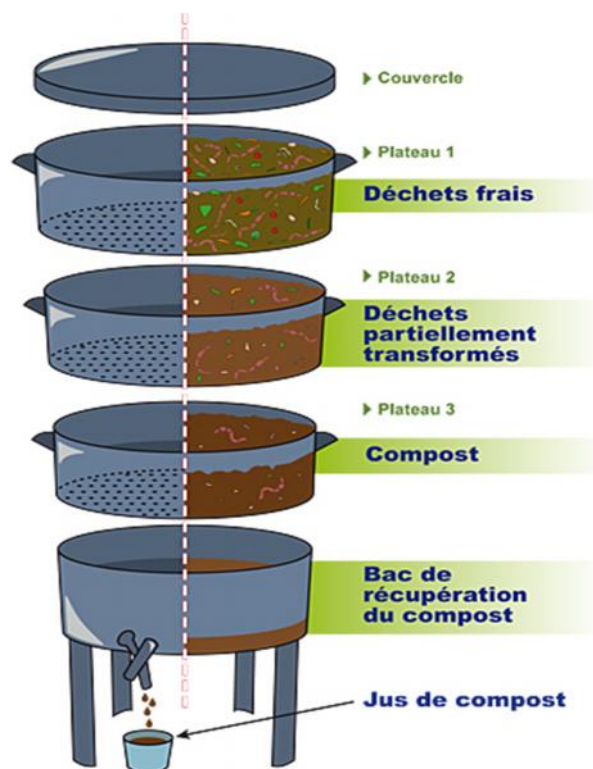


Figure 1.2: Schéma d'un lombricomposteur verticale [45].

-Lombricomposteur horizontal : Ce lombricomposteur inclut deux bacs contigus (voire plus), ce qui permet une 'rotation'. Lorsqu'un bac est plein, le dépôt des déchets se fait dans le second, la séparation entre les deux étant prévue pour, les vers vont alors simplement migrer pour effectuer la transformation de ces nouveaux déchets. Ainsi quand arrive la fin du second bac, le premier est entièrement composté et peut être directement récolté (à quelques exceptions de vers fureteurs près).

Un bac de récupération du thé de vers (les liquides) est tout de même nécessaire sous le lombricomposteur.

Le principal inconvénient est une répartition non homogène des vers, la limite entre les deux bacs étant au milieu, les déchets sur les extrémités sont moins valorisés [45].



Figure 1.3: Schéma d'un lombricomposteur horizontal [45].

1.5.3. Type de lombrics en lombricompostage

Certaines espèces de vers de terre peuvent consommer des résidus organiques très divers. Si la famille des Lumbricidae ne constitue que 10 % des 3000 espèces de lombrics, les espèces qui la constituent sont largement distribuées dans le monde [82]. Annonce que trois espèces de vers sont communément utilisées en Europe, et dans les pays tempérés pour pratiquer le lombricompostage, appréciées pour leur voracité et leur prolifération rapide.

- *Eisenia foetida*, ou "ver de fumier", est un ver rouge tigré de gris ou de jaune qui se nourrit surtout de matières organiques en décomposition.
- *Eisenia andrei*, ou "ver de Californie", est un ver de couleur très rouge qui préfère les matières organiques plus fraîches. Malgré son nom il est originaire de nos contrées.
- *Eisenia hortensis* ou *Dendrobeana veneta* de couleur rosée pâle. [45].

1.6. Stimulation des défenses naturelles des plantes

Dans la nature, la règle générale chez les plantes est la résistance. Par contre, lorsqu'une épiphytie se développe, elle peut avoir des conséquences particulièrement graves : la sharka des arbres fruitiers, le feu bactérien, le phylloxéra, la graphiose, la jaunisse des agrumes, le chancre coloré du platane, le mildiou. Lorsqu'une plante est contaminée (virus, bactéries, champignons, mycoplasmes...) il n'existe aucun traitement curatif. Seule la prévention est susceptible de protéger efficacement les cultures.

Actuellement les biotechnologies qui ont été développées font appel à la chimiothérapie, la lutte biologique, la transgénèse et, très récemment la phytothérapie qui stimule les défenses naturelles (SDN) de la plante cultivée [64].

Les SDN offrent une stratégie supplémentaire dans les programmes de lutte contre les pathogènes des cultures au champ. Ils ont montré une efficacité relative difficilement comparable avec celle des traitements chimiques ordinaires et peu adaptée aux exigences actuelles de production : c'est pourquoi les recherches doivent être poursuivies quant au mode d'action, à la formulation, au mode d'application de ces produits délaissés par l'industrie phytosanitaire mais qui suscitent l'intérêt de petites entreprises de biotechnologies végétales. Ainsi, on pourra envisager la cohabitation des méthodes de lutte « classiques » et des SDN, selon un usage plus raisonné.

Cette nouvelle approche, dénommée lutte intégrée, constitue une réponse non négligeable aux attentes grandissantes de respect de l'environnement et de la santé humaine, enjeu dont est pleinement consciente l'industrie phytosanitaire. [7].

1.6.1. Les résistances constitutives

Au cours de l'évolution, les plantes, soumises aux agressions physiques, chimiques et biologiques de leur environnement, ont renforcé leurs défenses constitutives en faisant appel à des processus particulièrement ingénieux dont voici quelques exemples :

-Les résistances physiologiques Les plantes, au cours de leur évolution, ont mis en place des barrières protectrices contre les bioagresseurs : cuticule, paroi pectocellulosique. Ces barrières mécaniques leur confèrent une résistance constitutive, notamment face aux agents pathogènes [53]. Mais si ceux-ci réussissent à les franchir, ils ont affaire aux mécanismes de défense active [7].

-Les résistances biochimiques en réponse à tout stress (physique, chimique ou biologique) les plantes peuvent biosynthétiser des molécules qui sont aussi toxiques pour elles-mêmes que pour l'agresseur (biologique). Ce sont les phytoalexines. De la rapidité et de l'intensité de la réponse dépendra l'efficacité de la résistance. Dans le cas d'une réaction d'hypersensibilité, une synthèse rapide et de forte intensité entraînera le « sacrifice » d'une zone cellulaire de la plante qui isolera le parasite dans des cellules mortes et remplies de phytoalexines et autres substances toxiques. Cette pratique entraîne la plupart du temps la mort de l'envahisseur.

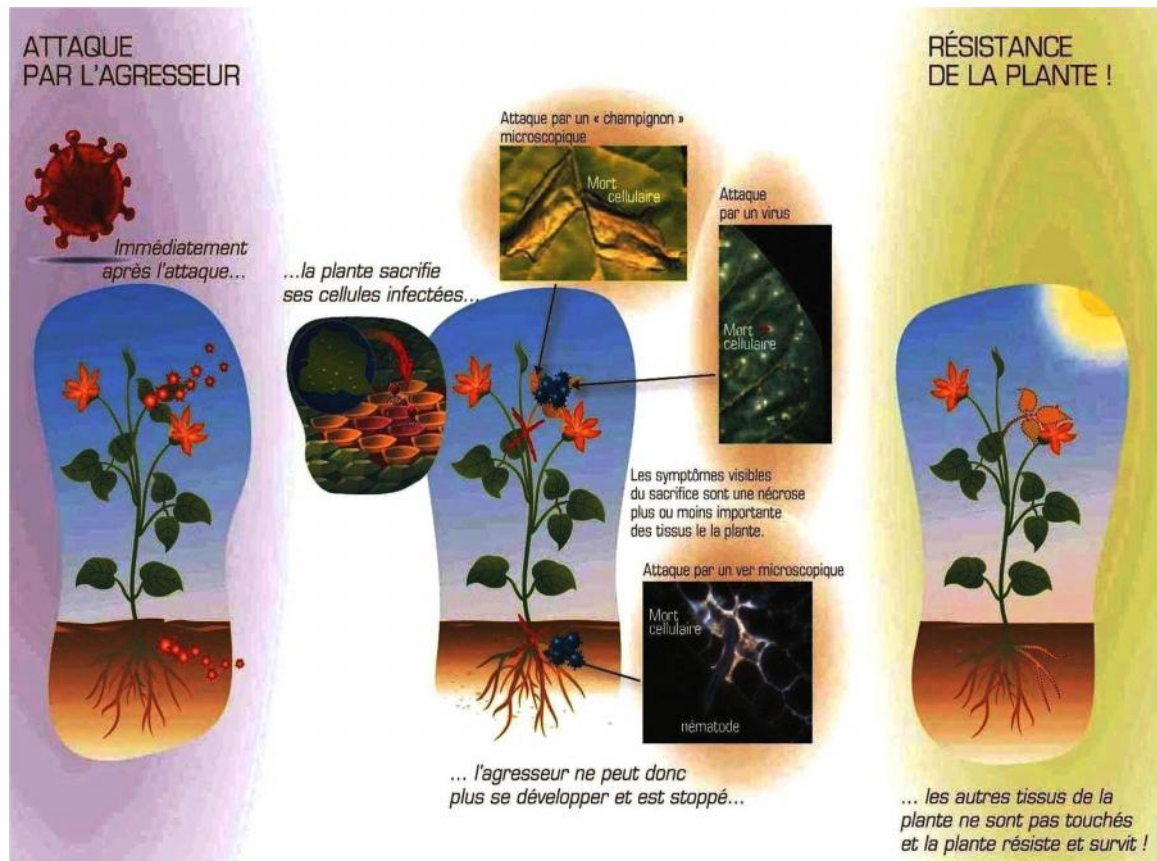


Figure 1.4: Schéma explicatif du sacrifice cellulaire (photo INRA).

La réaction d'hyper sensibilité correspond à une résistance, alors qu'une réaction de sensibilité conduit à la mort du végétal. L'exemple le plus connu est celui du *resvératrol* de la vigne qui a, outre la propriété d'être toxique, pour les champignons, celle d'être à l'origine d'effets non intentionnels bénéfiques à la santé de l'homme. Cette molécule a en effet des propriétés anticancéreuses, antithrombotiques et antioxydantes [64].

1.6.2. Mécanismes moléculaires

1.6.2.1. Reconnaissance de l'agent pathogène

La perception d'un agent pathogène implique la reconnaissance d'un éliciteur spécifique ou non spécifique (le terme éliciteur a pour origine étymologique le verbe anglais *to elicit* : provoquer).

Le cas le plus connu d'éliciteur spécifique est une protéine exogène synthétisée à partir du gène d'avorulence dans la relation gène pour gène présentée précédemment et qui est reconnue par une protéine végétale codée par le gène de résistance, jouant le rôle de récepteur. La réaction d'hypersensibilité peut être provoquée par d'autres types d'éliciteurs que l'on nomme les éliciteurs généraux.

Les éliciteurs généraux, exogènes ou endogènes, sont de nature chimique variée [34]. Les éliciteurs exogènes sont des molécules provenant directement de l'agent pathogène, par exemple des β -glucanes ou la chitine issue de la paroi des champignons agresseurs [53]. Les éliciteurs endogènes sont des molécules issues de la plante elle-même ; ils peuvent être libérés une fois que la cellule a été attaquée, notamment lors de la dégradation de la paroi cellulaire. Ce sont par exemples des fragments polysaccharidiques ou des oligogalacturonides provenant de la dégradation de la pectine [53, 83].

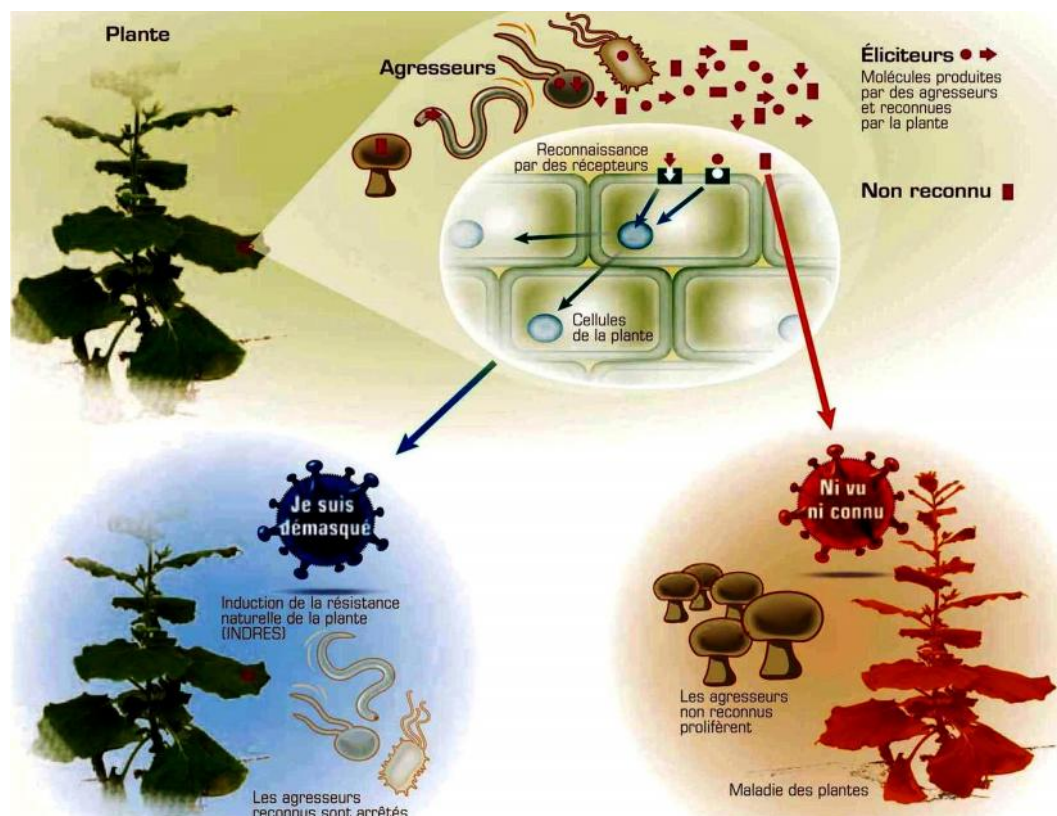


Figure 1.5: Schéma explicatif de la perception des agresseurs (photo INRA).

1.6.2.2. Réponse précoce

Elle a lieu quelques minutes après la reconnaissance des éliciteurs. Cette réponse se manifeste séquentiellement par :

- Des flux ioniques à travers la membrane plasmique (influx d'ions calcium et de protons, efflux d'ions potassium et chlorure) ;
- L'activation de protéines kinases, permettant des phosphorylations et déphosphorylations de protéines ;
- L'activation des protéines G généralement associées à des récepteurs membranaires ;
- La production de formes très réactives de l'oxygène [31, 56].

Concernant ces formes réactives de l'oxygène, attardons nous sur l'anion superoxyde O_2^- et le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 , qui est la forme la plus stable. Ceux-ci sont essentiellement produits par la NADPH oxydase, localisée sur la membrane des cellules végétales. Leur action dans le cadre d'une réponse précoce est directe : le H_2O_2 inhibe la germination de spores de plusieurs champignons pathogènes.

Les radicaux oxydants renforcent aussi la paroi végétale en polymérisant des protéines de la paroi végétale et provoquent la mort des cellules végétales en peroxydant les lipides de leur membrane [53]. La réponse précoce est ensuite amplifiée par des réactions de défense proprement dites qui sont le plus souvent induites *via* une cascade de signalisation.

1.6.2.3. Voies de signalisation et réactions de défense

Epaississement de la paroi Pour lutter contre l'action d'enzymes microbiennes digérant la paroi cellulaire végétale, la plante la renforce par diverses macromolécules qu'elle synthétise : protéines, polysaccharides ou

polymères aromatiques (ressemblant à la lignine) [53]. Or la dégradation fongique de ces parois accélère encore plus la mise en place d'une résistance puisque les oligosaccharides obtenus servent d'éliciteurs endogènes.

1.6.2.4. Voie de l'acide jasmonique et production de phytoalexines

Les phytoalexines sont des antibiotiques végétaux synthétisés au cours de la réaction d'hypersensibilité ou lors de la SAR. Leur synthèse peut-être provoquée par des métabolites secondaires issus de la réponse précoce comme H_2O_2 ou le monoxyde d'azote NO qui joue le rôle de signaux.

Cependant, la voie royale de synthèse des phytoalexines est celle de l'acide jasmonique. L'acide jasmonique et son ester méthylique sont responsables de la synthèse des enzymes qui produisent les phytoalexines. Notons au passage que l'acide jasmonique, synthétisé à partir de l'acide linoléique, est un analogue structural des prostaglandines [9].

1.6.2.5. Voie de l'acide salicylique et production de protéines PR

Les protéines de défense les plus connues sont les protéines PR (*Pathogenesis Related*). Elles ont la propriété de résister à l'activité de protéases issues de la plante ou du pathogène. Elles peuvent attaquer l'agresseur, comme les chitinases capables de dégrader la paroi des pathogènes [3]. La voie de signalisation principale conduisant à leur synthèse est celle de l'acide salicylique. Cette molécule dérivée de la phénylalanine (et précurseur de l'aspirine) joue un rôle clé de messenger secondaire dans la mise en place des défenses de la plante. Des études tendent à montrer que l'acide salicylique est le signal responsable de l'établissement de la SAR, mais cela reste à prouver.

Des chercheurs ont cependant observé son accumulation dans les plantes suite à une infection locale [67, 75] mais il ne semble pas agir de façon systémique dans la plante [38]. Il participerait également à la réaction HR et au confinement de l'agresseur sur le site primaire [53].

1.6.2.6. Autres molécules signal

Les radicaux oxydants présents dans la réponse précoce peuvent activer la synthèse de gènes de défense et provoquer ainsi la synthèse de protéines de défense [31]. On peut citer le monoxyde d'azote, reconnu comme relais assurant et amplifiant des signaux d'origine végétale [56]. Les formes oxydantes agissent aussi comme des molécules signal dans le déclenchement de la mort cellulaire programmée [31].

L'éthylène est également un médiateur chimique intéressant. Cette hormone végétale volatile est fortement produite en cas de réaction hypersensible. L'éthylène peut induire et stimuler les enzymes de la biosynthèse de phytoalexines, de lignification mais aussi de la biosynthèse de protéines PR [57].

1.7. Caractéristiques générales des SDN

Les SDN ont par nature des caractéristiques en commun. Ainsi, ils sont inactifs sur l'agent pathogène puisqu'ils agissent sur la plante. Ce critère est très fréquemment utilisé en laboratoire pour les discriminer. Par exemple, l'équipe de M. Couderc et a travaillé sur un SDN qui est inactif si appliqué directement sur le champignon *Botrytis cinerea*, même à très forte dose [20]. Deuxième caractéristique, les changements observés au niveau biochimique sont identiques à ceux naturellement présents dans les plantes. C'est également un critère utilisé au laboratoire, avec une dimension quantitative puisque la mesure de ces molécules qui marquent une résistance induite renseigne sur l'efficacité du SDN. Les molécules mesurées peuvent être des protéines PR [3, 20, 62], une enzyme intervenant dans la synthèse de l'acide salicylique, la PAL [3], une phytoalexine [52] ou des peroxydases qui participent à la production d'espèces actives de l'oxygène [70]. Une commission de l'Association française de protection des plantes (AFPP) est même actuellement en réflexion pour décider si l'évaluation du pouvoir des SDN peut se faire sur la base de ces marqueurs induits du métabolisme des voies de défense des plantes.

À ces caractéristiques intrinsèques s'ajoutent des propriétés qui leur sont liées. Ainsi, les SDN sont généralement dépourvues de toxicité pour les êtres vivants et pour l'environnement et complètement biodégradables. [7]

1.7.1. Intérêt en protection des plantes

Les SDN sont donc une nouvelle voie que la science a ouverte dans le domaine de la protection des plantes. Il reste cependant à bien préciser leur intérêt pour l'agriculture, aussi bien sur les plans technique qu'environnemental. Enfin, nous verrons quelle place peut prendre ces nouveaux moyens de lutte dans l'agriculture contemporaine. [7]

1.7.2. Intérêt technique

On l'a vu précédemment, les SDN induisent les réactions de défense de la plante, qui mobilise alors ses moyens propres. Or le plus souvent il s'agit d'une résistance systémique acquise, qui est efficace contre un large spectre d'agresseurs. C'est un confort pour l'agriculteur, en même temps qu'une économie du nombre de passages au champ par rapport à l'application de plusieurs spécialités ciblées. De plus, ce large spectre de résistance permet d'envisager une lutte contre les viroses et les phytoplasmoses contre lesquelles on ne possède actuellement aucun traitement. Les SDN sont aussi souvent efficaces sur un grand nombre de cultures, ce qui peut sauver des cultures mineures pour lesquelles le nombre de produits phytosanitaires disponibles est quasi-nul. [7]

Parce qu'ils ont un mode d'action indirect, il semble impossible que les SDN entraînent des résistances (qui seraient en fait des résistances aux propres systèmes de défense de la plante) [42, 65]. Qui plus est, l'utilisation de SDN en alternance avec des produits phytosanitaires « classiques » permettrait d'éviter ou de retarder l'apparition de résistances à ces produits et donc augmenterait leur durabilité. Or c'est là un enjeu majeur de la protection des plantes pour les années à venir.

Nous avons déjà évoqué la question de l'efficacité de ces molécules au champ, qui souvent n'arrive pas à la hauteur des espérances permises par les essais en laboratoire, sans que l'on sache pourquoi.

Ainsi, si les SDN ne supplantent pas les produits « classiques », il devrait néanmoins trouver leur place dans les programmes de lutte. Surtout que certaines expérimentations s'accordent pour montrer que l'association d'un fongicide et d'un SDN est significativement plus efficace que la simple juxtaposition des deux produits [42, 52]. Il y aurait un effet de synergie intéressant à exploiter, permettant de réduire encore plus le nombre de traitements fongicides grâce au gain d'efficacité.

1.7.3. Intérêt environnemental

Les SDN sont le plus souvent des analogues ou des dérivés de molécules naturelles, efficaces à très faible dose et avec un profil éco-toxicologique généralement bon (certains sont même exempts de classement toxicologique et éco-toxicologique, comme Iodus 40R). Ce sont donc des molécules très respectueuses de l'environnement, ce qui est crucial quand on sait qu'il s'agit d'une préoccupation majeure du public comme des pouvoirs publics et des agriculteurs, concrétisée notamment à travers les exigences de la Directive européenne 91/414 définissant un nouveau cadre pour l'autorisation de mise sur le marché des pesticides. Par conséquent, elles n'ont généralement pas de contraintes de limite maximale de résidus (LMR) et de délai avant récolte (DAR) d'où une meilleure flexibilité pour l'utilisateur.

Enfin, les SDN sont une méthode de lutte qui complète bien les autres méthodes utilisées, comme la lutte chimique mais aussi la lutte biologique (les SDN n'ont aucun effet sur les auxiliaires), la sélection variétale, les pratiques culturales. . . Elles ont donc leur place dans les programmes de gestion intégrée des ravageurs (*Integrated Pest Management* ou IPM) qui se développent de plus en plus, notamment dans une optique de respect de l'environnement [7].

1.7.4. Place dans l'agriculture contemporaine

Il reste la question importante de la place que les SDN peuvent prendre dans l'agriculture contemporaine, notamment face à la lutte chimique « classique ». Nous pensons qu'il serait illusoire de vouloir remplacer l'un par l'autre, d'autant qu'une cohabitation semble bénéfique (cf. la synergie évoquée au chapitre [104, 1, 33], que ce soit au sein d'un programme de lutte ou d'une formulation. Or il y a des cultures pour lesquelles le programme de lutte est très chargé (comme la vigne et ses 20 traitements fongicides par an) et où le remplacement de 2 ou 3 traitements par des SDN pourrait être envisagé [24].

Ce serait déjà d'un intérêt évident pour les raisons environnementales et techniques évoquées précédemment et « éthiquement satisfaisant » [24]. Autre exemple, sur des cultures à cycle court comme le chou-fleur d'automne ou le chou-fleur Romanesco, un traitement SDN conférant une protection durable (30 jours) serait suffisante pour lutter contre le mildiou et remplacerait plusieurs traitements fongicides, avec en plus un gain économique [109].

Enfin, les SDN ont un rôle important à jouer dans les programmes de lutte intégrée, ceux-là même qui tendent à réduire l'utilisation des produits phytosanitaires « classiques », notamment en leur apportant une nouvelle approche, un complément d'efficacité et une plus grande flexibilité [65].

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

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

Cela correspond à une vision d'une agriculture technicienne, plutôt intégrée et non intensive [7].

CHAPITRE 2:

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES MELOIDOGYNE SPP.

2.1. Généralité

Les Meloidogyne sont appelés “nématodes à galles” ou “nématodes des racines noueuses”. [97]. Sont des endoparasites sédentaires qui se développent à l’intérieur des racines de la plante hôte. Leur développement sur ces dernières engendre la formation des galles. En Algérie ces nématodes sont connus depuis longtemps, leur présence a été signalée pour la première fois par [95] et enfin, par [59]. Les agriculteurs en Algérie connaissent bien ce type de nématodes à cause des déformations provoquées sur le système racinaire. Ils les désignent sous le nom de « maladie de la patate ».

Les nématodes à galles des racines sont de redoutables bio-agresseurs. Ce sont des vers microscopiques telluriques, vivant dans le sol. Les galles qu’ils provoquent sur racines étant cachées sous terre, il est bien tard pour agir quand les plantes sont atteintes. Par ailleurs, vivant dans le sol et la plupart du temps à l’intérieur des racines, ils sont difficiles à atteindre. Ils présentent une incidence économique très importante à l’échelle mondiale car ils sont largement répandues sur le globe et s’attaquent aussi bien aux grandes cultures (céréales, pommes de terre, betteraves...), qu’aux cultures maraîchères, florales et fruitières. Le problème est particulièrement préoccupant dans les jardins potagers et les systèmes maraîchers méditerranéens (Espagne, Afrique du nord, Sud de la France...) où les conditions optimales de leur développement sont réunies : températures élevées et successions de plantes sensibles (salades, cucurbitacées, solanacées [28].

Les *Meloidogyne* sont largement distribués dans toutes les régions tropicales et subtropicales du monde [16]. Ils s’attaquent à toutes les cultures, les plus sensibles sont les solanées (tomate, poivron, aubergine), les cucurbitacées (melon, concombre), les légumineuses (haricot vert) etc. ces nématodes causent

des dégâts sous un climat tempéré, mais ils sont vraisemblablement plus destructeurs sous un climat chaud (tropical et subtropical) [26 ; 25] .

En Algérie, de nombreux travaux ont signalé la présence des nématodes à galles sur diverses cultures [95 ; 2]. La caractérisation morpho-anatomique des espèces du genre *Meloidogyne* ont permis de mettre en évidence la présence des trois principales espèces à savoir : *M. Incognita*, *M. Javanica*, et *M. Arenaria*, avec une dominance de *M. Javanica* dans les zones sahariennes et *M. Incognita* dans les zones du littoral [96 ; 79].

2.2. Position systématique des nématodes à galles

Si les nématodes phytoparasites dans leur ensemble n'ont acquis droit de cité dans la pathologie végétale que depuis une vingtaine d'années. Le groupe qui constitue le genre *Meloidogyne* est connu depuis longtemps, non seulement des spécialistes de la défense des cultures, mais des cultivateurs eux-mêmes. Ils le doivent à deux particularités : les symptômes facilement identifiables qu'ils provoquent et leur grande ubiquité [25]. Les galles sur les racines sont connues depuis 1805 en Floride, USA. Plus tard, en 1855, BERKELEY a fait la première description des Helminthes causant les galles sur les racines de concombre en Angleterre. En 1983, de manière indépendante, les descriptions de NEAL [78] sont apparues aux USA.

Tous les nématodes qui provoquent des galles sur les racines étaient autrefois considérés comme appartenant à une seule espèce connue *Heterodera radicum* et *H. marioni*. Sur la base des investigations morphologiques détaillées, Chitwood [66] a séparé les nématodes à galles dans un groupe spécifique et les a inclus dans le genre *Meloidogyne* érigé pour la première fois par GOLEDI en 1887 et caractérisé par CORNU en 1879 [23 ; 12]. Il a décrit cinq espèces de *Meloidogyne* dont quatre restent encore aujourd'hui les principaux ravageurs des cultures maraîchères [74].

Selon [6], l'identification des espèces est une tâche assez ardue. Elle se fait par observation microscopique des caractères morphologiques (longueur et

largeur du corps, forme et longueur du stylet et des spicules etc..) des larves, mâles et femelles [6]. Selon [32], le caractère le plus utilisé dans la systématique des *Meloidogyne* est la morphologie de la région périnéale des femelles, localisé dans la partie postérieure du corps de ces dernières.

La classification des *Meloidogyne* établie par REDDY [88] :

Règne :	<i>Animal</i>
Sous-règne :	<i>Métazoaires</i>
Embranchement :	<i>Némathelminthes</i>
Classe :	<i>Nematoda</i>
Sous-classe :	<i>Secernenta</i>
Ordre :	<i>Tylenchida</i>
Super-famille :	<i>Tylenchoidea</i>
Famille :	<i>Meloidogynidea</i>
Sous-famille :	<i>Meloidogynae</i>
Genre :	<i>Meloidogyne</i>

2.3. Morphologie des nématodes à galles

Les *Meloidogyne* sont des nématodes endoparasites sédentaire, ils sont caractérisés par un dimorphisme sexuel très marqué. Les femelles sont piriformes à sphériques, longues de 500 à 1200µm et larges de 300 à 600µm. La plus grande partie du corps est occupée par les deux ovaires qui débouchent dans le vagin. Dans la partie postérieures six glandes se sont développées et débouchent dans le rectum. Ces glandes produisent la substance gélatineuse dans laquelle les œufs sont englobés [70.a]. TYLER [103] affirme que le nombre des œufs pondus par une femelle, environ deux mois après l'inoculation, pouvait varier de 1.400 à près de 3.000 selon l'hôte.

Les mâles formés après la 4^{ème} 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, longs de 0.8 à 2 mm. Ils présentent un ou deux testicules débouchant avec l'intestin dans un cloaque où se trouvent deux spicules, organes copulateurs qui

font saillie à l'extérieur. Ils possèdent un stylet de 2 fois la largeur des lèvres, mince avec des boutons [51] mais il est probable qu'il ne soit pas fonctionnel. Les mâles ne se nourrissent pas, mais vivent sur les réserves contenues dans la paroi de leur intestin [25].

Les larves de 2ème stade sont vermiformes, pointues à l'extrémité postérieure. Elles ont une longueur variant de 0,3 à 0,5 mm et un diamètre d'environ 10 µm. Leur cavité générale est occupée presque totalement par le système digestif. Il comprend la bouche, s'ouvrant à l'extrémité antérieure l'œsophage, puis l'intestin qui débouche dans le rectum. La bouche contient un stylet creux et protractile [25].

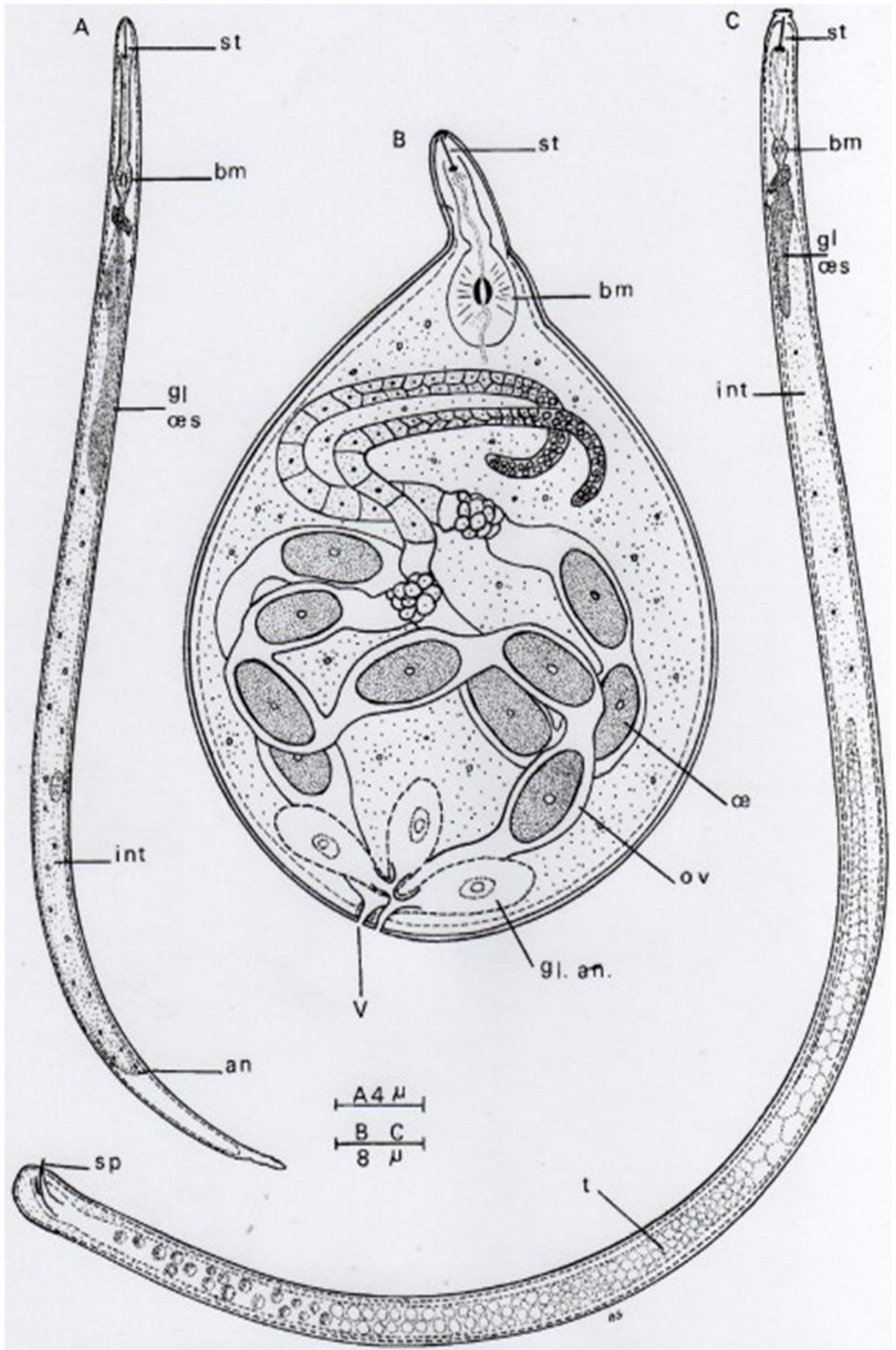


Figure 2.1 : Meloidogyne sp. **A** : Larve de deuxième stade (stade libre) ; **B** : Femelle adulte ; **C** : Mâle adulte ; **an** : Anus ; **bm** : Bulbe médian de l'oesophage ; **gl. an.** : Glandes anales ; **gl. œs** : Glande basale de l'oesophage ; **int** : Intestin ; **œ** : Œuf ; **ov** : Ovaire ; **sp.** : Spicules copulateurs ; **st.** : Stylet ; **t** : Testicules ; **v** : Vulve. [25].

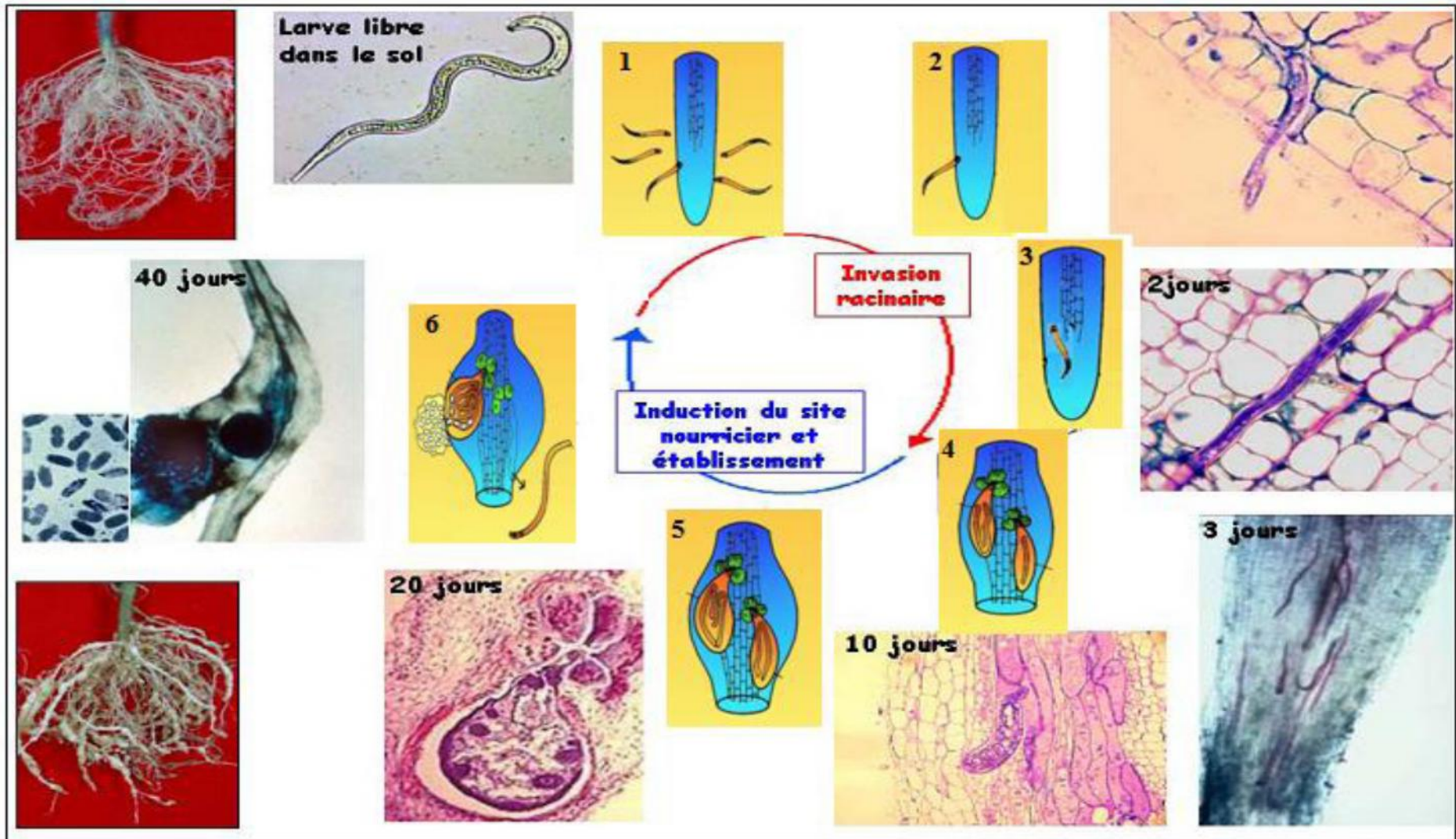
Les *Meloidogyne* sont pourvus aussi d'un système musculaire formé de quatre champs musculaires et d'un système nerveux composé d'un anneau nerveux, de cordons nerveux, d'organes sensoriels tactiles et de chimiorécepteurs. [27].

2.4. Biologie et cycle de développement

L'adulte femelle pond ses œufs dans une substance (enveloppe) gélatineuse fixée à l'arrière de celle-ci et appelée "masses d'œufs" ; cette substance est produite par des glandes rectales. Quelques heures après la ponte, l'œuf subit une série de divisions cellulaires aboutissant au juvénile de premier stade (J1). Ce juvénile subit une première mue pour donner un juvénile de deuxième stade (J2) qui déchire la coque et émerge. A une température de 28°C le délai ponte-éclosion dure sept à neuf jours [25]. Le juvénile (J2) est le stade infestant. Il est vermiforme et mesure entre 0,3 et 0,5 mm de longueur et environ 10 µ de diamètre.

Le (J2) oriente son déplacement par rapport à un gradient de substances émises par les plantes, substances pour la plupart hydrosolubles et rémanentes [87]. Lorsqu'il rencontre une racine hôte, il y pénètre au niveau de la zone apicale et s'y déplace intra cellulièrement (partie molle à intenses activités métaboliques) et se fixe sur le cylindre central, la tête fichée dans le plérome sur les cellules duquel il se nourrit. Le juvénile de deuxième stade devient alors sessile (immobile) et subit 3 mues successives qui conduisent à l'adulte mâle ou femelle. Ce processus dure deux semaines. Entre la deuxième et la troisième mue, il perd son stylet et ne se nourrit pas [25].

Le déterminisme sexuel dépend des conditions du milieu. En milieu défavorable les juvéniles se développent préférentiellement en mâles. Tel est le cas en présence de fortes infestations racinaires. Les mâles, absents ou rares quittent les racines et se déplacent librement dans le sol. Ils ne sont pas fonctionnels (chez les espèces tropicales) : la reproduction de *Meloidogyne* est parthénogénétique [25].



1 : larves libres dans le sol ; 2: pénétration des larves du deuxième stade. ; 3 et 4 : début de maturation des juvéniles en adultes. ; 5: Différenciation sexuelle des juvéniles. ; 6 : Libération des mâles et éclosion des œufs produits par les femelles.

Figure 2.2 : Cycle de développement des nématodes à galles [28 ; 80].

2.5. Les facteurs écologiques affectant la différenciation sexuelle du genre *Meloidogyne*

2.5.1. La nutrition

L'abondance ou le manque de la nutrition a une grande influence sur la différenciation sexuelle ainsi que sur le développement ou la réduction de la population de nématodes du genre *Meloidogyne* [101].

2.5.2. La densité d'infection

De fortes densités d'infection causent généralement une réduction de la proportion de développement des nématodes, parce qu'ils ont créé des conditions de tension alimentaire et probablement un environnement défavorable résultant des concentrations excessives des déchets ou des métabolismes des produits. De telles conditions risquent aussi d'affecter le processus de la différenciation des sexes de *Meloidogyne* [101].

De même [21] rapportent que de grandes densités d'infection ont réduit considérablement la proportion de développement et ont augmenté le taux des mâles par rapport aux femelles de *M. incognita* et *M. javanica* développées sur les plantes de tomate sous serre.

2.5.3. La résistance de l'hôte

D'après [36], affirme que l'effet de la résistance de la plante hôtes sur la différenciation sexuelle de *Meloidogyne* n'est pas encore déterminé, mais des observations d'importance secondaire indiquent que le rapport des mâles par rapport aux femelles est plutôt grand sur des plantes résistantes.

2.5.4. Inhibiteur ou régulateurs de la croissance des plantes

L'application de quelques produits chimiques avec ou sans effet nématocide a une influence considérable sur le développement et sur la différenciation du sexe de nématodes [101].

Le maleic hydrazide (6-hydroxy-3-(2h) –pyridazinome) est un puissant inhibiteur de la croissance des plantes, a été trouvé pour empêcher le développement des *Meloidogyne* [84]. Le pourcentage des mâles de *M. incognita* et *M. javanica* a augmenté considérablement. Quand le maleic hydrazide a été

appliqué sur des plantes infestées par ces nématodes. Ce produit supprime la formation des cellules géantes qui sont essentielles pour le développement des *Meloidogyne* [22].

2.5.5. Irradiation

Les radiations gamma ont réduit la proportion de croissance des larves et ont augmenté le pourcentage des mâles du *M. incognita* [50]. Ces radiations peuvent affecter directement la physiologie de la différenciation sexuelle en agissant indirectement sur les possibilités du nématode d'obtenir la nourriture et à l'utiliser efficacement [101].

2.5.6. Température

La différenciation sexuelle de *M. incognita* était naturelle dans grand nombre de température quoiqu'une légère augmentation du pourcentage de mâle a été observé à 15°C [21].

Par contre [55], ont constaté un pourcentage élevé des mâles de *M. javanica* aux températures supérieures à 20°C.

2.6. Symptômes et notion d'indice de galles

Les symptômes d'une attaque de *Meloidogyne* sont caractéristiques et facilement remarquable, le système racinaire est envahi par les galles (jusqu'à 1 cm de diamètre) qui perturbent l'assimilation des nutriments. Ainsi, la première alerte est donnée par l'observation des symptômes classiques d'un dysfonctionnement racinaire : dépérissement des parties aériennes (chloroses, flétrissement), croissance réduite, petits fruits de mauvaise qualité...

Le plus souvent, ces symptômes apparaissent par foyers ou en lignes (zones de dépérissement) dans la culture. Ces tâches sont les zones peuplées de nématodes. Elles s'agrandissent d'années en années jusqu'à finalement couvrir toute la culture. [28].

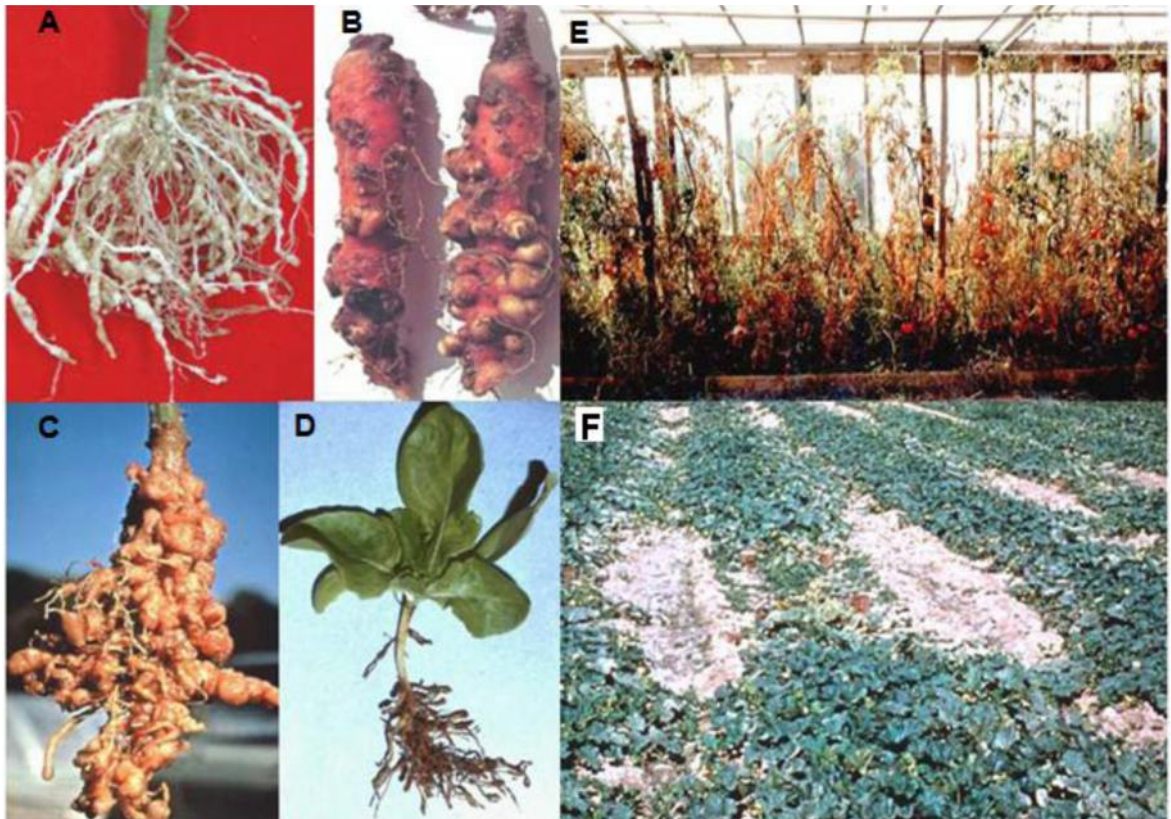


Figure 2.3 : Dégâts sur racines de tomate (A), carotte (B), concombre (C), laitue (D) et sur tomates en serre (E) et melons en plein champ (F) [28].

Ces symptômes sont à l'origine de la conception d'échelles d'indices de galles définis par une note affectée à un état du système racinaire. Plusieurs échelles ont ainsi été établies et utilisées afin d'évaluer la gravité des dégâts, et par conséquent estimer les niveaux des populations de *Meloidogyne* spp. qui infestent les racines (appendice D). Ces indices sont très utilisés en fin de végétation pour estimer l'infestation globale de la plante et comparer l'effet de diverses méthodes de lutte contre les nématodes à galles [71].

Au point de vue analytique, ils ont l'avantage de représenter fidèlement l'infestation racinaire réelle d'une plante. D'un point de vue statistique, ils permettent un « écrasement » de la forte hétérogénéité spatiale (distribution agrégée) caractéristique des infestations en nématodes phytoparasites [71].

2.7. Lutte biologique contre les nématodes à galles

2.7.1. Les champignons nématophage

Des essais de lutte biologique au moyen du champignon parasite des œufs de *Meloidogyne*, *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. Un autre champignon *Verticillium (Poconia) chlamydosporium*, parasite des œufs de nématode à galles, est étudié mais 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 [28].



Figure 2.4 : Le champignon *Paecilomyces lilacinus* parasitants des œufs de *Meloidogyne* [28].

Selon [11], il existe environ plus de cent espèces de champignons endoparasites et piégeurs (prédateurs) qui détruisent les nématodes. Les plus actives sont représentées par *Arthrobotrys irregularis* (commercialisé sous le nom de S350 puis T350) [6], *Paecilomyces lilacinus* champignon ovocide considéré comme un auxiliaire naturel pour contrôler les populations de *Meloidogyne*. Il est commercialisé sur le nom B10act et *Verticillium chlamydosporium* [54].

Le mycélium de ces champignons est pourvu de ramifications formant des boucles, boutons ou anneaux sécrétant une glu. Lors de ces déplacements, le nématode peut trouver piégé dans ce réseau mycélien. L'efficacité de ces produits réside dans leur persistance dans le sol, mais ce n'est pas toujours le cas. Actuellement, aucun produit commercial ne présente ces propriétés mais plusieurs équipes de recherche travaillent sur le sujet [6].

2.7.2. Les bactéries parasites

Les spores de la bactérie mycélienne *Pasteuria penetrans* sont capables de parasiter les *Meloidogyne* et bloquer leur multiplication. Cependant leur trop grande spécificité et des problèmes de production en masse limitent fortement leur utilisation. [28].



Figure 2.5 : Des bactéries *Pasteuria penetrans* collées sur une larve de *Meloidogyne* [28].

2.7.3. Les mycorhizes

Ce sont des champignons qui vivent en association symbiotique avec les racines. Ils permettent une meilleure nutrition de la plante, stimulent l'enracinement des boutures et la croissance des racines lors de la transplantation. Ils diminuent la sensibilité des plantes aux agents pathogènes et seraient des antagonistes intra-racinaires des nématodes mais l'efficacité de cette méthode n'est pas réellement prouvée. [28].

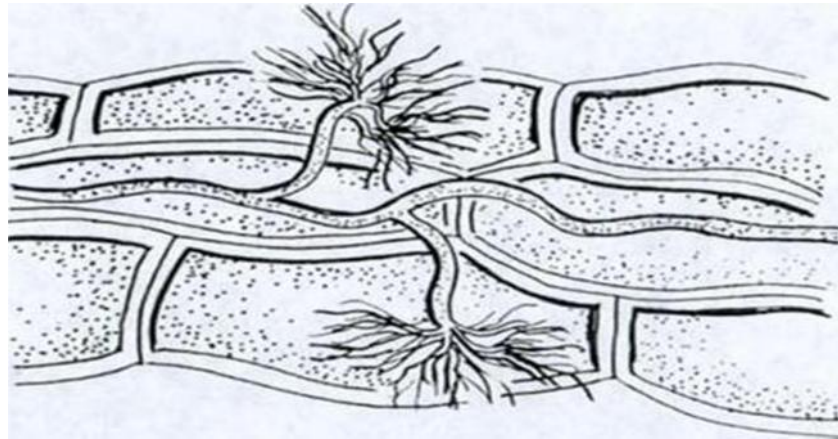


Figure 2.6 : Schéma d'*Endomycorhize* à arbuscule dans les cellules d'une racine *Meloidogyne* [11].

CHAPITRE 3 :

MATERIEL ET METHODE.

3.1. Introduction

L'agriculture contemporaine a un besoin de plus en plus grand de protéger ses cultures et ses récoltes si elle veut maintenir ses hauts rendements et ses marges déjà faibles dans certaines productions.

Malheureusement, les pesticides ont une mauvaise image dans le public et sont de plus en plus sur la sellette pour des questions de toxicité, de pollution... Il se pose également le problème de l'efficacité des produits phytosanitaires qui voient des résistances apparaître qui les rendent inefficaces.

Or il existe des voies pour sortir de cette impasse qui révisent complètement les paradigmes régissant la lutte contre les ennemis des cultures. L'une d'entre elles consiste à donner aux plantes les moyens de se défendre elles-mêmes, ou renforcer leurs propres moyens de défense, plutôt que de combattre directement l'agresseur. Dans cette catégorie se trouvent les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN), une solution intéressante sur les plans scientifique et agronomique, et qui pourrait bien être une solution d'avenir [7].

3.2. Objectif

Les objectifs visés dans ce travail sont de mettre en évidence l'effet stimulateur des défenses naturelles des différents régimes d'apport d'un biofertilisant (jus et thé de lombricompost). Il s'agit d'évaluer et de comparer l'efficacité de la faible et la forte dilution (dilué 5, dilué 10) et de modes d'application (irrigation et application foliaire) sur la qualité phytochimique et la physiologie des plants de tomate et démontrer son effet répressif sur le développement des nématodes à galles.

3.3. Conditions expérimentales

Toutes les expérimentations ont été menées au département des Sciences Agronomiques de l'Université SAAD DAHLEB de Blida, dans une chambre de culture. La température de l'enceinte est maintenue entre 22°C et 28°C. La chambre de culture est également équipée d'un système de photopériode alimenté par deux lampes à sodium fournissant chacune une puissance 300 WAT, permettant d'avoir 16 heures de lumière et 8 heures d'obscurité. Le plafond de la chambre de culture est recouvert d'une couche d'aluminium pour une réflexion maximale de la lumière.

3.4. Obtention du matériel biologique

3.4.1. Obtention des plantules de tomate

Des graines de tomate *Lycopersicon esculentum* variété fixée « Marmande », fournis par la station expérimentale de la Faculté des Sciences Agro-Vétérinaires et Biologiques, ont été semés au niveau des alvéoles en plastique remplies de tourbe à raison de 2 à 3 graines par alvéole (Figure. 3.1a). Au stade 3 feuilles, les plants de tomate ont été repiqués dans des gobelets remplis d'un mélange de tourbe, de sable et de terre préalablement stérilisé dans une étuve pendant 24 h à une température de 180°C (Figure.3.1b). Les plants ont été régulièrement irrigués à l'eau du robinet durant toute la durée de l'expérimentation.



Figure 3.1 : Présentation du matériel biologique.

3.4.2. Extraction et préparation des larves (L2) de *Meloidogyne*

Les échantillons de racines de tomate infestées par les nématodes à galles *Meloidogyne spp.* ont été collectés au niveau de l'Institut Technique de Cultures Maraîchères et Industrielles (I.T.C.M.I.) de Staouali. Les racines recueillies sont lavées à l'eau courante et mises dans des boîtes de Pétri en verre rempli d'eau en vue de les ramollir afin de faciliter l'extraction de masses d'œufs.

L'extraction des masses d'œufs à partir des racines fines et jeunes est réalisée sous une loupe binoculaire (grossissement x4), par la méthode de forceps en utilisant deux aiguilles stériles.

Chaque masse d'œuf (figure 3.2.a) est mise dans une goutte d'eau distillée stérile et disposée dans une boîte de Pétri (7 à 8 masses par boîte) (figure 3.2.b). Dans un souci d'accélérer l'éclosion, les boîtes de Pétri contenant les masses d'œufs sont transférées dans une étuve à 25°C pendant 24h à 48h. Après éclosion, les larves (L2) libérées progressivement dans l'eau sont récupérées et comptées quotidiennement sous loupe binoculaire.

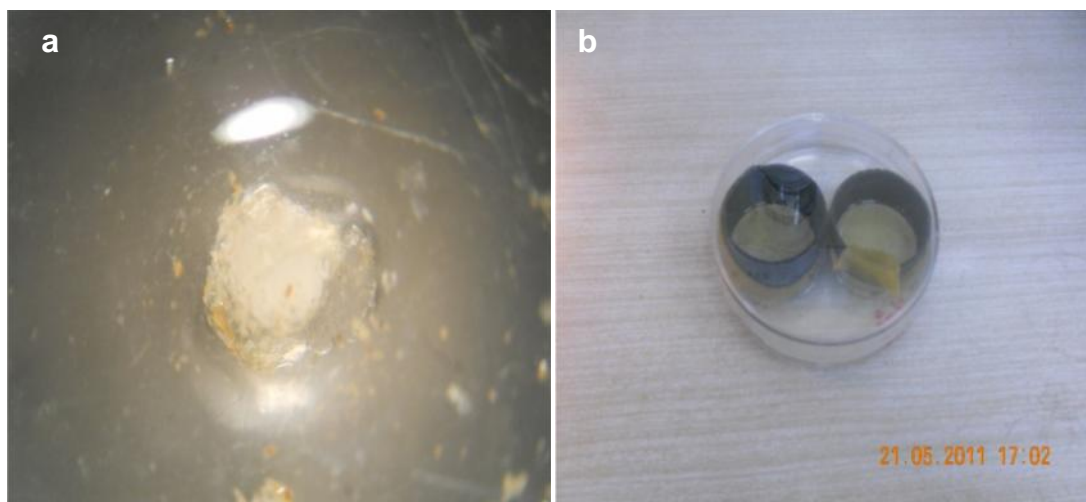


Figure 3.2 : Les masses d'œufs des *Meloidogynes* dans les tamis.

3.4.3. Obtention de lombricompost

Le lombricompostage produit deux types d'engrais, le lombricompost et le jus de vers.

A fin d'obtenir un lombricompost, il faut utiliser un système de casier qu'on superpose l'un sur l'autre et en mettant dedans les lombrics et les déchets ménagés et de la terre (Figure. 3.3.).



Figure 3.3 : Système d'obtention de lombricompost.

A partir du dispositif du lombricompostage nous obtiendrons trois produits fertilisants à savoir :

- *Lombricompost*, c'est un produit issu de la dégradation des déchets ménagés sous l'action de vers de terre anéciques (*Eisenia sp*). Le produit final a la consistance d'un terreau et sans odeur.

- *Jus de lombricompost*, c'est une solution sans odeur issue de l'égouttage du lombricompost.

- *Thé de lombricompost*, c'est une solution obtenue après macération de 100 grammes de lombricompost dans 1 litre d'eau de robinet. Le produit final sera prêt à l'utilisation qu'après 24 heures.

3.4.4. Préparation des dilutions

A fin de vérifier l'effet de la dilution du thé et le jus de lombric sur les paramètres populationnelles, la chimie et la physiologie de la plante, nous avons dilué le produit pur en deux doses selon une suite géométrique à raison de deux à savoir la dilution 5 et 10.

La dilution 5 (D5) est obtenue à partir de la dilution de 100ml de la solution pure du lombricompost où on lui ajoute 400ml d'eau distillée, puis on le laisse reposer pendant 24h avant son utilisation, ainsi la dilution 10 (D10) est obtenue à partir de l'addition de 900ml d'eau distillée à 100ml de la solution pure, de même la solution obtenue est laissée reposer pendant 24h avant son utilisation [82].

3.5. Dispositif expérimentale

A fin d'évaluer l'effet des différents traitements (thé et jus du lombricompost) en fonction de leurs modes d'application (irrigation et en application foliaire) et leurs dilutions (5 et 10%) sur la qualité phytochimique et la physiologie des plants de tomate en présence et en absence de *Meloidogyne* ainsi que leur action sur le développement des nématodes à galles. Pour visualiser l'étendue de l'étude nous vous proposons le schéma directeur de l'étude (Figure. 3.4).

Un lot de 96 pots contenant chacun un plant de tomate var. Marmande a été préparé. Ce dernier est réparti en deux blocs constitués chacun de 48 pots. Dans le premier bloc (48 pots) les plantes sont infestées par les *Meloidogyne* dans le second elles sont indemnes de nématodes.

Afin d'effectuer nos essais, nous avons partagé chaque bloc (48 pots) en huit (8) sous bloc de six (6) pots chacun. Chaque sous lot a subi les différents traitements selon la variation des apports à savoir :

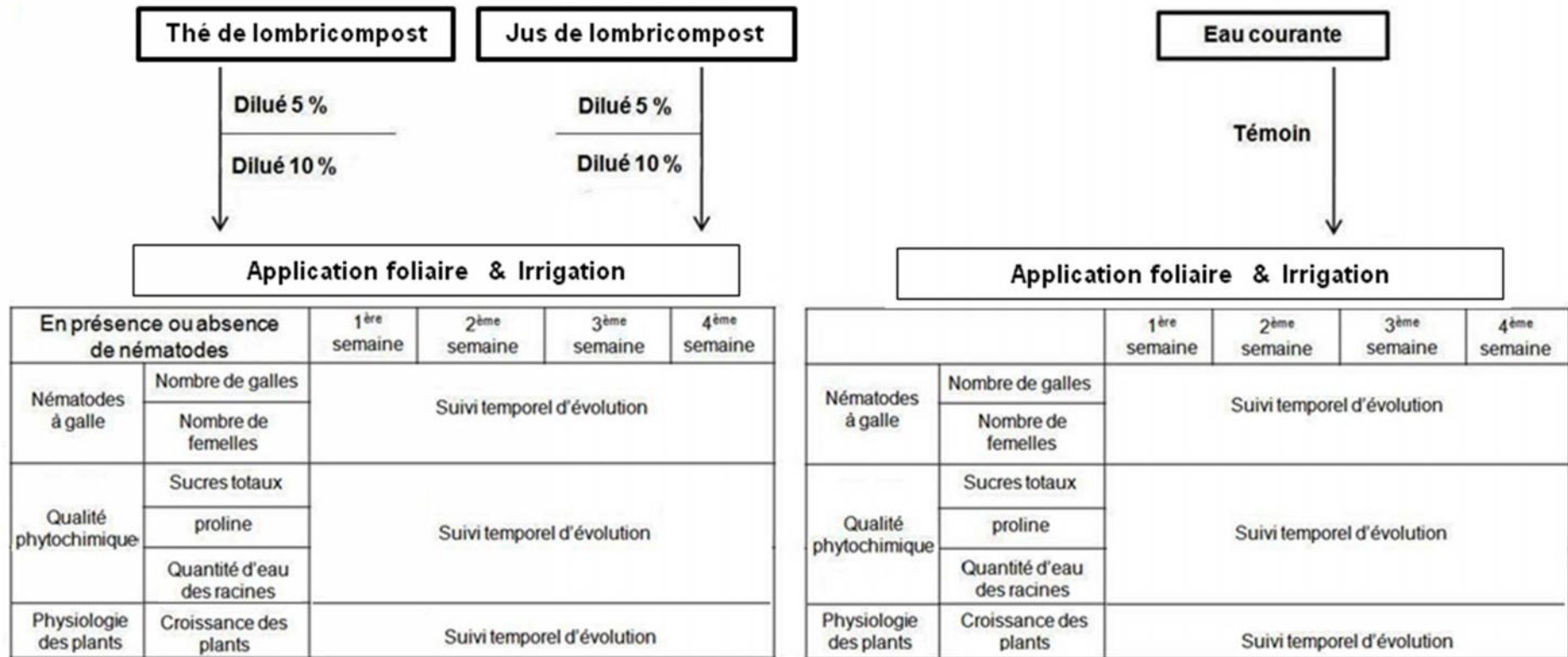


Figure 3.4 : Schéma directeur de l'effet de jus et thé du lombricompost sur les nématodes à galles, la qualité phytochimique et la physiologie des plants de tomate.

- 1^{er} lot traité avec jus de lombric par irrigation à la dose 5%.
- 2^{ème} lot traité avec jus de lombric par irrigation à la dose 10%.
- 3^{ème} lot traité avec jus de lombric par application foliaire à la dose 5%.
- 4^{ème} lot traité avec jus de lombric par application foliaire à la dose 10%.
- 5^{ème} lot traité avec thé de lombric par irrigation à la dose 5%.
- 6^{ème} lot traité avec thé de lombric par irrigation à la dose 10%.
- 7^{ème} lot traité avec thé de lombric par application foliaire à la dose 5%.
- 8^{ème} lot traité avec thé de lombric par application foliaire à la dose 10%.

Les différents traitements ont été appliqué au début et au milieu de l'expérimentation. Un lot témoin a été pris en considération composé de six (6) pots neutre sans traitement et sans nématode.

3.6. Méthodes d'étude

3.6.1. Effets du mode d'application et des dilutions du thé et du jus de lombricompost sur la qualité phytochimique des plants de tomate

L'évaluation de l'effet du mode d'application et des dilutions du jus et du thé de lombricompost a été estimée sur les feuilles et les racines des plants de tomate. Le dosage de la qualité phytochimique et l'évaluation de la physiologie des plants de tomate est effectué chaque quinzaine dès le premier jour d'expérimentation.

3.6.1.1. Extraction et quantification de la proline

La méthode suivie est celle de [102], simplifiée et mise au point par DREIR et GORING, qui a partir de matière végétale fraîche mélangée au méthanol est chauffée à 85°C pendant 60 min. Après refroidissement, on ajoute à l'extrait de l'acide acétique, de la ninhydrine et un mélange d'eau distillée, d'acide acétique et d'acide orthophosphorique (0,4 : 1 : 0,26) ; l'ensemble est portée à ébullition pendant 30 min au bout des quelles, la couleur vire au rouge. Après refroidissement, l'addition du toluène induit la séparation de la solution en deux phases: la phase supérieur

contenant la proline est récupérée à laquelle on ajoute du Na_2SO_4 et on lit la densité optique à 528 nm

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

$$Y = 0,1043 X$$

3.6.1.2. Extraction et quantification des sucres totaux

Les sucres solubles totaux sont dosés par la méthode de [30. a]. La matière végétale est mise en contact avec de l'éthanol à 80% durant 48 heures à une température ambiante. Le dispositif est mis à l'étuve à 80°C afin d'évaporer l'alcool, puis on ajoute 20 ml d'eau distillée au résidu. Une fraction de 2 ml de la solution obtenue est additionnée au phénol à 5%, l'acide sulfurique concentré 96%, puis homogénéisé au vortex, après 10 min ; on le place au bain-marie à une température de 30°C pendant 20 min; la lecture de la densité optique se fera à 485 nm au bout de 10 mn.

Les valeurs obtenues sont reportées sur la gamme étalon, à l'aide de l'équation suivante :

$$Y = 4,3918 X - 0,1946$$

3.6.1.3. Estimation de la quantité d'eau des racines de tomate

Le contenu relatif en eau exprime la quantité d'eau présente en pourcentage de la quantité mesurée à saturation. Il permet donc une évaluation physiologique de l'état hydrique du végétal au même titre que le potentiel hydrique. La prise en compte de la quantité d'eau dans cette étude a pour objectif de savoir si les différents apports de biofertilisants vont influencer les constituants biochimiques des feuilles infestées par les Meloidogynes, notamment les productions par la plante en proline

et en sucres totaux, lesquelles vont conditionner l'augmentation des infestations par les nématodes à galle.

L'estimation du contenu relatif en eau se fait par la formule suivante:

$$\text{CRE} = (\text{PF} - \text{PS}) \cdot 100 / (\text{PSat} - \text{PS})$$

Avec

PF : Poids Frais, PS : Poids Sec, PSat : Poids à la saturation.

Le poids frais est déterminé par pesée de la racine immédiatement après son prélèvement. Le poids à la saturation est obtenu en plaçant la racine dans l'eau distillée pendant 24 heures. Le poids sec est obtenu en plaçant la racine à l'étuve jusqu'à la stabilité de ce dernier. Pour chaque sortie considérée, nous avons pesé ensemble toutes les racines prélevées à l'état frais puis à l'état sec [108].

3.6.2. Effets du mode d'application et des dilutions du thé et du jus de lombricompost sur la physiologie des plants de tomate

La longueur de chaque plant a été mesurée chaque quinze jour durant les quatre semaines de l'étude au niveau des différentes parcelles élémentaires. La hauteur est mesurée à l'aide d'une règle graduée du collet jusqu'au bourgeon terminal de la bifurcation principale.

3.6.3. Action sur le développement des nématodes à galles

3.6.3.1. Estimation du taux d'infestation des racines par larves (L2)

A partir des blocs élémentaires des différents traitements et au bout de quatre semaines, les plants de tomates sont déracinés intégralement. Ces derniers sont nettoyés à l'eau pour les débarrassés des restes de particules de sol. Après

cette opération les racines sont asséchées au papier absorbant ensuite elles sont examinées sous loupe binoculaire (x10) afin de dénombrer les galles sur tout le système racinaire.

3.6.3.2. Estimation du taux de développement des larves (L2) en femelles

Le dénombrement des femelles est réalisé sur 10 galles choisi au hasard pour les différents traitements et répétitions. Les galles dans une boîte de Pétri sont dilacérées sous loupe binoculaire par forceps à l'aide de deux aiguilles entomologique et les femelles sont extraites et comptées (Figure. 3.5).



Figure 3.5 : Estimation du taux de développement des larves (L2) en femelles

3.6.3.3. Evaluation de la fécondité des *Meloidogyne*

La fécondité a été estimée sur 10 femelles choisies au hasard. Les masses d'œufs produites par les femelles de *Meloidogyne* ont été prélevées et les œufs de chaque masse sont dénombrés sous loupe binoculaire au grossissement (x40) pour chaque répétition et chaque traitement.

3.7. Analyses statistiques des résultats

Tous les essais ont été répétés au moins trois fois, Les données recueillies sur l'efficacité de jus et thé de lombric ont fait l'objet d'analyses statistiques afin d'émaner son effet vis-à-vis des Meloidogynes et son effet biofertilisant.

Les résultats présentés sous forme de courbe rejoignent le plus souvent des valeurs moyennes, ces derniers ont été réalisés par le logiciel Excel.

3.7.1. Analyse multivariée (PAST vers. 1.37)

Les corrélations existantes entre les différents modes d'application et dilutions du jus et du thé de lombricompost et les densités de Meloidogynes évoluant sur des plants de tomate, sont mises en évidence par une analyse en composantes principales (ACP). Dans ce type de test, le jus et le thé de lombricompost et leurs différents modes d'application et dilutions, ont des coordonnées comprises entre - 1 et + 1 et appartiennent à un cercle de corrélation. 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 [85].

3.7.2. Analyse de variance (SYSTAT vers. 12, SPSS 2009)

Lorsque le problème est de savoir si la moyenne d'une variable quantitative varie significativement selon les conditions (mode d'application, traitement, dose), nous avons eu recours à une analyse de variance (ANOVA pour *ANalysis Of VAriance*) qui permet de vérifier la significativité de la variable d'intérêt entre toutes les combinaisons des modalités, dans les conditions paramétriques si la distribution de la variable quantitative est normale.

Dans les cas où plusieurs facteurs sont en jeu, il peut arriver que toutes les interactions entre facteurs ne soient pas pertinentes à tester. Nous avons alors utilisé le modèle linéaire global (G.L.M.). Par exemple, si on désire connaître l'effet des facteurs A, B et C et seulement l'interaction entre A et C, il suffit de sélectionner explicitement ces 3 catégories.

3.7.3. 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.

CHAPITRE 4 :

RESULTATS.

Les résultats relatifs à l'effet des dilutions et du mode d'application du thé et du jus du lombricompost sur la qualité phytochimique, la physiologie du support nourricier et sur les paramètres biologiques des nématodes à galles, sont présentés dans ce chapitre

4.1. Tendance générale de l'effet des traitements au jus et au thé du lombricompost sur la physiologie et la physionomie des plants de tomate

4.1.1. Tendance générale de l'effet des traitements sur l'accumulation des sucres totaux

L'évolution de l'accumulation des sucres totaux des racines des plants de tomate a été évaluée sous l'effet des différentes formes de lombricompost à savoir le jus et le thé.

Les plants de tomate présentent une dissemblance dans l'accumulation des sucres totaux entre les plants traités et le témoin en présence et en absence de nématodes, cette différence est au profit du témoin (figure 4.1).

En absence des nématodes, les résultats obtenus (figure 4.1.a) révèlent que les taux des sucres totaux des plants traités avec le thé de lombricompost par application foliaire et à la forte dilution dépassent légèrement celui des plants traités avec le jus de lombricompost par irrigation et à la faible dilution.

Cette différence est assimilable et apparait clairement en présence des nématodes (figure : 4.1.b), sauf que le taux des sucres totaux est plus élevé chez les plants traités en irrigation par rapport à ceux traités par application foliaire.

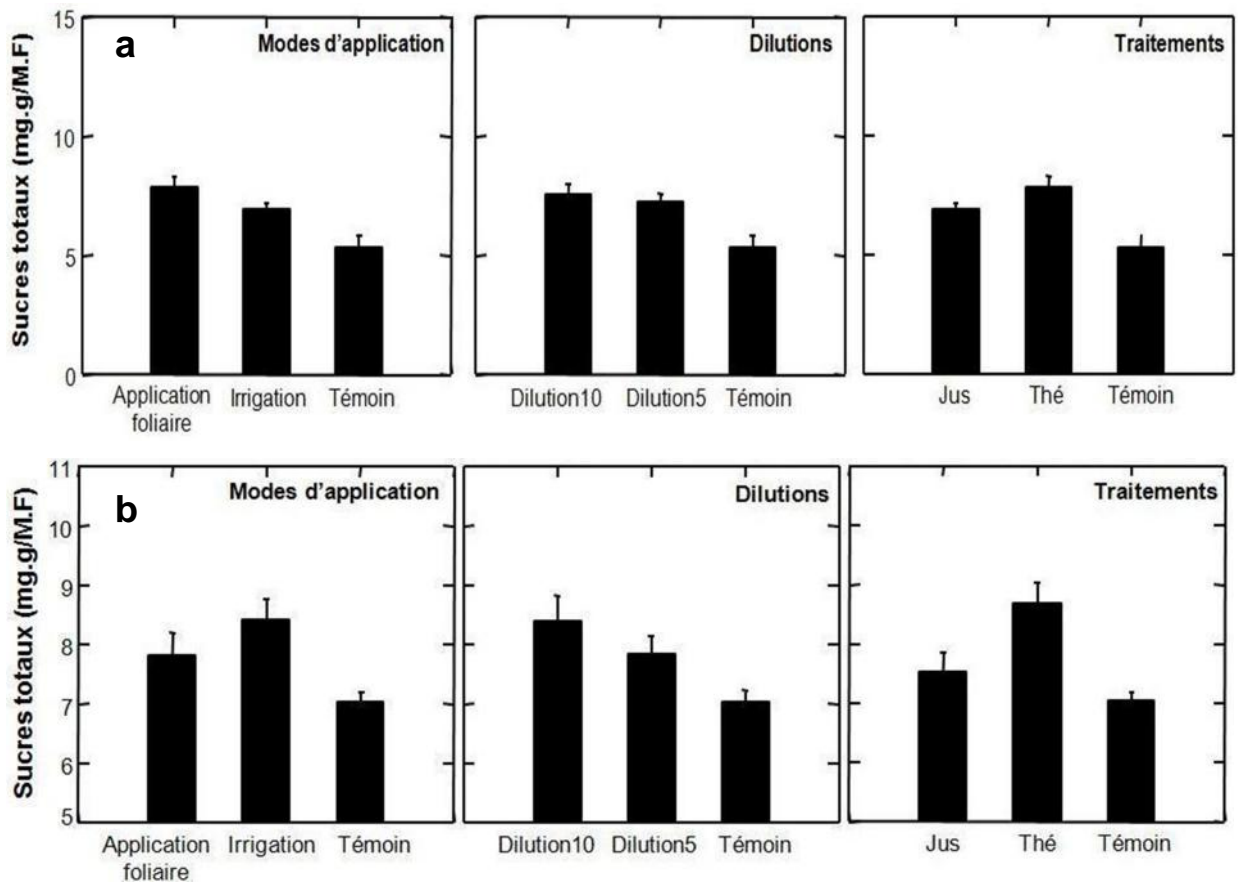


Figure 4.1 : Accumulation des sucres totaux selon les paramètres du traitement en absence de nématodes (a) et en présence de nématodes (b)

4.1.2. Tendance générale de l'effet des traitements sur l'accumulation de la proline

La variation des taux de proline des feuilles des plants de tomate a été évaluée sous l'effet des différents modes et dilutions de jus et thé de lombricompost en absence et présence de nématodes.

La figure 4.2.a, illustre les résultats de l'effet de jus et thé de lombricompost sous leurs différents modes d'application et dilutions sur l'accumulation de la proline en absence des nématodes. Le graphe montre que l'accumulation de la proline est élevée chez les plants traités avec les différentes formes et dilution du thé de lombricompost par rapport à ceux traités avec le jus de lombricompost et aux témoins. Le taux de proline le plus élevé est enregistré sur les plants traités avec le thé de lombricompost en application foliaire à la faible dilution (D5).

Contrairement aux plants traités en présence de nématodes (figure 4.2.b), les résultats montrent un rabaissement des taux de proline par comparaison au témoin. Les plants traités avec les différentes formes et dilutions du jus de lombricompost présentent une accumulation de la proline plus élevée que ceux traités avec le thé de lombricompost.

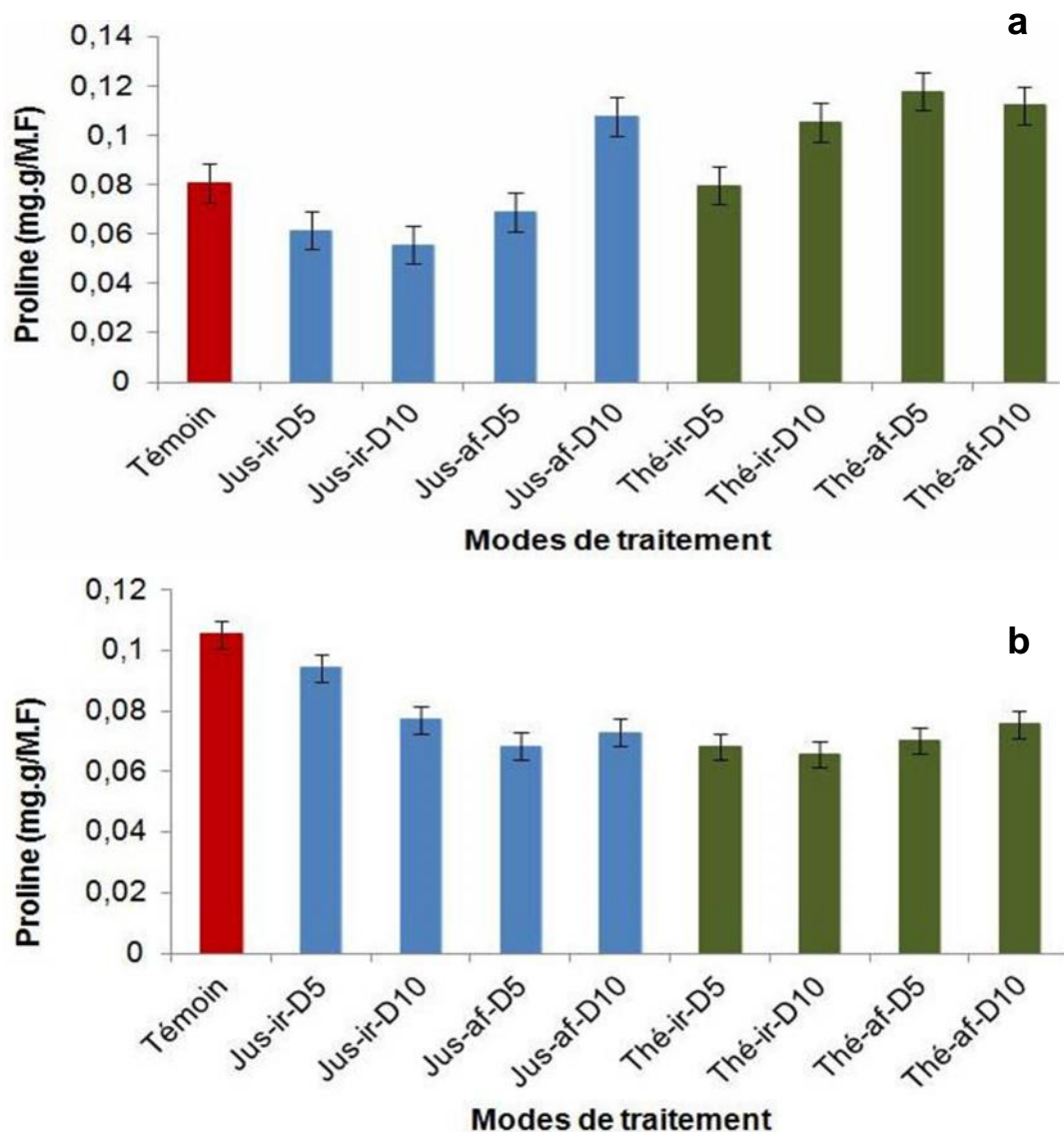


Figure 4.2: Accumulation de la proline selon les paramètres du traitement en absence de nématodes(a) et en présence de nématodes (b)

4.1.3. Tendance générale de l'effet des traitements sur la quantité d'eau

L'évolution de la quantité d'eau des racines des plants de tomate a été sujette d'évaluation suite à l'apport de différentes formes de jus et thé de lombric.

Les racines de tomate présente une dissimilitude de quantité d'eau entre les racines traitées et les racines témoins, cette différence est au profit du témoin. La quantité d'eau des racines durant la période de traitement est variable, les résultats obtenus révèlent que la quantité d'eau des racines des plants traités en irrigation et en application foliaire ainsi que la faible et la forte dilution est assimilable.

Concernant la nature de traitement, il apparait clairement que la quantité d'eau la plus élevée est enregistrée sur les racines de tomate traitées avec le jus de lombric (figure 4.3).

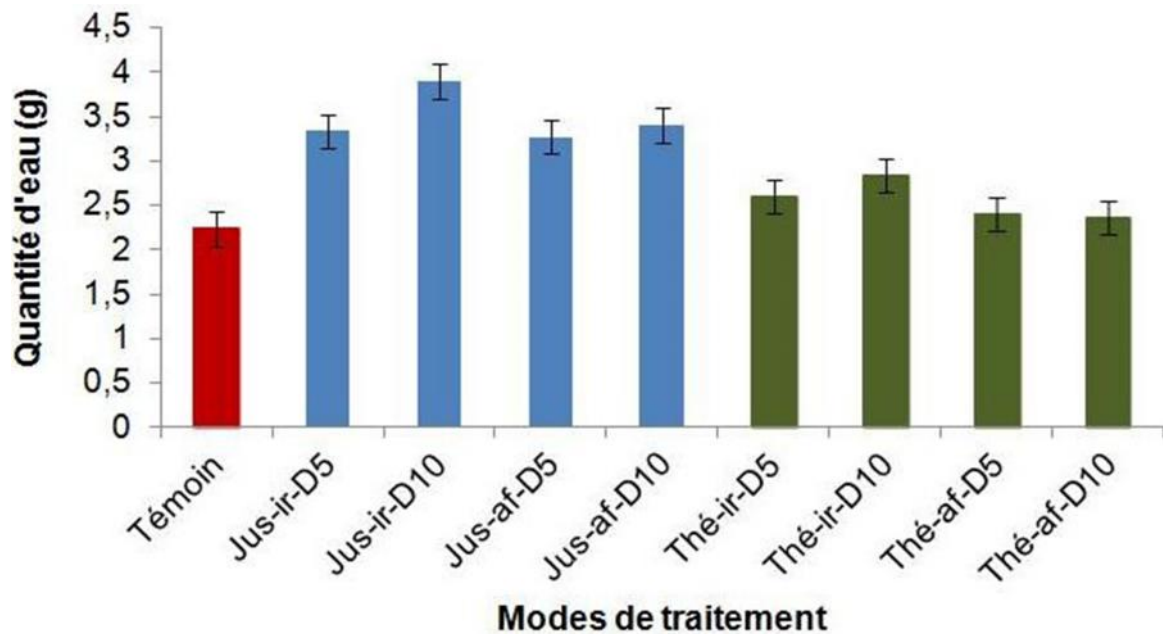


Figure 4.3: Quantité d'eau des racines de tomate selon les paramètres du traitement

4.1.4. Tendance générale de l'effet des traitements sur la croissance des plants de tomate

La figure 4.4.a, illustre les résultats de l'effet de jus et thé de lombricompost sous leurs différents modes d'application et dilutions sur la croissance des plants en absence des nématodes. Le graphe montre des variations de la croissance moyenne

des plants en fonction des traitements, leurs modes d'application et leurs dilutions. La croissance moyenne la plus élevée est enregistrée sur les plants traités avec le thé de lombricompost en application foliaire à la faible dilution (D5).

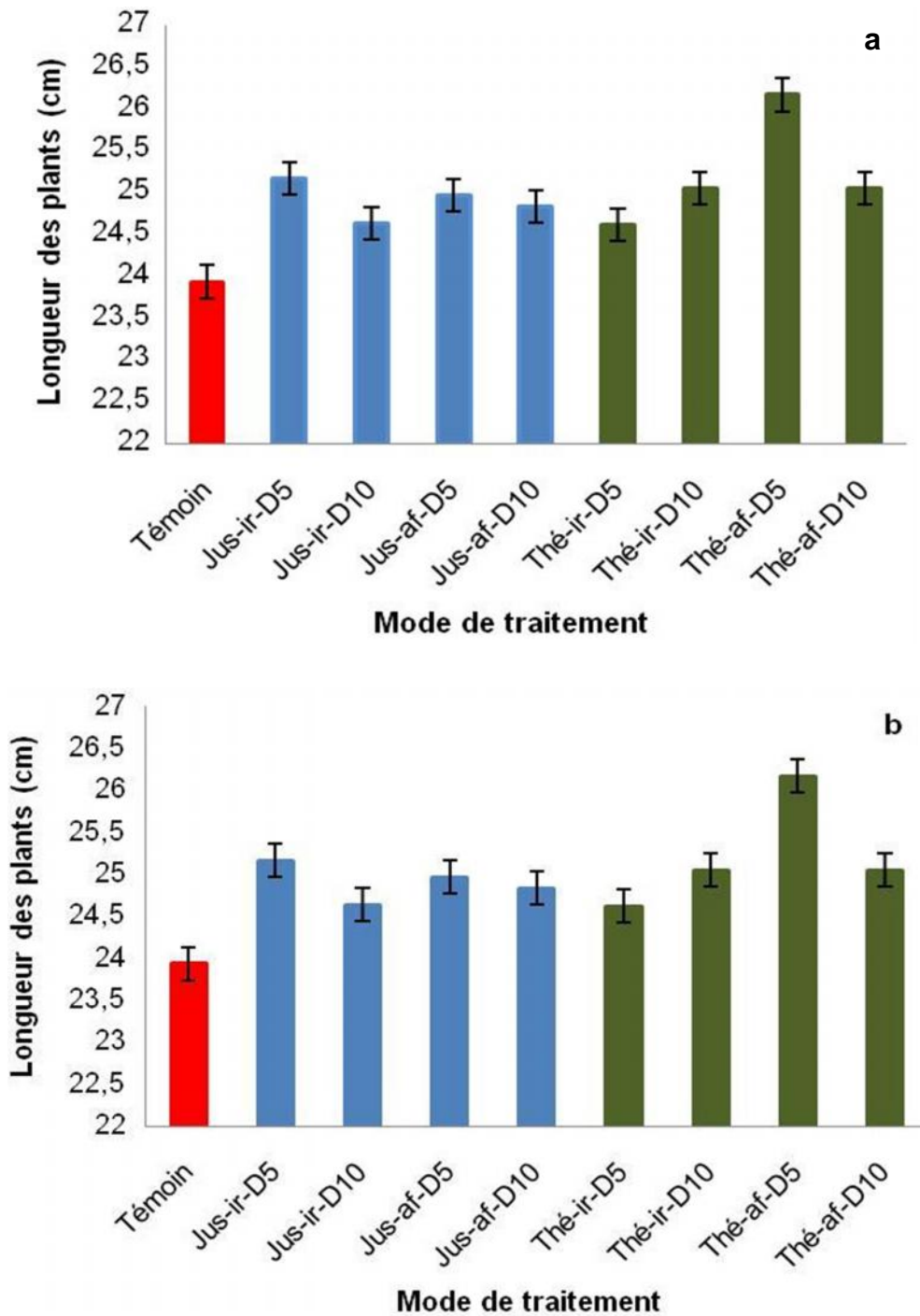


Figure 4.4 : Tendence générale de l'effet du jus et du thé du lombricompost sur la croissance des plants de tomate en absence de nématodes (a) en en présence de nématodes (b)

Concernant les plants infestés et traités les valeurs de la croissance moyenne se rapprochent de celle des plants non infestés. La figure 4.4.b, montre que la variation de la croissance moyenne la plus élevée est observée sur les plants traités avec le thé de lombricompost en application foliaire à la faible dilution (D5). Selon les deux graphes précédents la croissance moyenne des plants la plus faible est observée sur les témoins infestés et non infestés.

4.2. Evaluation de l'effet des traitements au jus et au thé du lombricompost sur la physiologie et la physionomie des plants de tomate

La variation de la qualité phytochimique des racines et des feuilles de la tomate a été évaluée sous l'effet des différents modes et dilutions de jus et thé de lombricompost en absence et présence de nématodes.

4.2.1. Evaluation de l'effet des traitements sur l'accumulation des sucres totaux

Les données quantitatives des sucres totaux ont été soumises à une Analyse en Composantes Principales (A.C.P.). L'analyse en composantes principales, effectuée avec le logiciel PAST, est satisfaisante pour l'ensemble des paramètres étudiés dans la mesure où plus de 80% de la variance sont exprimés sur les 2 premiers axes.

L'analyse multivariée effectuée sur le taux d'accumulation des sucres totaux en absence des nématodes, montre que la projection des vecteurs à travers le premier axe 1 (59,94%), désigne un effet apparent des dilutions du jus et du thé du lombricompost sur la productivité des sucres totaux sans incriminations des modes d'application. Il en ressort clairement que la forte dilution (D10) stimule très significativement la production des sucres totaux. En revanche, la projection des nuages des points à travers l'axe 2 (40,05%), montre que l'accumulation des sucres totaux est très appréciable au delà de la deuxième quinzaine chez la plus part des molécules apportées (figure 4.5.a).

En présence de nématode, la projection via l'axe 1 (60,38%) montre clairement la différence d'accumulation des sucres totaux chez les traités par rapport au témoin. La projection des variables sur l'axe 2 (39,62%) permet de distinguer un certain effet sur le taux des sucres totaux entre le jus et le thé du lombricompost apporté par irrigation. En revanche, l'application foliaire permet d'avoir une accumulation des sucres totaux sans distinction entre la nature de biofertilisant et la dose d'application (figure 4.5.b).

4.2.2. Evaluation de l'effet des traitements sur l'accumulation de la proline

Les données quantitatives de la proline ont été soumises à une Analyse en Composantes Principales. L'A.C.P. est satisfaisante pour l'ensemble des paramètres étudiés dans la mesure où plus de 80% de la variance sont exprimés sur les 2 premiers axes.

En absence des nématodes, la projection des taux de la proline via l'axe 1 (67,78%) montre que la production de la proline est corrélée positivement avec les traitements du jus et du thé du lombricompost sous les différentes dilutions et les modes d'apports. Par opposition, les plants témoins n'ont pas extériorisés une forte accumulation en proline. La projection des variables sur l'axe 2 (32,21%) permet de constater que les accumulations de la proline sont corrélées positivement avec les apports de la faible et la forte dilution du thé de lombricompost par irrigation ou en application foliaire. Cette activité touchant la molécule de stress (la proline) est signalée dès la première quinzaine (figure 4.6.a).

En présence des nématodes, La projection des vecteurs à travers le premier axe (89,03%), montre que l'évolution du taux de la proline est très important chez les plants témoins n'ayant subis aucun traitement biofertilisant. Par conséquent les faibles taux de proline sont enregistrés chez les plants ayant subis les apports de biofertilisants. En revanche, la projection des nuages de points à travers le deuxième axe (10,96%), montre que le faible taux de proline est enregistré chez les plants ayant subis les différentes dilutions (D5 et D10) du thé du lombricompost sans incrimination des modes d'apports (irrigation et application foliaire) (figure 4.6.b).

4.2.3. Évaluation de l'effet des traitements sur la quantité d'eau

La variation de la quantité d'eau des racines de la tomate a été évaluée sous l'effet des différents modes et dilutions de jus et thé de lombricompost en présence de nématodes.

L'A.C.P. est satisfaisante pour l'ensemble des paramètres étudiés dans la mesure où plus de 70% de la variance sont exprimés sur les 2 premiers axes. L'analyse multivariée effectuée dévoile l'existence d'une dissimilitude de la quantité d'eau entre les traités et le témoin (figure 4.7). Elle met en évidence un effet confus des dilutions et des modes d'application, et elle confirme l'effet non distinctif du traitement et du mode d'application. Elle permet de distinguer un certain effet sur la quantité d'eau entre les traités avec le thé de lombricompost par irrigation à la forte dilution et par application foliaire à la faible dilution.

4.2.4. Évaluation de l'effet des traitements sur la croissance des plants de tomate

La croissance des plants de la tomate a été évaluée sous l'effet des différents modes et dilutions de jus et thé de lombricompost en absence et en présence de nématodes.

L'A.C.P. est satisfaisante pour l'ensemble des paramètres étudiés dans la mesure où plus de 90% de la variance sont exprimés sur les 2 premiers axes. L'analyse multivariée effectuée en absence des nématodes (figure 4.8.a), dévoile l'existence d'une dissemblance de la croissance des plants entre les traités et le témoin, et entre les traités eux même. Elle met en évidence un effet confus des dilutions et des modes d'application.

La projection des données sur l'axe 1 (94,52%) montre que la croissance des plants de la tomate réagit différemment entre deux grands groupes de traitement. Le premier groupe renferme les plants traités avec le thé de lombricompost par application foliaire à la forte et à la faible dilution, le thé de lombricompost par irrigation à la forte dilution et le jus de lombricompost par irrigation à la forte dilution, tandis que le deuxième groupe renferme les plants traités avec le thé de

lombricompost par irrigation à la faible dilution et le jus de lombricompost par irrigation à la faible dilution et par application foliaire à la forte dilution.

En présence de nématodes (figure 4.8.b), L'analyse multivariée effectuée présentent une certaine divergence et montre l'effet apparent de traitement sur la croissance des plants, la même analyse confirme l'effet non distinctif des dilutions et de modes d'application. La projection des données sur l'axe 1 (95,32%) montre que la croissance des plants de la tomate réagit différemment entre deux grands groupes de traitement. Le premier groupe renferme les plants traités avec le jus par irrigation à la faible et la forte dilution et par application foliaire à la faible dilution et le thé de lombricompost par irrigation à la faible et à la forte dilution.

Tandis que le deuxième groupe renferme les plants traités avec le thé de lombricompost par application foliaire à la faible et à la forte dilution et le jus de lombricompost par application foliaire à la forte dilution.

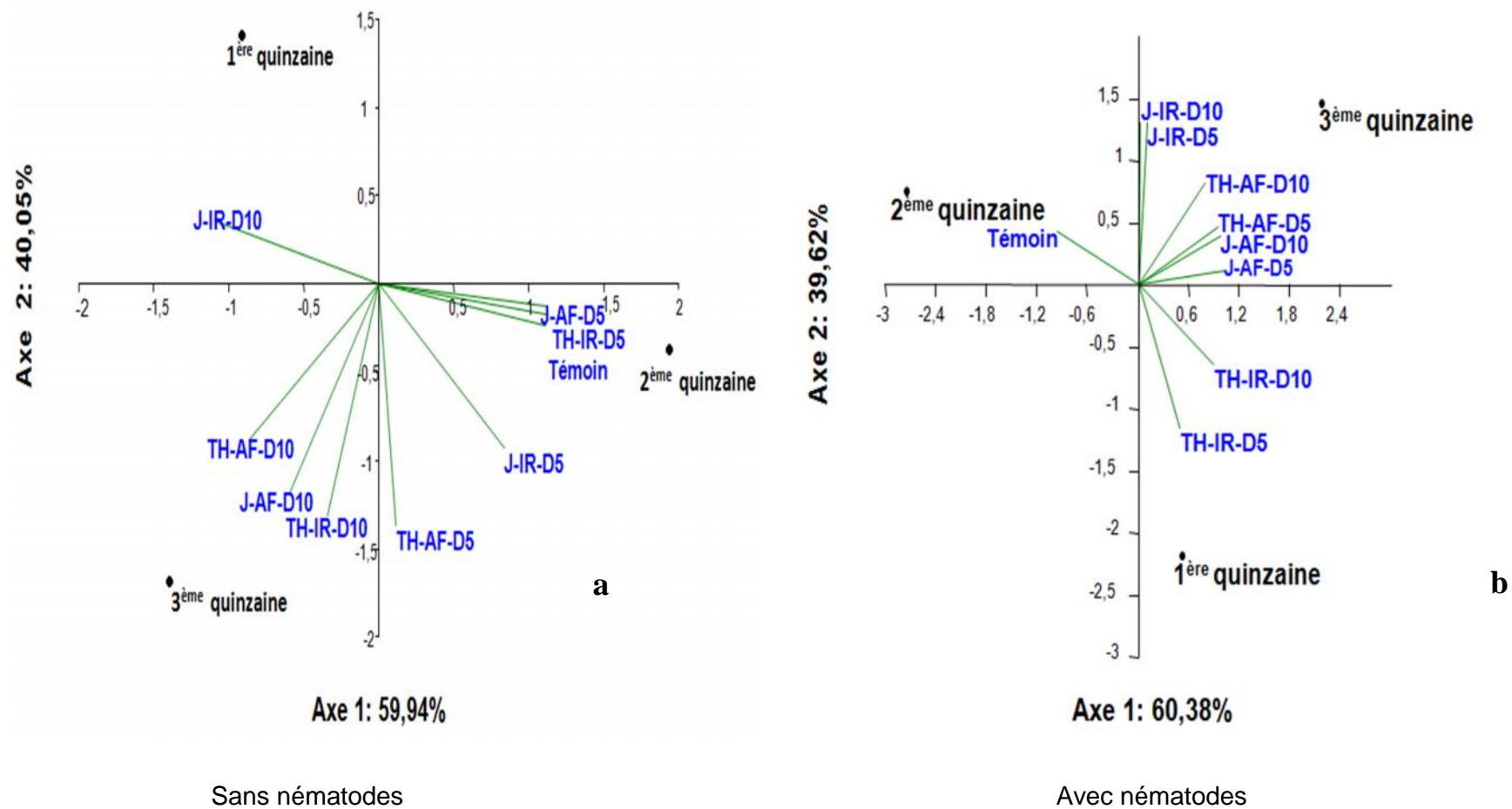


Figure 4.5 : Analyse multivariée « A.C.P » représentant l'effet de lombricompost sur les taux des sucres totaux en absence (a) et en présence des nématodes (b).

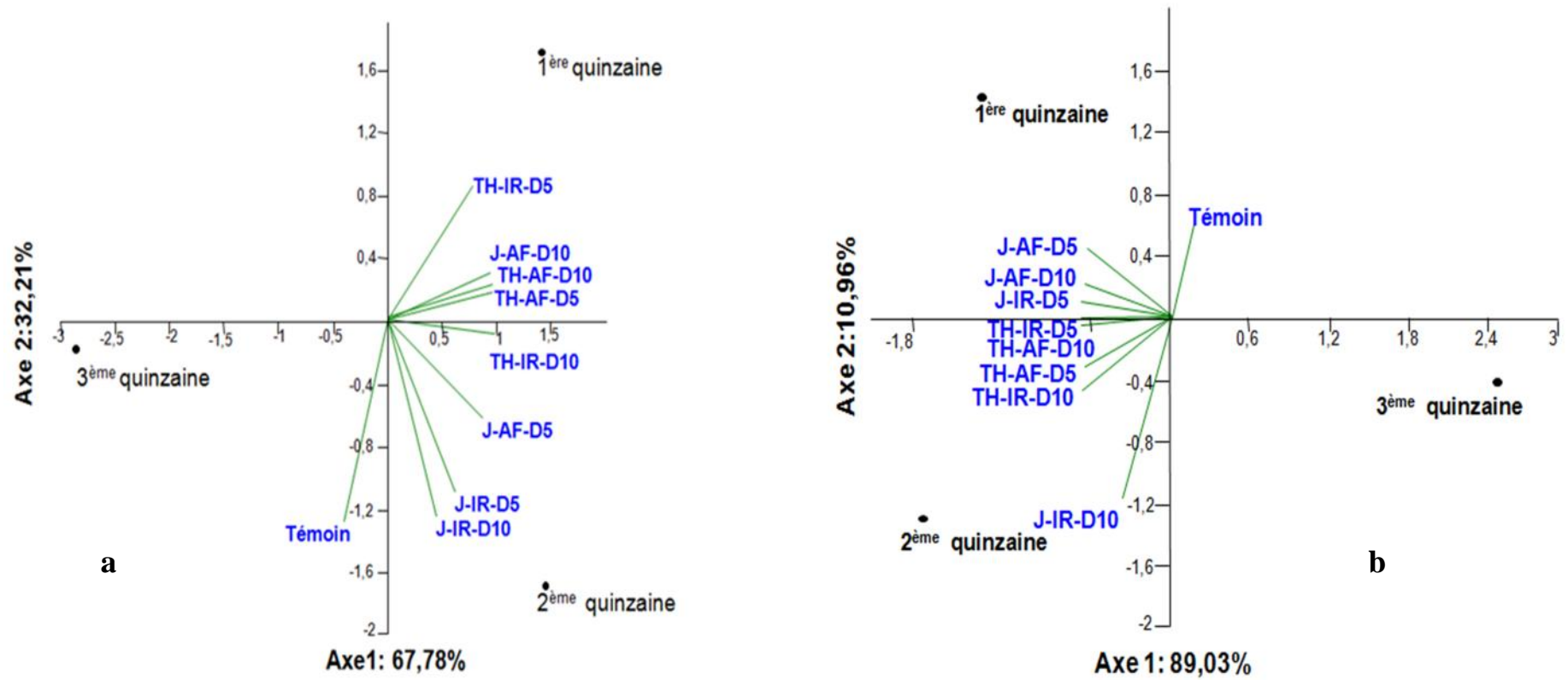


Figure 4.6 : Analyse multivariée « A.C.P » représentant l'effet de lombricompost sur les taux de la proline en absence (a) et présence des nématodes (b).

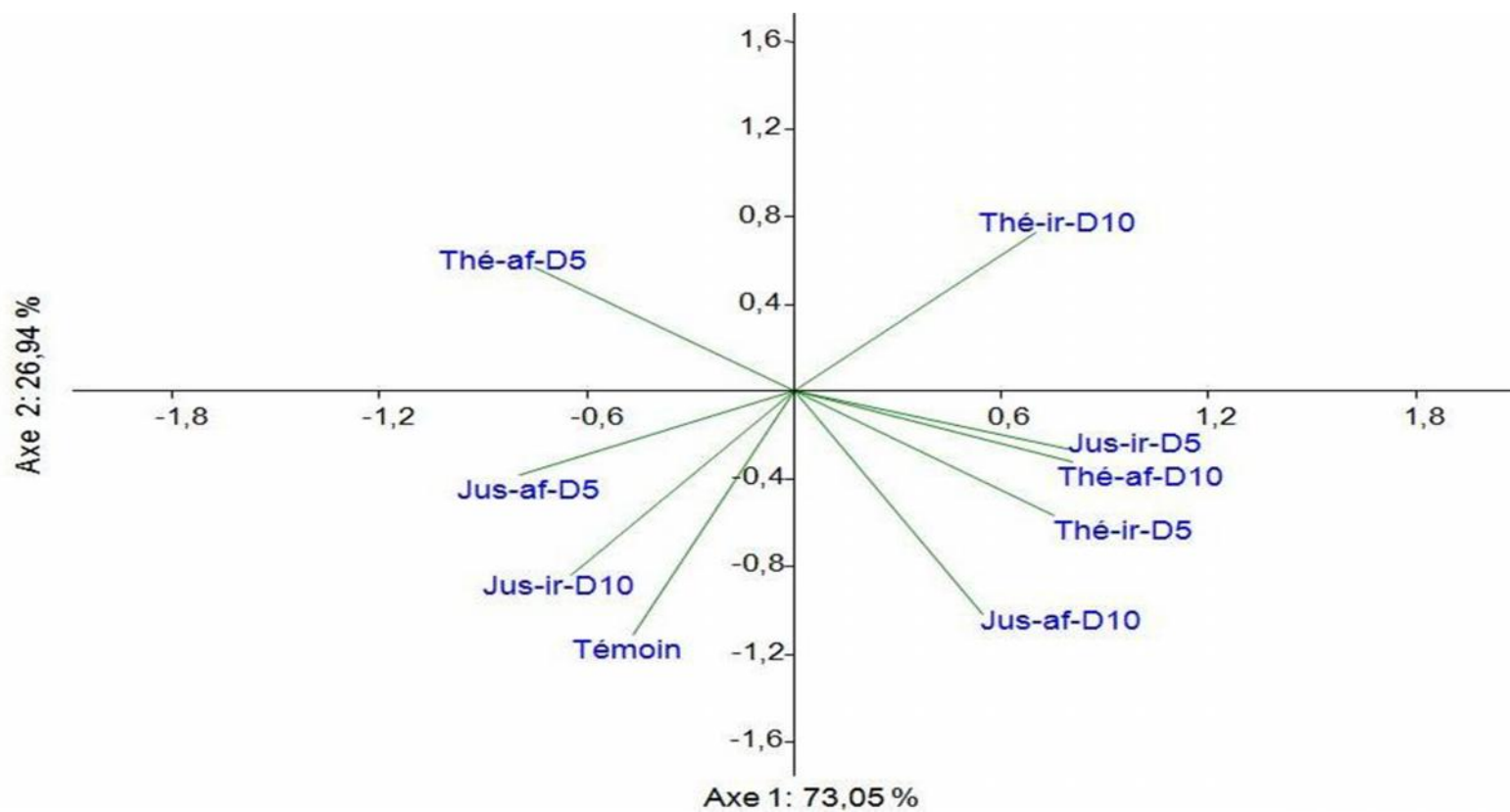


Figure 4.7 : Analyse multivariée « A.C.P » représentant l'effet de lombricompost sur les quantités d'eau.

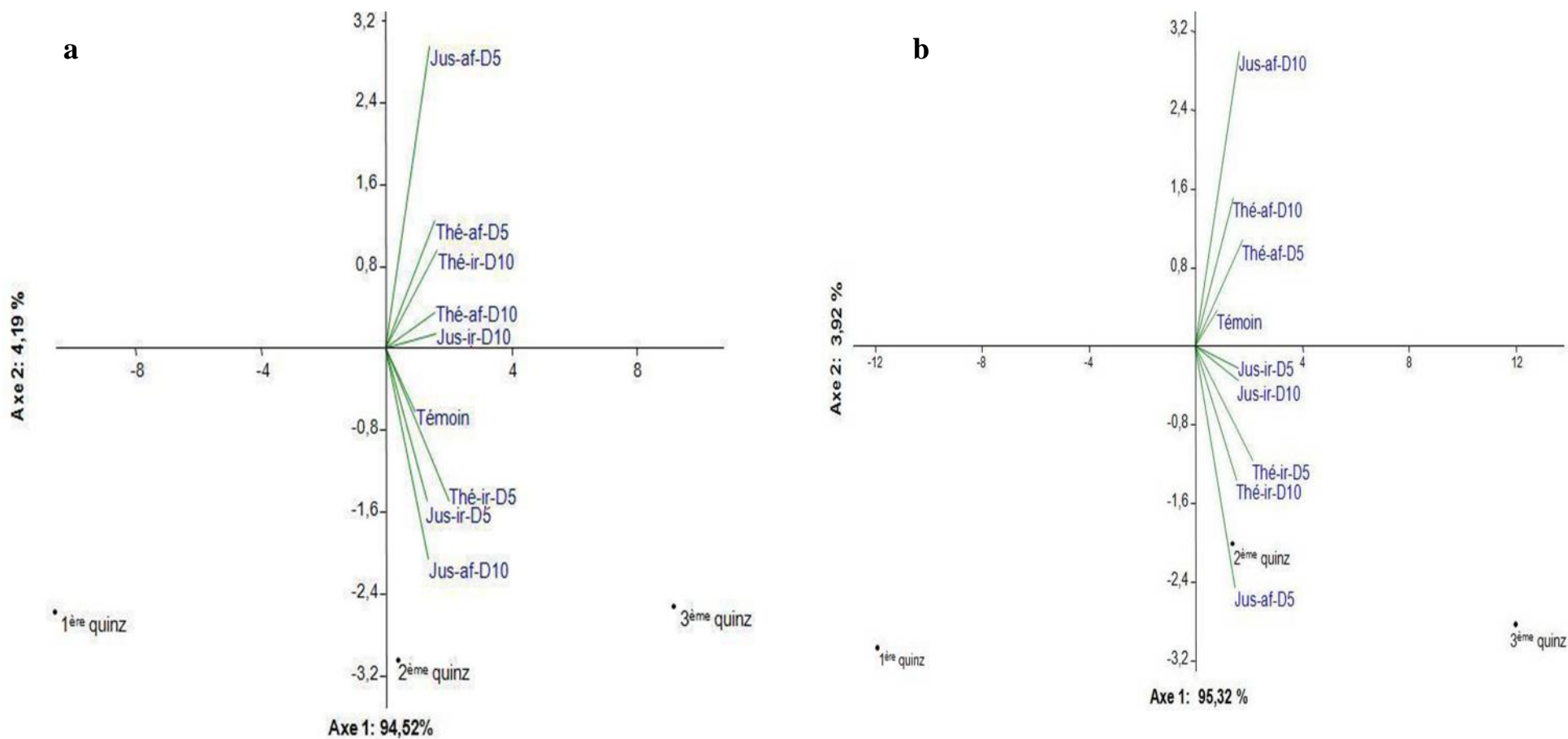


Figure 4.8 : Analyse multivariée « A.C.P » représentant l'effet de lombricompost sur la croissance des plants en absence (a) et présence des nématodes (b).

4.3. Etude comparée des traitements au jus et au thé du lombricompost sur la physiologie et la physionomie des plants de tomate

A fin d'étudier l'effet des différents apports du lombricompost sur les paramètres physiologique et physionomiques des plants de tomates, nous avons utilisé le modèle général linéaire (G.L.M). Ce modèle permet d'étudier l'effet strict des différents facteurs sans faire intervenir les interactions entre facteurs, de ce fait les niveaux à l'intérieur des facteurs seront scorés à travers le nombre d'analyse qui est limité à 360.

4.3.1. Etude comparée des traitements sur l'accumulation des sucres totaux

L'ensemble des résultats d'analyses sont consignées dans le tableau 4.1 et la figure 4.9

Tableau 4.1 : Modèle G.L.M. appliqué au taux des sucres totaux selon le jus et le thé du lombric (N=360) :

	Source	Somme des carrés	DDL	Moyennes des écarts	F-ratio	P
Sans nématodes	Modes d'application	3,722	2	1,861	1,175	0,327 ^{NS}
	Dilutions	0,375	1	0,375	0,237	0,631 ^{NS}
	Traitements	3,375	1	3,375	2,132	0,158 ^{NS}
	Var. intra	34,833	22	1,583	-	-
Sans nématodes	Modes d'application	2,072	1	2,072	1,831	0,190 ^{NS}
	Dilutions	1,839	1	1,839	1,625	0,216 ^{NS}
	Traitements	12,879	2	6,440	5,693	0,010 ^{**}
	Var. intra	24,885	22	1,131	-	-

NS : non significative, * : $p < 0,05$, ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$

L'analyse de variance (tableau 4.1 et figure 4.9) montre que l'effet du biofertilisant en absence de nématodes, a une incidence très ressenti par application du thé de lombric secondé par le jus de lombric. Bien que les probabilités ne le montre pas mais la tendance globale des variations des sucres totaux est au profit de la forte dilution et à l'irrigation.

En présence de nématodes, l'analyse de la variance montre que la dilution n'affecte pas d'une manière significative les taux d'accumulations des sucres totaux (F- ratio=1,625, $p=0.216$; $p > 0,05$) il on est de même pour le mode d'application (F- ratio=1,831, $p=0,190$ et ; $p > 0,05$).

Concernant la nature de traitement, le tableau ci-dessus dévoile une différence significative (F- ratio=5,693, $p = 0,010$; $P > 0,05$).

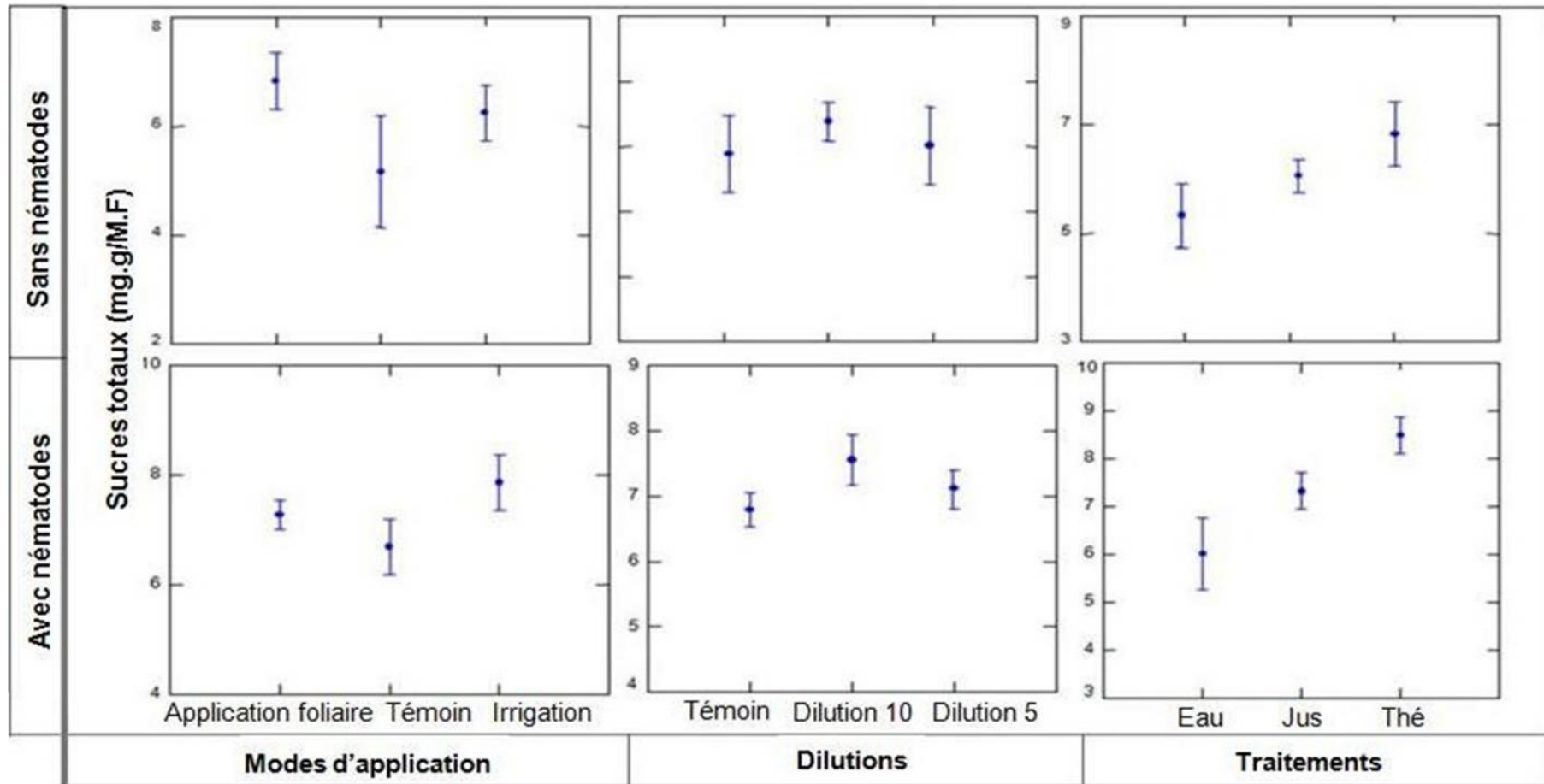


Figure 4.9 : Modulation comparée des sucres totaux selon le mode d'application, la dilution et la nature de traitement en et absence présence des nématodes.

4.3.2. Etude comparée des traitements sur l'accumulation de la proline

Le modèle G.L.M a été appliqué en considérant trois facteurs sans interactions : l'effet des différents paramètres de l'étude sur l'accumulation des taux de la proline chez les plants de la tomate à savoir le mode d'application (F-ratio = 1,021 ; p = 0,323), la dilution (F-ratio = 0,263 ; p = 0,613) et la nature de traitement (F-ratio = 0,819 ; p = 0,454) ; en absence des nématode, présentent des variations statistiquement non significatives (tableau 4.2).

Tableau 4.2 : Modèle G.L.M. appliqué au taux de la proline selon le jus et le thé du lombric (N=360) :

	Source	Somme des carrés	DDL	Moyens des écarts	F-ratio	P
Sans nématodes	Modes d'application	40,856	1	40,856	1,021	0,323 ^{NS}
	Dilutions	10,524	1	10,524	0,263	0,613 ^{NS}
	Traitements	65,524	2	32,762	0,819	0,454 ^{NS}
	Var. intra	880,561	22	40,026	-	-
Sans nématodes	Modes d'application	0,000	1	0,000	0,000	0,994 ^{NS}
	Dilutions	0,000	1	0,000	0,000	0,997 ^{NS}
	Traitements	57,070	2	28,535	13,050	0,000 ^{***}
	Var. intra	48,105	22	2,187	-	-

NS : non significative, * : p < 0,05, ** : p < 0,01 ; *** : p < 0,001

L'analyse de la variance confirme l'absence d'une différence significative entre les taux de proline accumulés chez les témoins et les traités sans infestation (figure 4.10).

La même analyse dévoile qu'en présence de nématodes, les différentes formes et modes d'apport de biofertilisant un rabaissement significatif des taux de proline par comparaison au témoin. Le tableau 4.2 et la figure 4.4 montre une différence hautement significative entre la nature du traitement et les taux d'accumulation de la proline (p = 0,000 ; p < 0,001).

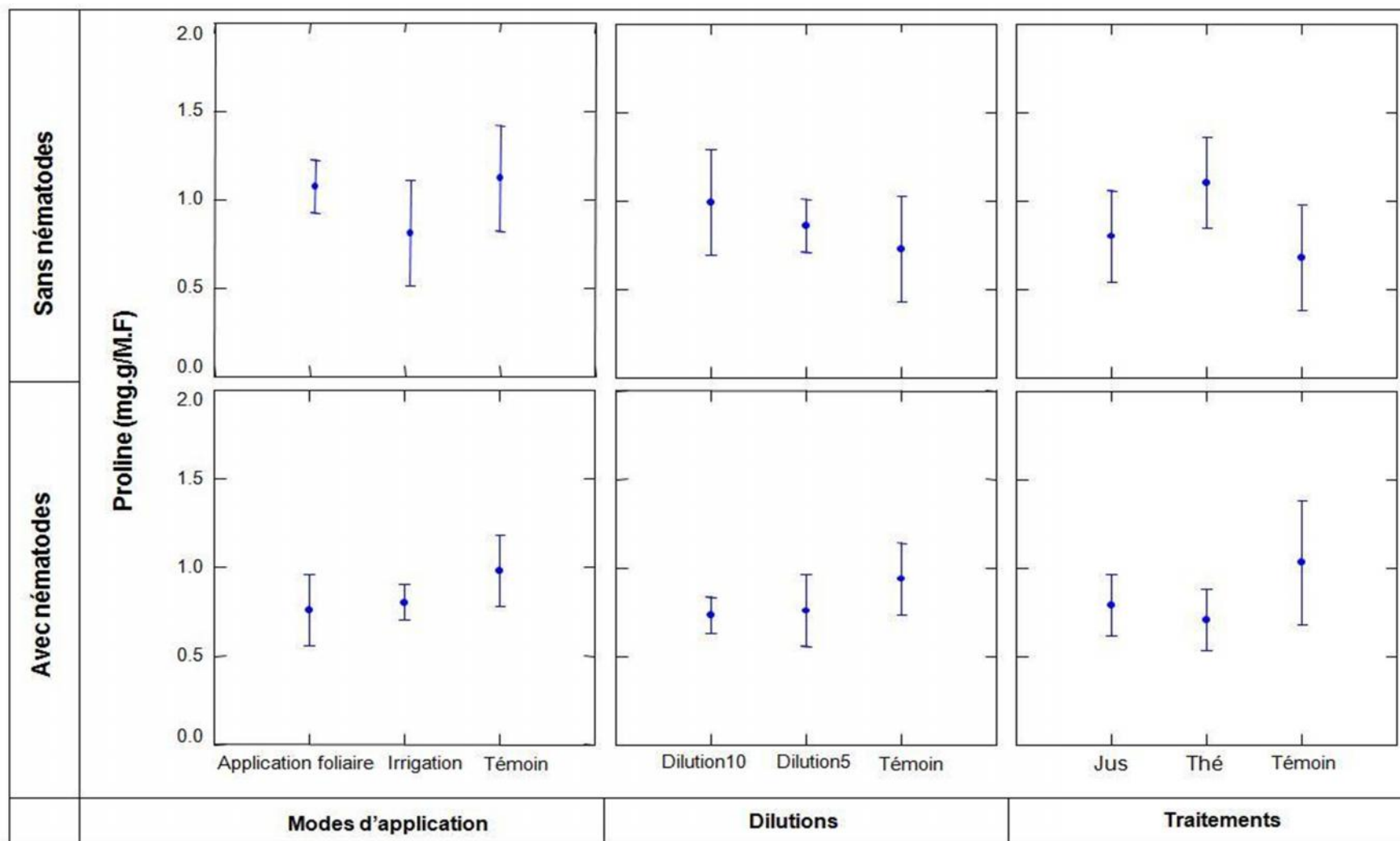


Figure 4.10 : Modulation comparée de la proline selon le mode d'application, la dilution, la nature de traitement en absence et la présence des nématodes.

4.3.3. Etude comparée des traitements sur la quantité d'eau

Pour confirmer nos résultats nous avons effectué l'analyse de la variance modèle G.L.M.

Tableau 4.3 : Effet de jus et thé de lombric sur la quantité d'eau des racines de tomate à travers l'analyse de la variance.

Source	Somme des carrés	DDL	Moyennes des écarts	F-ratio	P
Modes de traitement	0,510	1	0,510	1,089	0,308 ^{NS}
Dilutions	0,416	2	0,208	0,444	0,647 ^{NS}
Traitements	5,134	1	5,134	10,956	0,003 ^{**}
Var. intra	10,308	22	0,469		

NS : non significative, * : $p < 0,05$, ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$

L'application du modèle G.L.M pour les données reportées dans le tableau 4.3 et la figure 4.11, nous montre que le mode d'application et la dilution n'affectent pas d'une manière significative la quantité d'eau des racines de tomate ($p = 0,308$ et $p = 0,647$. $p > 0,05$), contrairement à la nature de traitement qui présente une différence significative ($p=0,003$; $p < 0,01$), où la quantité d'eau des racines de tomate est très importante le jus suivi par le thé de lombric par rapport au témoin.

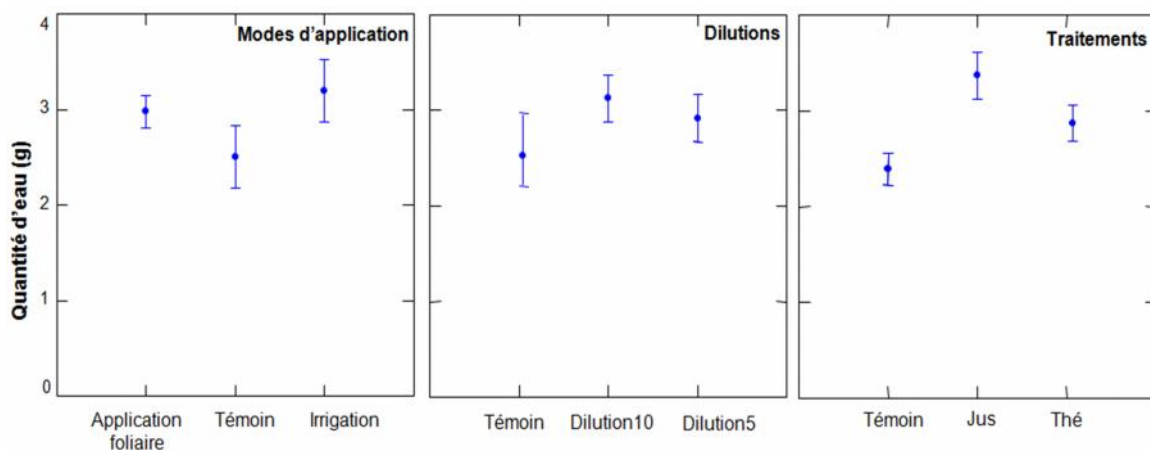


Figure 4.11 : Variation de la quantité d'eau des racine de tomate selon les différents modes d'application et dilutions du thé et jus de lombric.

4.3.4. Etude comparée des traitements sur la croissance des plants de tomate

Pour interpréter nos résultats nous avons appliqué l'analyse de la variance modèle G.L.M aux résultats obtenus. Le tableau 4.4 montre qu'en présence et absence des nématodes, la croissance moyenne varie d'une manière très hautement significative d'un point de vue la période (temps) et nature de traitement (jus et thé) testés ($p=0,000$ et $p= 0,005$; $p < 0,05$), mais ne présente pas de différence significative au niveau de mode d'application et la dilution.

Tableau 4.4 : Effet de jus et thé de lombric sur la croissance des plants de tomate à travers l'analyse de la variance en présence et absence des nématodes.

	Source	Somme des carrés	DDL	Moyennes des écarts	F-ratio	P
Sans nématodes	Période	1612,765	2	806,383	199,750	0,000***
	Traitements	33,347	1	33,347	8,260	0,005***
	Modes d'application	0,681	1	0,681	0,169	0,683 ^{NS}
	Dilutions	3,647	2	1,823	0,452	0,638 ^{NS}
	Var. intra	298,735	74	4,037	-	-
Sans nématodes	Période	1612,765	2	806,383	199,750	0,000***
	Traitements	33,347	1	33,347	8,260	0,005***
	Modes d'application	0,681	1	0,681	0,169	0,683 ^{NS}
	Dilutions	3,647	2	1,823	0,452	0,638 ^{NS}
	Var. intra	298,735	74	4,037	-	-

NS : non significative, * : $p < 0,05$, ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$

La figure 4.12 confirme nos résultats où le thé de lombric stimule la croissance des plants de tomate infestés et non infestés suivi par le jus par rapport au témoin.

La croissance moyenne des plants varie dans le temps, la hauteur maximale est enregistrée après 30 jours. En ce qui concerne la dilution et le mode d'application des traitements elles ne diffèrent pas d'un traitement à un autre et présentent une croissance moyenne similaire en présence et absence de nématodes.

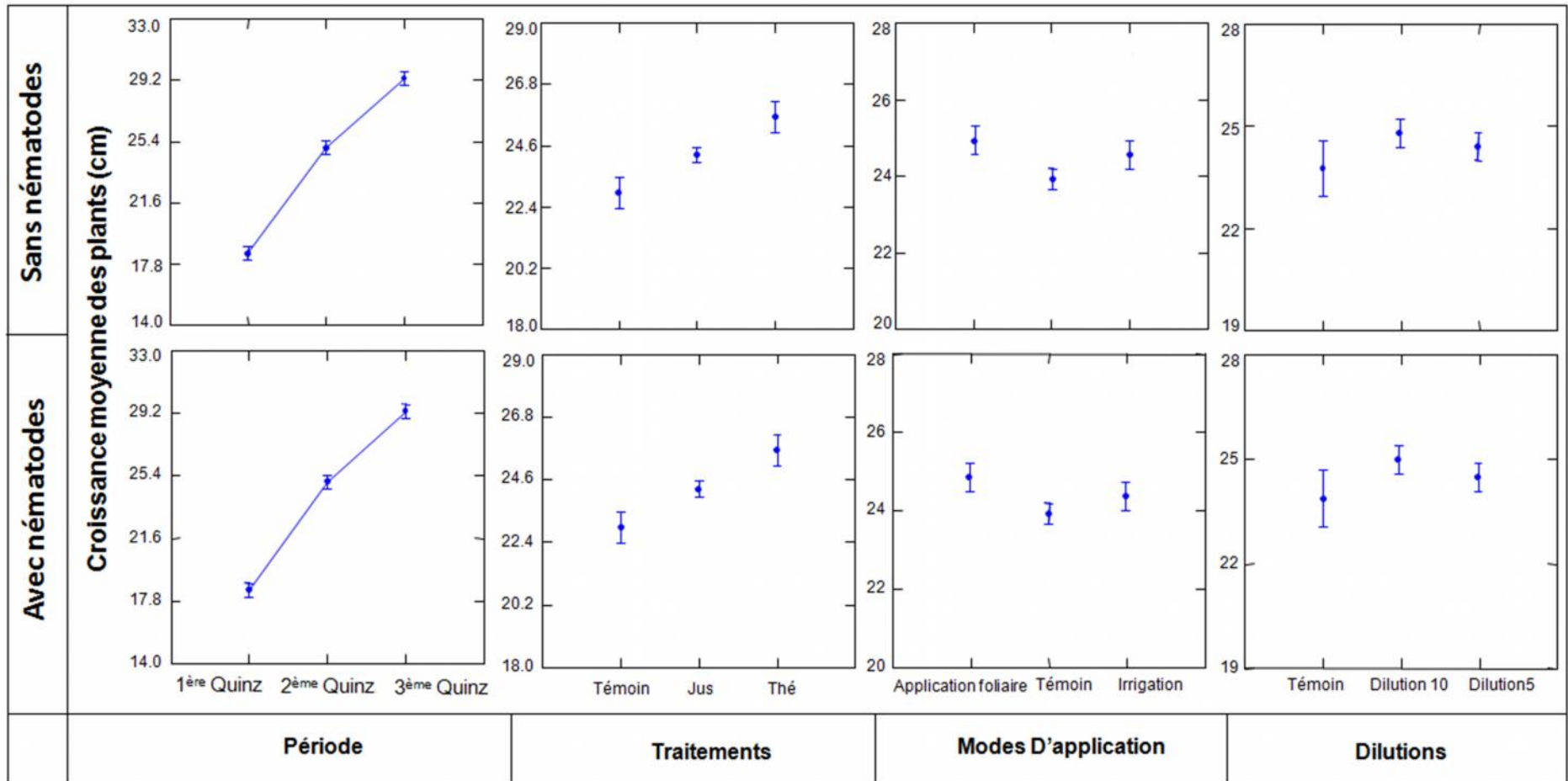


Figure 4.12: modulation comparée de la croissance moyenne des plants de tomate selon le mode d'application, la dilution et la nature de traitement en présence et absence de nématodes.

4.4. Tendance générale de l'effet des traitements au jus et au thé du lombricompost sur le développement des nématodes à galles (*Meloidogyne*)

Pour visualiser l'effet de jus et du thé du lombricompost sur le développement des nématodes à galles, nous avons estimé le nombre de galles produit par les larves "L₂" sur les racines de tomate et le nombre des larves transformées en femelles.

4.4.1. Tendance générale de l'effet des traitements au jus et au thé du lombricompost sur le nombre de galles

D'après les résultats représentés en appendice D et la figure 4.13 qui révèlent que le nombre de galles varie en fonction des modes d'applications des traitements et leurs dilutions, cette variation est au profit du témoin.

En effet, le thé et le jus de lombric permet de réduire le nombre de galles sur les racines de la Marmande. Le nombre de galles le plus faible est enregistré sur les racines de tomate traitée avec le thé de lombric à la forte dilution (dilution 10) et en irrigation, également pour les blocs traités avec le jus de lombric, le nombre de galles dépasse légèrement celui de thé de lombric, avec un nombre très important chez le témoin.

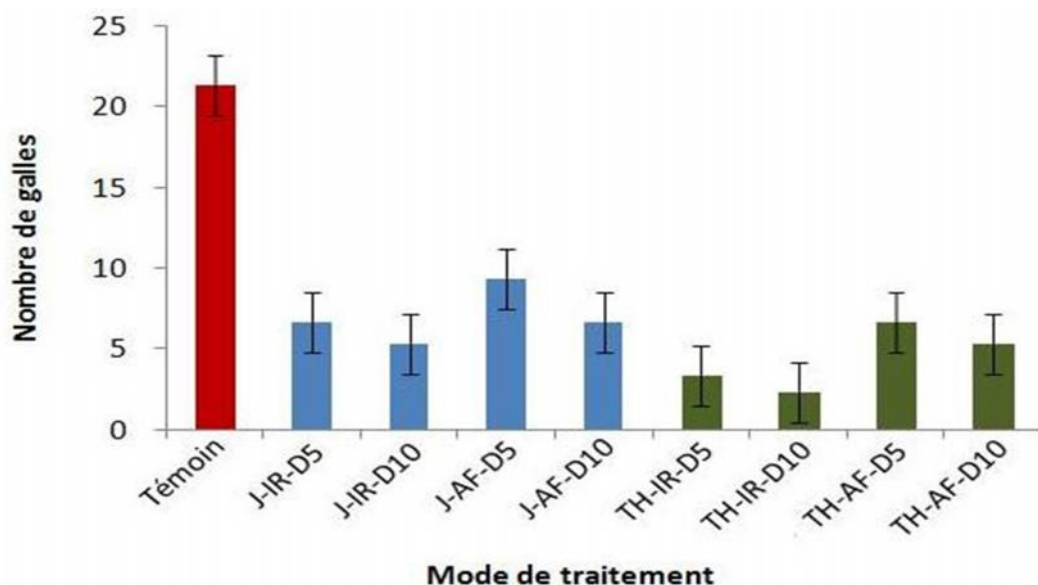


Figure 4.13 : Effet du jus et thé de lombric sur le taux d'infestation des racines de tomate.

4.4.2. Tendance générale de l'effet des traitements au jus et au thé du lombricompost sur le nombre de larves transformées en femelles

Pour évaluer l'effet des modes d'applications de jus et thé de lombric sur la multiplication des *Meloidogynes* nous avons compté le nombre de femelles contenues dans dix (10) galles. Les résultats obtenus figure 4.14 (appendice D) révèlent que le nombre de femelles varie en fonction des traitements testés.

L'application de thé et jus de lombric réduit efficacement l'effectif des femelles, aussi bien la forte dilution (dilution 10) que la faible dilution (dilution 5), par ailleurs ces valeurs sont très inférieures à celles du témoin.

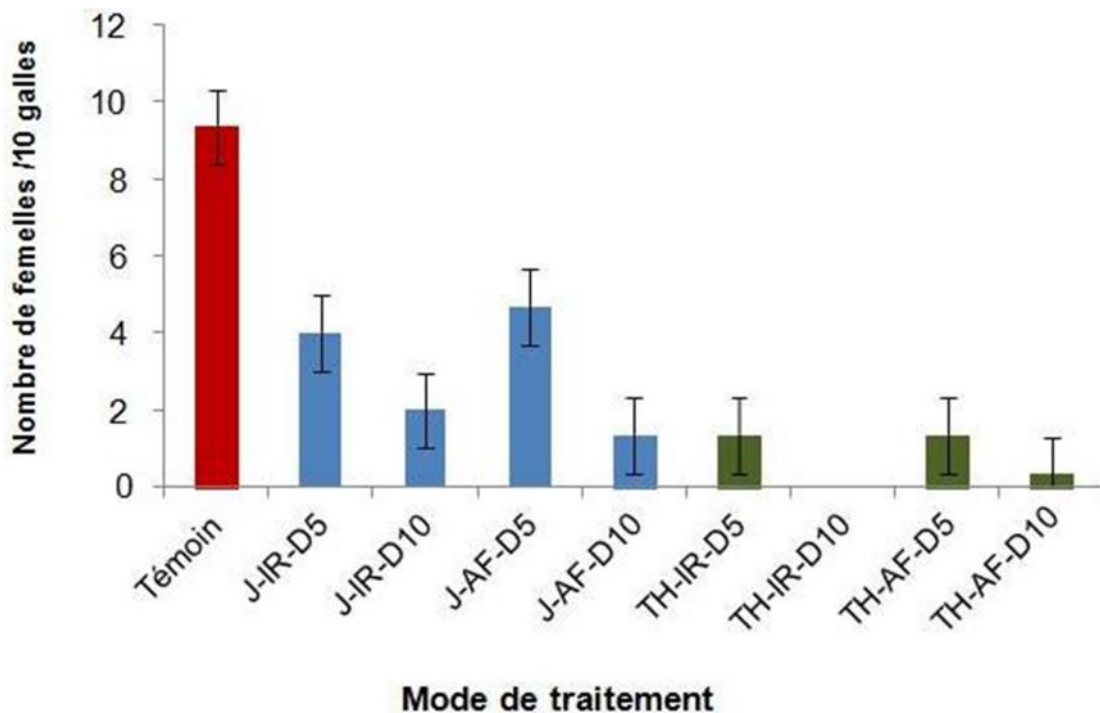


Figure 4.14 : Effet de jus et thé de lombric sur le développement des femelles des *Meloidogynes*.

4.5. Evaluation de l'effet des traitements au jus et au thé du lombricompost sur le développement des nématodes à galles (*Meloidogyne*)

La variation de la qualité phytochimique des racines et des feuilles de la tomate a été évaluée sous l'effet des différents modes et dilutions de jus et thé de lombricompost en absence et présence de nématodes.

Les données quantitatives des sucres totaux ont été soumises à une Analyse en Composantes Principales (A.C.P.). L'analyse en composantes principales, effectuée avec le logiciel PAST, est satisfaisante pour l'ensemble des paramètres étudiés dans la mesure où plus de 80% de la variance sont exprimés sur les 2 premiers axes.

4.5.1. Evaluation de l'effet des traitements sur le nombre de galles

L'analyse en composante principale (figure 4.15) révèle que la variation des modes d'application et des dilutions des traitements semble agir sur le nombre de galles, les facteurs traitement présentent une certaine disparité. Le thé de lombric appliqué en irrigation à la forte dilution (D10) est corrélé négativement avec le témoin, le jus irrigué et appliqué en application foliaire à la faible dilution (D5), Le thé utilisé en application foliaire à la faible et la forte dilution.

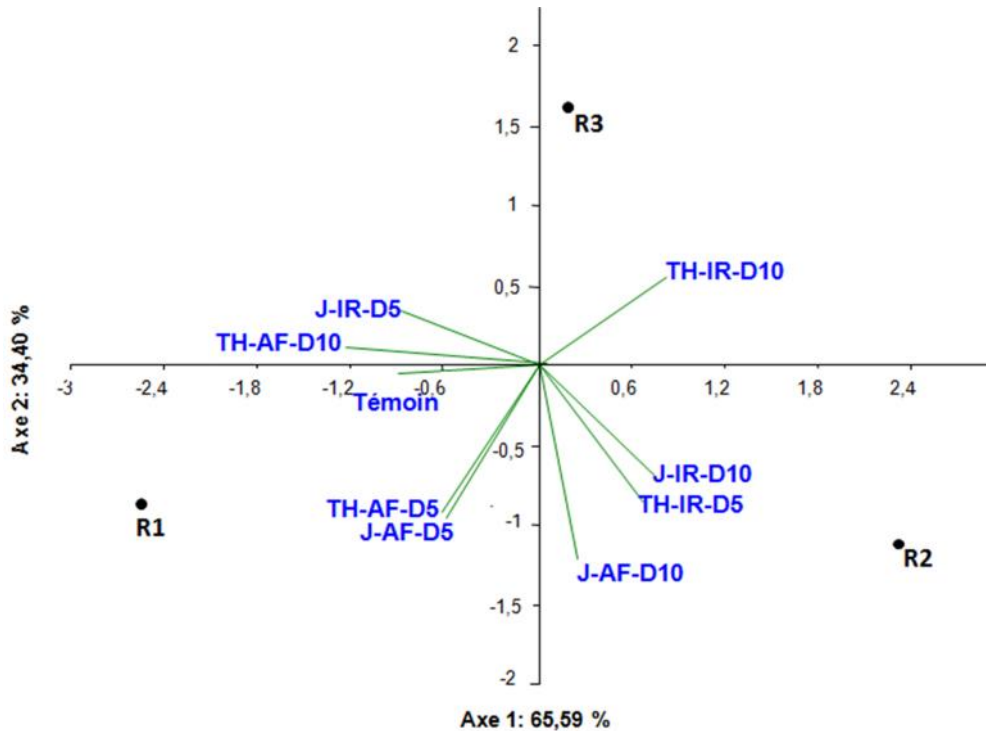


Figure 4.15 : Analyse multivariée « A.C.P » représentant l'effet de jus et le thé de lombricompost sur le nombre de galles de Meloidogyne.

4.5.2. Evaluation de l'effet des traitements sur le nombre de larves transformées en femelles

L'analyse multivariée (figure 4.16) montre la différence de nombre de femelle chez les traités par rapport au témoin. Elle dévoile que l'application foliaire et l'irrigation du jus de lombric à la forte dilution (D10) et le thé de lombric irrigué à la faible (D5) et la forte dilution (D10) sont présent dans la même enveloppe et sont corrélés négativement avec l'application foliaire du thé, l'application foliaire du jus à la dilution 5 et le jus irrigué à la même dilution.

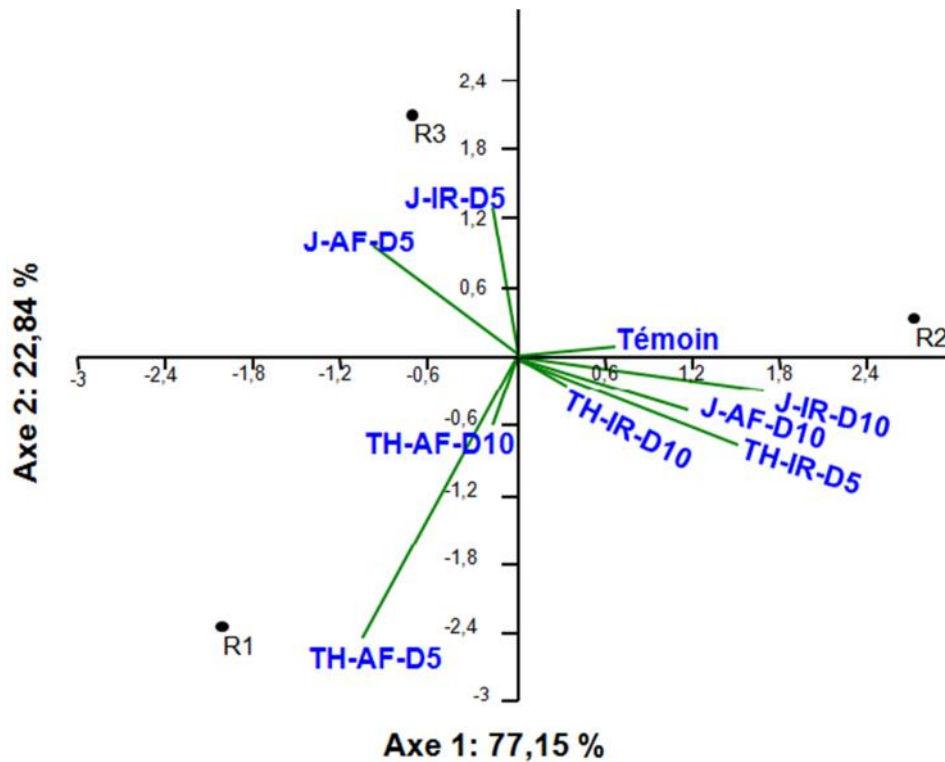


Figure 4.16 : Analyse multivariée « A.C.P. » représentant l'effet de jus et thé de lombric sur le nombre de femelles.

4.6. Etude comparée des traitements au jus et au thé du lombricompost sur le développement des nématodes à galles (*Meloidogyne*)

4.6.1. Etude comparée des traitements sur le nombre de galles

Pour confirmer les résultats obtenus nous avons utilisé le modèle général linéaire (G.L.M), de manière à étudier l'effet du jus et thé de lombric sur le développement des nématodes à galle. L'ensemble des résultats d'analyses sont consignés dans le tableau 4.5 et la figure 4.17.

Tableau 4.5 : Modèle G.L.M. appliqué au nombre de galles en fonction de la nature de traitement, dilution et le mode d'application (N=360) :

Source	Somme des carrés	DDL	Moyens des écarts	F-ratio	P
Modes d'application	118,167	2	59,083	10,969	0,000***
Dilutions	15,042	1	15,042	2,793	0,109 ^{NS}
Traitements	40,042	1	40,042	7,434	0,012*
Var. intra	118,500	22	5,386	-	-

NS : non significative, * : $p < 0,05$, ** : $p < 0,01$; *** : $p > 0,001$

L'application du modèle G.L.M pour les données reportées dans le tableau 4.5 et la figure 4.17, nous montre que la dilution n'affecte pas d'une manière significative le nombre de galles (F- ratio=2,793, $p=0,109$; $p > 0,05$), contrairement au mode d'application et la nature de traitement qui présente une différence significative (F- ratio=10,969, $p=0,000$ et F- ratio=7,434, $p=0,012$; $p > 0,05$).

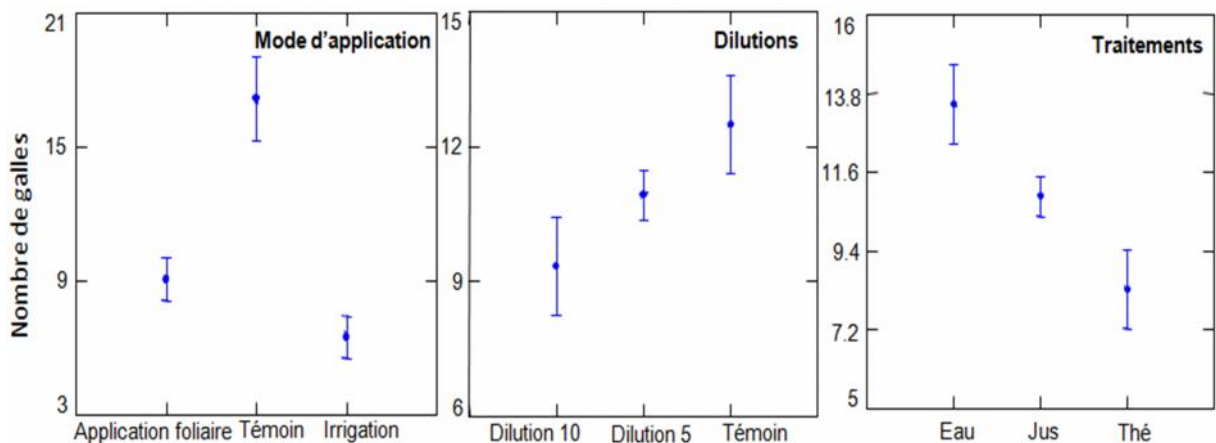


Figure 4.17 : Modulation comparée de nombre de galles selon le mode d'application, la dilution et la nature de traitement.

4.6.2. Etude comparée des traitements sur le nombre le nombre de larves transformées en femelles

Nous avons utilisé le modèle générale linéaire (G.L.M), de manière à étudier l'effet du thé et jus de lombric sur le nombre de femelles. L'ensemble des résultats d'analyses sont consignées dans le tableau 4.6 et la figure 4.18.

Tableau 4.6 : Modèle G.L.M. appliqué au nombre de femelles en fonction de la nature de traitement, dilution et le mode d'application (N=360) :

Source	Somme des carrés	DDL	Moyens des écarts	F-ratio	P
Modes d'application	0,042	1	0,042	0,018	0,894 ^{NS}
Dilutions	44,273	2	22,137	9,580	0,001**
Traitements	30,375	1	30,375	13,146	0,001**
Var. intra	50,833	22	2,311	-	-

NS : non significative, * : $p < 0,05$, ** : $p < 0,01$; *** : $p > 0,001$

Le tableau ci-dessus indique que le nombre de femelles présente une différence significative selon les différents facteurs étudiés.

L'application du modèle G.L.M pour les données reportées dans le tableau 4.6 et la figure 4.18, nous montre que le mode d'application n'affecte pas d'une manière significative le nombre de femelles ($p=0,894$; $p > 0,05$), contrairement à la dilution et la nature de traitement qui présentent une différence significative ($p=0,001$ et $p=0,001$; $p < 0,01$), où on constate que le nombre de femelles est moins important avec la forte dilution et avec le thé de lombric par rapport au témoin.

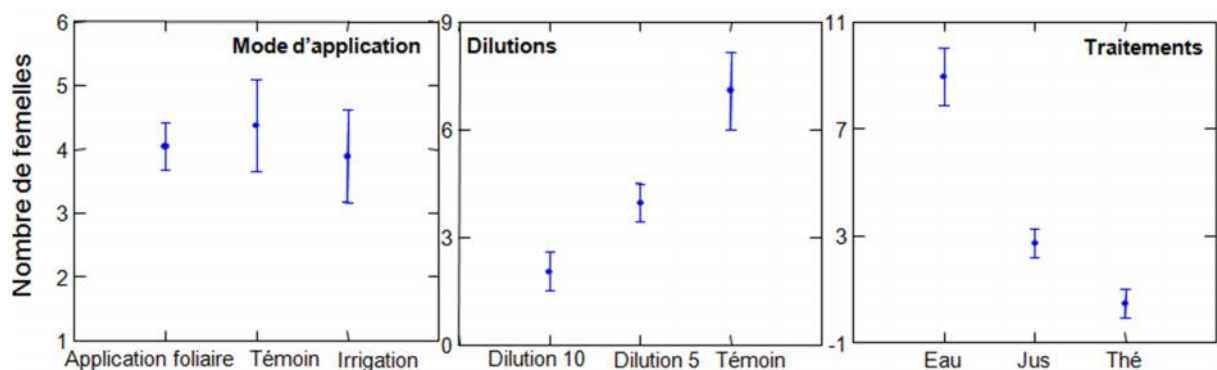


Figure 4.18 : modulation comparée de nombre de galles selon le mode d'application, la dilution et la nature de traitement.

4.7. Relation entre l'expression de formation de galle et la variation d'accumulation des taux de la proline et sucres totaux

Les variations des taux de la proline et sucres totaux des plants de la tomate ainsi que le nombre de galles, ont été évaluées sous l'effet de différentes dilutions et modes d'application du thé et jus de lombric. Le tableau 4.7 fait ressortir à travers les valeurs du coefficient de Pearson, certaines affinités entre les différents paramètres étudiés.

Concernant le témoin on ne retrouve pas de corrélation entre le nombre de galles et l'accumulation des sucres totaux et la proline. Sous l'effet du jus de lombric appliqué par irrigation et application foliaire en faible et forte dilution (D5, D10) aucune corrélation n'est signalée entre la variation des sucres totaux et le nombre de galles. En revanche, nous signalons l'installation d'une corrélation négative entre les taux de la proline et le nombre de galles à travers l'application du jus de lombric par irrigation à la faible dilution (D5) ($r = -0,999$, $P = 10^{-4}$; $p < 0,05$) et par application foliaire à la forte dilution (D10) ($r = -0,997$, $p = 0,046$; $p < 0,05$).

Concernant le thé de lombric appliqué aucune corrélation n'est signalée sauf en application foliaire à la forte dilution (D10) on observe l'installation d'une corrélation positive ($r = 0,998$, $p = 0,029$; $p < 0,05$) entre le nombre de galles et le taux d'accumulation des sucres totaux.

Pour la corrélation de la proline, sous l'effet du thé de lombric dilué à la faible dilution (D5) appliqué en irrigation est significative ($r = -0,99702$, $p = 0,049154$, $p > 0,05$).

Tableau 4.7: Coefficients r de Pearson et probabilités associées pour l'interaction taux de la proline, sucre totaux et le nombre de galles

Mode d'application	Dilutions	Nombre de galles	Jus de lombricompost				Thé de lombricompost			
			Sucre totaux		Proline		Sucre totaux		Proline	
			P	C.C	P	C.C	P	C.C	P	C.C
Témoin		Nombre de galle	0,521	-0,68	0,85	0,21				
Irrigation	Dilution 5	Nombre de galle	0,483	0,72	0,0035	-0,99	0,871	-0,20	0,049	-0,99
	Dilution 10	Nombre de galle	0,530	0,67	0,674	-0,48	0,778	0,34	0,248	-0,92
Application foliaire	Dilution 5	Nombre de galle	0,394	0,81	0,155	-0,97	0,21	0,94	0,198	-0,95
	Dilution 10	Nombre de galle	0,264	0,91	0,046	-0,99	0,029	0,99	0,075	-0,99

4.8. Relation entre le nombre de femelles et la variation d'accumulation des taux de la proline et sucres totaux

Les variations des taux de la proline et sucres totaux des plants de la tomate ainsi que le nombre de femelles, ont été évaluées sous l'effet de différentes dilutions et modes d'application du thé et jus de lombric. Le tableau 4.8 fait ressortir à travers les valeurs du coefficient de Pearson, certaines affinités entre les différents paramètres étudiés.

Concernant le témoin on ne retrouve pas de corrélation entre le nombre de femelles et l'accumulation des sucres totaux et la proline. Sous l'effet des deux traitements aux différents modes d'application (irrigation, application foliaire) et dilutions (D5, D10) aucune corrélation n'est signalée entre la variation des sucres totaux et le nombre de femelles sauf l'application foliaire du thé à la forte dilution (D10) où s'est installée une corrélation positive ($r = 0,998$, $p = 0,029$, $p < 0,05$). En revanche, nous signalons l'installation d'une corrélation négative entre les taux de la proline et le nombre de femelles à travers l'application du jus de lombric par irrigation à la faible dilution (D5) ($r = -0,999$, $P = 10^{-4}$; $p < 0,05$) et par application foliaire à la forte dilution (D10) ($r = -0,997$, $p = 0,046$; $p < 0,05$).

Concernant le thé de lombric appliqué aucune corrélation n'est signalée sauf en application foliaire à la forte dilution (D10) on observe l'installation d'une corrélation positive ($r = 0,998$, $p = 0,029$; $p < 0,05$) entre le nombre de femelles et le taux d'accumulation des sucres totaux.

Pour la corrélation de la proline, sous l'effet du thé de lombric dilué à la faible dilution (D5) appliqué en irrigation est significative ($r = -0,997$, $p = 0,049$; $p < 0,05$).

Tableau 4.8 : Coefficients r de Pearson et probabilités associées pour l'interaction taux de la proline, sucre totaux et le nombre de femelles.

Mode d'application	Dilutions	Nombre de femelles	Jus de lombricompost				Thé de lombricompost			
			Sucre totaux		Proline		Sucre totaux		Proline	
			P	C.C	P	C.C	P	C.C	P	C.C
Témoin		Nombre de femelle	0,115	0,983	0,734	0,405				
Irrigation	Dilution 5	Nombre de femelle	0,483	0,724	10^{-4}	-0,999	0,871	-0,2	0,049	-0,997
	Dilution 10	Nombre de femelle	0,530	0,672	0,674	-0,489	0,778	0,341	0,248	-0,924
Application foliaire	Dilution 5	Nombre de femelle	0,394	0,814	0,155	-0,970	0,217	0,942	0,198	-0,951
	Dilution 10	Nombre de femelle	0,264	0,914	0,046	-0,997	0,029	0,998	0,075	-0,992

CHAPITRE 5

DISCUSSION GÉNÉRALE

Les plantes subissent diverses attaques d'organisme nuisible, contre lesquelles elles possèdent des moyens de défense. Lorsqu'une plante est contaminée (virus, bactéries, champignons, mycoplasmes...) il n'existe aucun traitement curatif. Seule la prévention est susceptible de protéger efficacement les cultures. Afin de protéger les plantes, préserver l'environnement et protéger la santé humaine, les mesures réglementaires se durcissent et tendent notamment à diminuer les quantités des produits phytopharmaceutiques répandus sur les cultures et le nombre de substances actives autorisées. Actuellement les biotechnologies qui ont été développées font appel à la chimiothérapie, la lutte biologique, la transgénèse et très récemment la phytothérapie qui stimule les défenses naturelles (SDN) de la plante cultivée [64].

A partir des résultats obtenus de la présente approche nous conduisons les hypothèses suivantes :

5.1. Effet des apports des biofertilisants sur l'agressivité des nématodes à galles

Pour évaluer l'effet de jus et thé de lombricompost dans le contrôle des nématodes à galles, nous avons tenu compte des paramètres représentés par le nombre de galles produites par les larves « L2 » sur les racines de tomate et le nombre des larves transformées en femelles.

Les résultats du comptage du nombre de galles ont montré que le thé et le jus de lombricompost permettent de réduire le nombre de galles sur les racines des plants de tomate. Le nombre de galles le plus faible est enregistré sur les racines de tomate traitée avec le thé de lombricompost à la forte dilution (dilution 10) et en irrigation. Les mêmes résultats expriment l'effet de jus de lombricompost sur le nombre de galles mais avec un degré moins par comparaison au thé de lombricompost (le nombre de galles dépasse légèrement celui de thé de lombricompost), avec un nombre très important chez le témoin (figure 4.13).

En plus de la réduction de nombre de galles enregistrée chez les plants traités avec le thé et le jus de lombricompost, nous avons observé la présence de nombreuses galles vides.

En se référant à ces résultats, deux hypothèses peuvent être retenues. La première concerne l'effet stimulateur des défenses naturelles des plants traités, et la seconde exprime un effet de masculinisation des femelles de *Meloidogyne* à l'application des différents types de lombricompost.

La première hypothèse apportée rejoint des nombreux travaux qui se sont intéressés à l'application des éliciteurs sur les plantes, en activant préventivement ses réactions de défense, conduisant à l'augmentation de sa résistance aux bioagresseurs. Ainsi, l'utilisation judicieuse d'éliciteurs pourrait permettre de diminuer la quantité de pesticide nécessaire pour protéger une culture.

Les effets des biofertilisants (lombricompost) autant que biostimulateur des défenses naturelles des plantes sont peu documentés, en revanche la seule documentation disponible a été consacrée aux extraits des plantes dont nous citons l'exemple de Milsana et le Stifénia. Il s'agit respectivement, d'extraits de feuilles de renouée de Sakhaline (*Reynoutria sachalinensis*) et de graines de fenugrec (*Trigonelles foenum-graecum*). D'après des essais de protection, le Milsana a présenté une protection efficace contre l'oïdium chez différentes plantes comme le concombre, la tomate, le bégonia et le pommier dans lesquelles il induit des réponses de défense telles que la production de β -1,3-glucanases, de phytoalexines [37, 58].

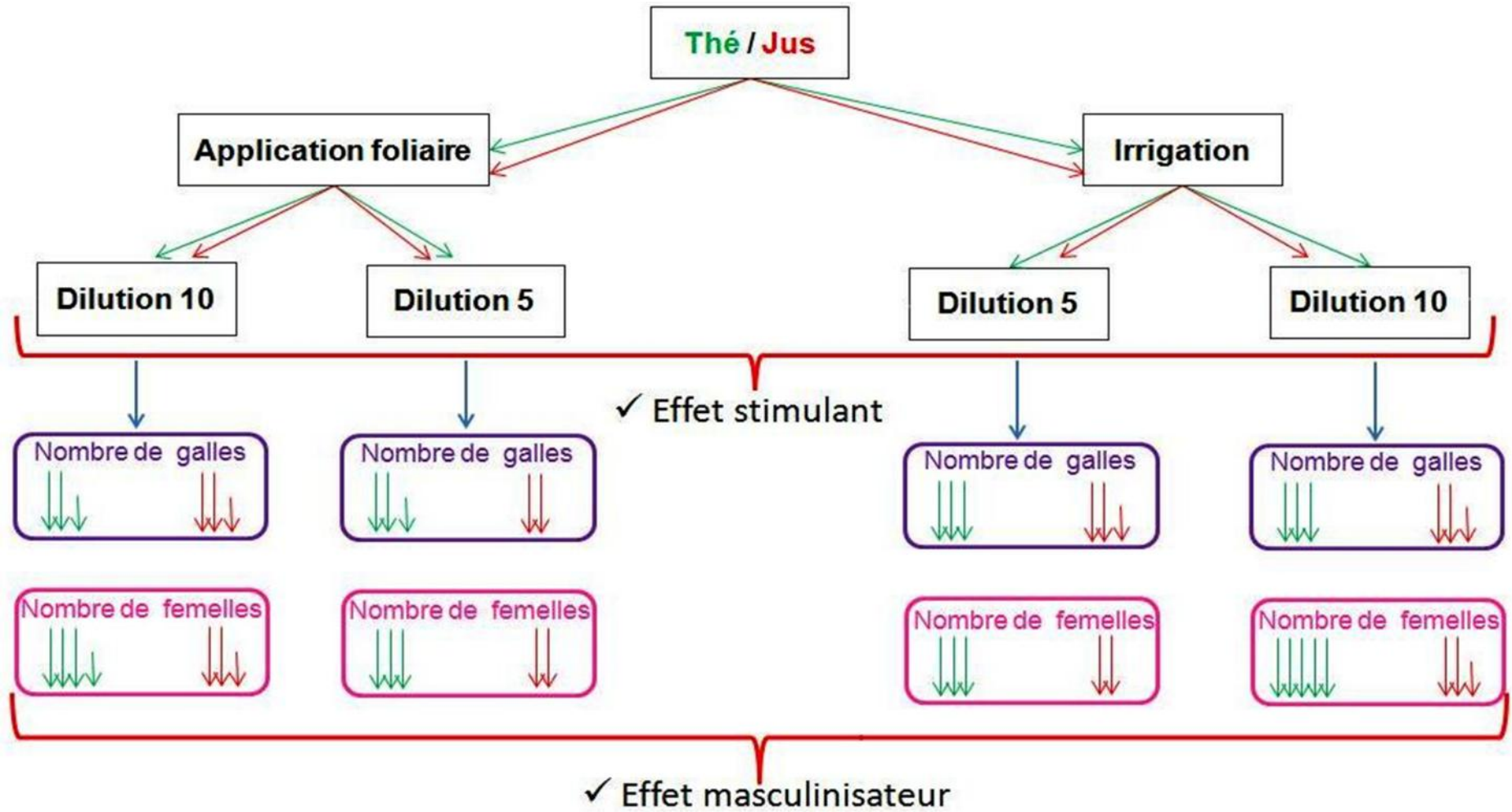


Figure 5.1 : Schéma expliquant le model hypothétique de l'effet stimulateur des plants de tomate et l'effet masculinisateur de jus et thé de lombric.

Quant au Stifénia, il a été appliqué sur vigne contre l'oïdium. Cependant, les résultats montrent qu'il est aussi efficace contre des champignons et des bactéries phytopathogènes appartenant aux genres *Fusarium* et *Pseudomonas* chez le concombre et l'arabette [37, 58].

D'autres travaux ont étudié l'action d'un stimulateur naturel de défense (SDN) extrait d'algues brunes marines. Ces extraits sont connus depuis longtemps et sont utilisés comme engrais pour leur richesse en minéraux et en molécules biologiques naturelles. Les résultats obtenus sur les mildious du poivron (*Phytophthora capsici*) et de la vigne (*Plasmopara viticola*) traduisent bien l'intérêt des SDN comme produits de substitution aux produits de synthèse [64].

Concernant l'effet masculinisateur des femelles des Meloidogynes est peu documenté [101], signale la présence des facteurs écologiques affectant la différenciation sexuelle, où il a montré que la nutrition a un très grand rôle sur la différenciation sexuelle et sur les populations des Meloidogynes. L'application de quelques produits chimiques avec ou sans effet nématocide a une influence considérable sur le développement et sur la différenciation du sexe de nématodes [101].

Le maleic hydrazide (6-hydroxy-3-(2h) -pyridazinome) est un puissant inhibiteur de la croissance des plantes, a été trouvé pour empêcher le développement des Meloidogyne (Peacock, 1960). Le pourcentage des mâles de *M. incognita* et *M. javanica* a augmenté considérablement quand le maleic hydrazide a été appliqué sur des plantes infestées par ces nématodes. Ce produit supprime la formation des cellules géantes qui sont essentielles pour le développement des Meloidogyne [22].

Un stress nutritif appliqué pendant la ponte n'a pas le même effet selon sa nature : une déficience minérale globale reste sans effet, tandis que la défoliation de l'hôte accroît le pourcentage de diapause. Or, il en est de même pour la différenciation sexuelle qui est peu affectée par une déficience minérale [22], tandis que la défoliation masculinise les larves [101], de même que la

suppression du saccharose en culture monoxène [72. a]. Il semble donc qu'un déséquilibre glucidique de l'hôte, provoqué entre autre par sa défoliation, entraîne chez le parasite des réactions (masculinisation et induction de diapause), assimilables d'une manière générale à des réactions de défense [25. a].

5.2. Variation de la phytochimie des plants sous l'effet de l'apport des biofertilisants

La variation de la qualité phytochimique des racines et des feuilles de la tomate a été évaluée sous l'effet des différents modes et dilutions de jus et thé de lombricompost en absence et présence de nématodes.

Les résultats montrent une accumulation des sucres totaux au niveau des plants traités par apports au témoin. Ils dévoilent aussi que l'effet du biofertilisant en absence de nématodes a une incidence très ressentie par application du thé de lombricompost secondé par le jus de lombricompost. Bien que les probabilités ne le montre pas mais la tendance globale des variations des sucres totaux est au profit de la forte dilution apportée par irrigation. En présence de nématodes, les résultats montrent que seule la nature de traitement dévoile une différence significative (Figure 4.1).

Suit à ces résultats nous suggérons que les applications du biofertilisant n'a pas d'effet sur la disponibilité des sucres totaux et qu'en condition de stress (attaque de nématodes) le biofertilisant amplifie la disponibilité des sucres totaux et permet à la plante de mieux gérer son capitale énergétique.

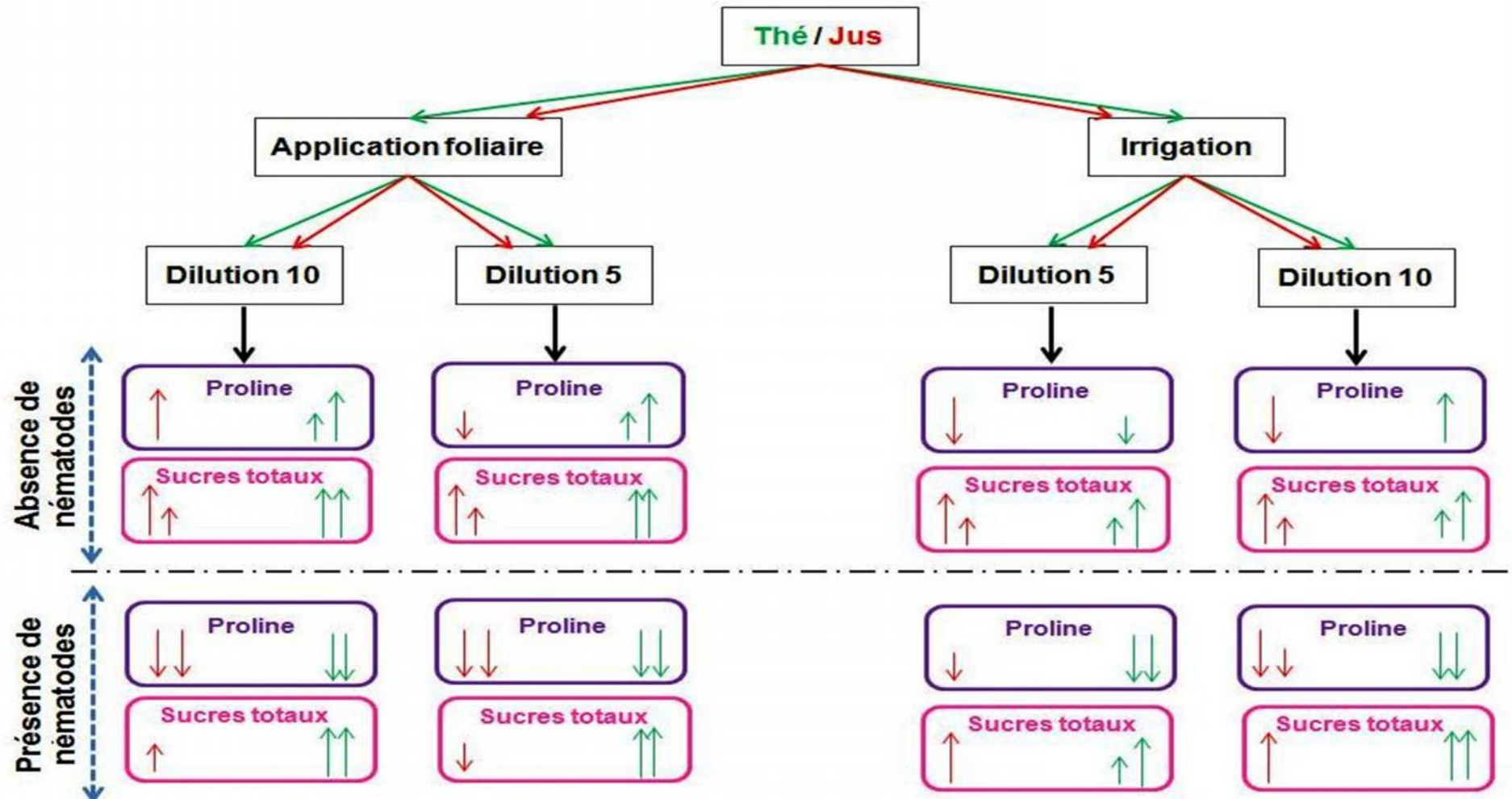


Figure 5.2 : Schéma expliquant le model hypothétique de la variation de la phytochimie des plants sous l'effet de l'apport de jus et thé de lombric.

[19] et [49], citent que les différents régimes de stress (abiotique et biotique) affectent le métabolisme des hydrates de carbone, avec une accumulation des sucres et d'autres composés organiques. Les principaux sucres solubles accumulés sous stress sont le glucose, le fructose et le saccharose. La synthèse des sucres est dépendante de l'état sanitaire de la plante et des conditions climatiques tels que le déficit hydrique [47].

Concernant la proline et en absence des nématodes, les résultats dévoilent l'existence d'une divergence d'accumulation de proline entre les traités et le témoin. Les mêmes résultats montrent en présence de nématodes, que les différentes formes et modes d'apport de biofertilisant présentent un rabaissement significatif des taux de prolines par comparaison au témoin.

A partir de ces résultats on suppose que dans un état d'équilibre (homéostasie) le biofertilisant n'intervient pas dans les réactions favorisant la production de la molécule de stress (proline) par contre en état de stress, le biofertilisant régule le taux de molécule de stress se qui va minimiser la vulnérabilité de la plante au bio-agresseur du moment que la proline est une source d'énergie par excellence aux ravageurs de cultures.

5.3. Incidence des attaques et des apports de molécules sur les paramètres morphologique

Les résultats obtenus, ont montré des variations de la croissance moyenne des plants en fonction des traitements, leurs modes d'application et leurs dilutions sont très variables par comparaison au témoin. La croissance moyenne la plus élevée est enregistrée sur les plants traités avec le thé de lombricompost par application en application foliaire et en faible dilution (D5).

La croissance moyenne des plantes de la tomate est significativement améliorée en présence des traitements le jus et le thé de lombric, cette différence est au profit de témoin (Figure 4.4).

En se référant aux résultats on suppose que l'effet stimulateur des paramètres morphologiques et physiologique de la tomate est dû principalement à la nature des molécules composant chaque produit. Cette hypothèse rejoint plusieurs études qui ont touchées de plus près l'effet des fertilisant biologiques sur les paramètres physio-morphologiques des plantes.

[83] et [10] avancent que le trempage des graines de semence dans lombricompost en poudre ou en liquide; entraîne une germination avec des semis possédaient plus de racines. Les pousses étaient plus fortes que dans les semis où on n'avait pas fait tremper les grains. Leur taux de survie était également supérieur. Lors de la transplantation le stress est réduit par un trempage des racines dans une solution de lombricompost, ce même procédé permet d'activer également la croissance des racines. L'arrosage avec le jus de lombricompost favorise la poussée des tiges et des feuilles qui seront plus résistantes. La floraison est précoce et les fruits seront plus fermes.

Selon [89], l'application de fertilisants sur le feuillage des plantes est une pratique répandue mais controversée. Le processus par lequel la pénétration des fertilisants dans les parties foliaires peut avoir lieu est une série complexe d'événements interdépendants. Un nombre élevé de facteurs peut limiter son efficacité : formes chimiques des fertilisants, température, humidité, etc. Cet état de fait justifie la prouesse du lombricompost par rapport aux autres molécules appliquées

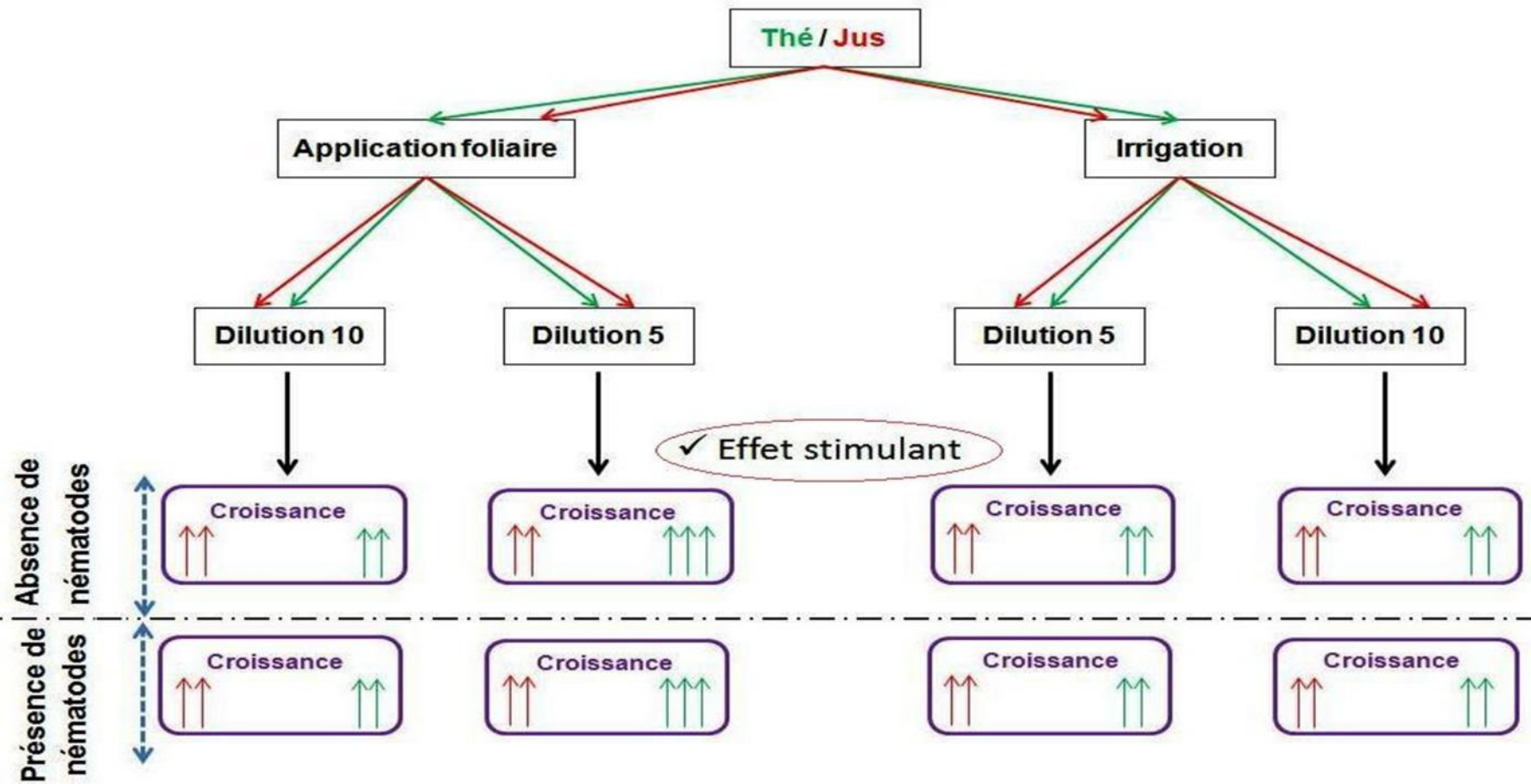


Figure 5.3 : Schéma expliquant le model hypothétique de la stimulation des paramètres morphologiques de la plante par l'application de jus et thé de lombric.

COCLUSION GÉNÉRALE

Au terme de ce travail consacré essentiellement à l'étude de l'effet du jus et du thé de lombricompost sur l'agressivité des nématodes à galle, la variation de la qualité phytochimique et les paramètres morphologique de la tomate dans les conditions contrôlées, il nous a paru intéressant de dégager les principaux résultats auxquels nous avons aboutis.

Les résultats ont montré que le nombre de galles et le nombre de femelles sont réduits sous l'effet des différentes modes (irrigation et application foliaire) et dilution (faible dilution « D5 » et forte dilution « D10 ») du jus et thé de lombricompost.

L'application du jus et thé de lombricompost a montré une réduction au niveau du nombre de galles et de femelles de *Meloidogyne* par rapport au témoin, par ailleurs, le thé de lombricompost c'est révélé plus efficace que le jus de lombricompost.

A travers l'application du jus et thé de lombricompost, les résultats ont montré que le nombre de galles et de femelles le plus faible est enregistré sur les racines de tomate traitée avec le thé de lombricompost à la forte dilution (dilution 10) et par irrigation.

Les résultats relatifs aux paramètres morphologiques des plants de tomate montrent que l'apport du jus et du thé de lombricompost sous leurs différents modes et dilutions a un effet satisfaisant sur ces paramètres et permettent de mettre en évidence l'effet biostimulant du jus et du thé de lombricompost. La croissance moyenne la plus élevée est enregistrée sur les plants traités avec le thé de lombricompost en application foliaire à la faible dilution (D5).

Les résultats touchant la quantité d'eau des racines de tomate montrent une augmentation importante par rapport au témoin, et apparaît clairement que la quantité d'eau la plus élevée est enregistrée sur les racines de tomate traitées avec le jus de lombricompost.

Les résultats obtenus par la présente étude ont montré que les taux des sucres totaux des plants traités avec le thé et le jus de lombricompost sous leurs différents modes et dilutions dépassent celui des plants témoin en présence et en absence de nématodes, par ailleurs les taux des sucres totaux des plants traités avec le thé de lombricompost par application foliaire et à la forte dilution dépassent légèrement celui des plants traités avec le jus de lombricompost par irrigation et à la faible dilution.

Concernant la proline les résultats montrent qu'en absence de nématodes l'accumulation de la proline est élevée chez les plants traités avec les différentes formes et dilution du thé de lombric par rapport à ceux traités avec le jus de lombric et aux témoins, et qu'en présence de nématodes les résultats montrent un rabaissement des taux de proline par comparaison au témoin

En perspective, il serait intéressant

- Poursuivre le même protocole sur un laps de temps assez important dans le but de vérifier le comportement des générations ultérieures.
- Alternier les applications du lombricompost en foliaires et en irrigation dans le même mode de conduite culturale de façon à stimuler au maximum les défenses naturelles.
- L'utilisation du biofertilisant sous sa version formulée dans un programme de lutte intégrée.
- Pousser les investigations sur la physiologie des nématodes dans le but de desseller les vraies causes de l'installation de phénomène de la masculinisation.
- Elargir les recherches dans le domaine de la phytochimie en utilisant des variétés résistantes et évaluer leurs performances sous l'effet du biofertilisant (lombricompost).

- Evaluer l'effet du biofertilisant sur les paramètres de production de culture et sur les paramètres populationnels des bioagresseurs dans les conditions de plein champ.

APPENDICE A**LISTE DES SYMBOLES ET D'ABREVIATIONS**

ACP	: Analyse en Composantes Principales.
GLM	: Modèle général linéaire.
°C	: Degrés Celsius.
g	: Gramme.
mg	: Milligramme.
min	: minute.
ml	: Millilitre.
mm	: Millimètre.
µg	: Microgrammes (=10 ⁻⁶ grammes).
N°	: Numéro.
SDN	: Stimulation de la défense naturelle.
h	: Heure.
PF	: Poids Frais.
PS	: Poids Sec.
PSat	: Poids à la saturation.
Fig	: Figure.
L2	: Larve du 2 ^{ème} stade.
AN	: Avec nématodes.
SN	: Sans nématodes.
AT	: Avec traitement.
ST	: Sans traitement.
J	: Jus de lombric.
Th	: Thé de lombric.
D5	: Dilution 5.
D10	: Dilution 10.
Af	: Application foliaire.
Ir	: Irrigation.
ST	: Sucres totaux.
Pro	: Proline.

APPENDICE B

MATERIELS D'ETUDE DU DOSAGE UTILISE AU LABORATOIRE

- Pipettes pasteurs, entonnoirs en Pyrex, laine de verre, verre à pied de 100 ml,
- Loupe binoculaire OPTECH, étuve MEMMERT.
- Balance de précision KERN 770,
- Bouteilles en verre brun.
- Spectrophotomètre JENWAY, agitateur.
- Papiers filtres, papier aluminium, bain marie,
- Tubes à essais, spatule, vortex.

APPENDICE C

	Sucre totaux				proline			
	1 ^{ère} sem	2 ^{ème} sem	3 ^{ème} sem	moy.S.T	1 ^{ère} sem	2 ^{ème} sem	3 ^{ème} sem	moy.Pro
SN-ST	4,950	6,109	4,950	5,336	0,024	0,113	0,104	0,081
SN-J-IR-D5	5,051	8,244	6,755	6,683	0,035	0,132	0,017	0,062
SN-J-IR-D10	7,304	6,109	7,194	6,869	0,013	0,131	0,022	0,056
SN-J-AF-D5	6,816	7,466	6,755	7,013	0,071	0,116	0,018	0,069
SN-J-AF-D10	6,792	6,948	7,789	7,177	0,170	0,136	0,017	0,108
SN-TH-IR-D5	6,794	7,502	6,755	7,017	0,161	0,068	0,010	0,080
SN-TH-IR-D10	6,173	6,990	8,325	7,163	0,142	0,153	0,020	0,106
SN-TH-AF-D5	6,764	8,679	9,350	8,264	0,175	0,155	0,023	0,118
SN-TH-AF-D10	7,789	6,830	11,972	8,864	0,164	0,143	0,028	0,112
AN-ST	6,999	7,157	6,961	7,039	0,148	0,135	0,031	0,105
AN-J-IR-D5	7,032	8,004	8,404	7,813	0,128	0,129	0,024	0,094
AN-J-IR-D10	6,981	8,975	9,546	8,501	0,046	0,137	0,047	0,077
AN-J-AF-D5	6,794	5,804	7,502	6,700	0,095	0,079	0,030	0,069
AN-J-AF-D10	6,985	6,289	8,004	7,093	0,096	0,091	0,030	0,073
AN-TH-IR-D5	8,848	7,603	8,004	8,152	0,090	0,097	0,016	0,068
AN-TH-IR-D10	10,567	6,961	9,899	9,143	0,072	0,107	0,016	0,066
AN-TH-AF-D5	8,485	7,925	9,572	8,661	0,080	0,104	0,026	0,070
AN-TH-AF-D10	8,099	7,976	10,336	8,804	0,088	0,094	0,043	0,076

Tableau C.1 : Données brutes de la qualité phytochimique traité avec les différents traitements, modes et dilutions.

AN : avec nématodes, SN : sans nématodes, AT : avec traitement, ST : sans traitement, J ; jus de lombric, T : thé de lombric, IR : irrigation, AF : application foliaire, D5 : dilué 5, D10 : dilué 10, 1^{ère} sem : 1^{ère} semaine, 2^{ème} sem : 2^{ème} semaine, 3^{ème} sem : 3^{ème} semaine, moy S.T : moyenne des sucres totaux, moy Pro : moyenne de la proline.

APPENDICE D

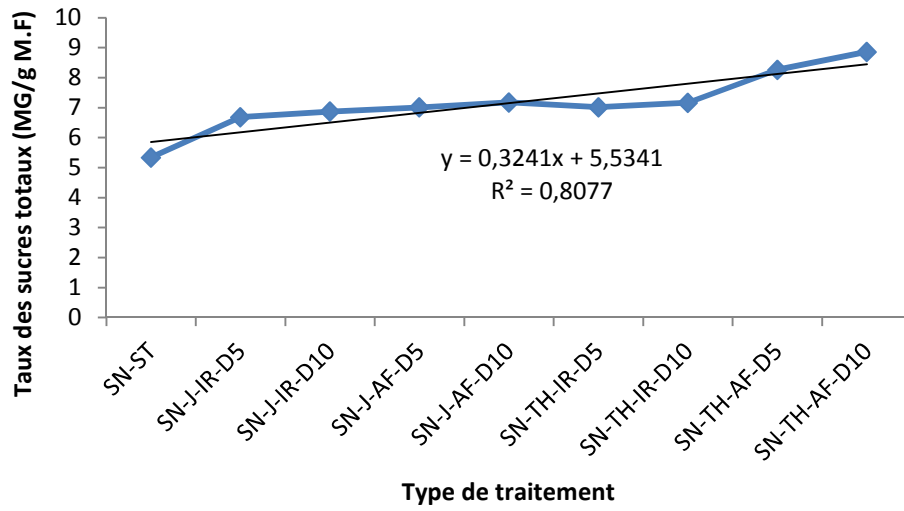


Figure D.1 : Variation de taux des sucres totaux selon le mode, la dilution, et le traitement en absence de nématodes.

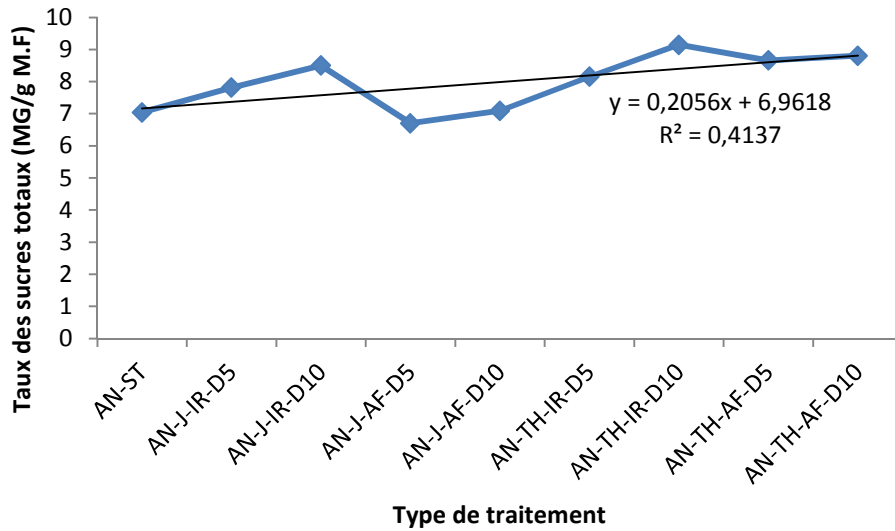


Figure D.2 : Variation de taux des sucres totaux selon le mode, la dilution, et le traitement en présence de nématodes.

AN : avec nématodes, SN : sans nématodes, AT : avec traitement, ST : sans traitement, J ; jus de lombric, T : thé de lombric, IR : irrigation, AF : application foliaire, D5 : dilué 5, D10 : dilué 10.

APPENDICE E

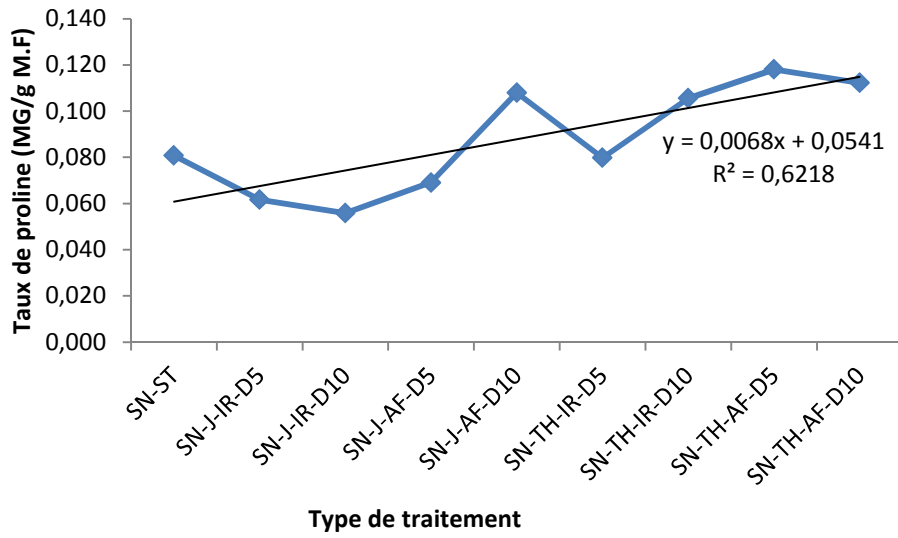


Figure E.1 : Variation de taux de proline selon le mode, la dilution, et le traitement en absence de nématodes.

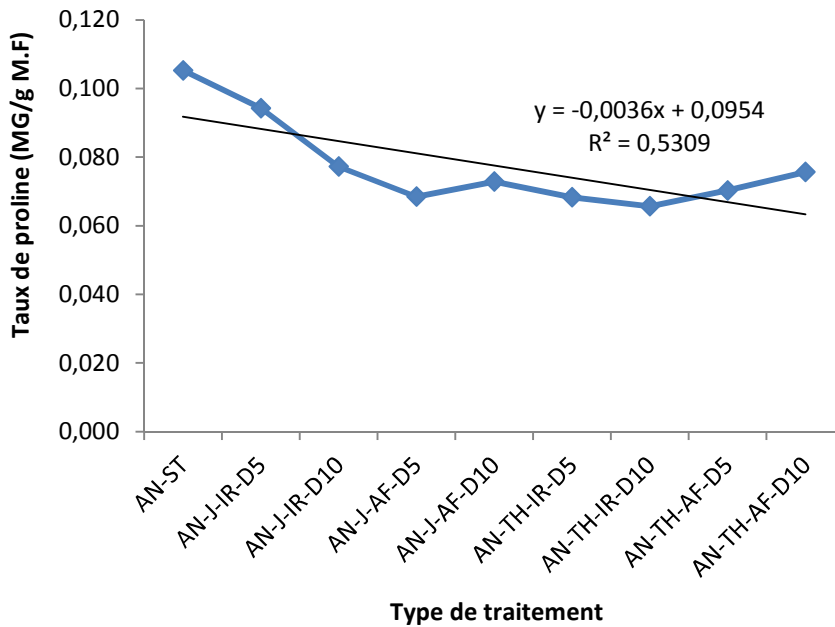


Figure E.2 : Variation de taux de proline selon le mode, la dilution, et le traitement en présence de nématodes.

AN : avec nématodes, SN : sans nématodes, AT : avec traitement, ST : sans traitement, J ; jus de lombric, T : thé de lombric, IR : irrigation, AF : application foliaire, D5 : dilué 5, D10 : dilué 10.

APPENDICE F

Mode de TRT	Nombre de galles	Population/ 10 Galles					
		Nombre larve 4 /10gal	Nombre de jeunes femelles /10gal	Nombre de mâle/10galles	Nombre masses d'œuf/10galles	Nombre œufs/10galles	Sac vide
AN-ST	24	1	9	0	8	17,14,12,20,8,24,19,13	0
	19	0	10	0	7	12,20,15,25,10,8,14	2
	21	1	9	0	6	18,14,11,20,8,10	1
AN-AT-J-IR-D5	8	2	3	0	0	0	0
	5	0	4	0	0	0	0
	7	0	5	0	0	0	0
AN-AT-J-IR-D10	4	2	1	0	0	0	0
	8	1	4	0	0	0	0
	4	0	1	0	0	0	0
AN-AT-J-AF-D5	12	0	5	0	0	0	0
	9	0	3	0	0	0	0
	7	0	6	1	0	0	0
AN-AT-J-AF-D10	7	0	0	0	0	0	0
	8	0	4	0	3	8 , 9 , 10	1
	5	0	0	0	0	0	0
AN-AT-TH-IR-D5	2	0	0	0	0	0	0
	7	0	4	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0
AN-AT-TH-IR-D10	1	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
AN-AT-TH-AF-D5	11	0	4	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
AN-AT-TH-AF-D10	8	0	1	0	5	26 , 8 , 10 , 6 , 28	2
	3	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0

Tableau F.1 : Données brutes de nombre de galles et de population des Meloidogynes dans dix galles.

Larve 4 : 4^{ème} stade larvaire, AN : avec nématodes, SN : sans nématodes, AT : avec traitement, ST : sans traitement, J ; jus de lombric, T : thé de lombric, IR : irrigation, AF : application foliaire, D5 : dilué 5, D10 : dilué 10.

APPENDICE G

Mode de TRT	Longueur du plant 1ère 15aine (cm)	Longueur du plant 2ème 15aine (cm)	Longueur du plant 3ème 15aine (cm)	Longueur des racines (cm)	Poids frais (g)	Poids sec (g)
AN-ST	20	23	25	18	2,8	0,2
	22	23,5	25	16	2,2	0,1
	20	22	24	14,8	2,1	0,1
AN-AT-J-IR-D5	18	23	28	20,3	2,8	0,2
	17	23	29	16,8	5	0,3
	20	26	30	18	3	0,3
AN-AT-J-IR-D10	20	24	29	16	4,5	0,1
	16	22	27	14	3,7	0,3
	19	24	31	15,4	4,2	0,3
AN-AT-J-AF-D5	19	26	31	14	4,8	0,3
	20	25	30	15	2,7	0,2
	18	24	29	14,3	2,9	0,1
AN-AT-J-AF-D10	17	24	28	16,7	3,7	0,2
	20	28	31	20	4,6	0,2
	19	30	33	20,5	2,5	0,2
AN-AT-TH-IR-D5	18	26	32	14	2,4	0,1
	16	25	31	18	3,7	0,2
	19	30	34	16	2,2	0,2
AN-AT-TH-IR-D10	20	26	31	17	3,2	0,1
	20	28	33	14,5	2,4	0,2
	18	31	35	16	3,3	0,1
AN-AT-TH-AF-D5	20	27	31	15,2	2,3	0,2
	19	25	29	19	2,8	0,2
	20	26,5	31	16,5	2,6	0,1
AN-AT-TH-AF-D10	19	25	29	16	2,5	0,2
	21	27	30	16,5	2,7	0,2
	18	27	30	16,1	2,6	0,3

Tableau G.1 : Données brutes de la longueur des plants, des racines de tomate et le poids frais et sec des racines.

AN : avec nématodes, SN : sans nématodes, AT : avec traitement, ST : sans traitement, J ; jus de lombric, T : thé de lombric, IR : irrigation, AF : application foliaire, D5 : dilué 5, D10 : dilué 10.

APPENDICE H



Figure H.1 : Extraction et quantification des sucres totaux.



Figure H.2 : Extraction et quantification de la proline.



Figure H.3 : présence des galles vides.



Figure H.4 : présence du mâle dans la galle.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1- **ALBERT J.P., 2005–** *in* **BLANCHARD A., et LIMACHE F., 2005–** Les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN), Protection des plantes et environnement, 18p.
- 2- **ALLILI C., 1986–** Résultats préliminaires d'une enquête nématologique sur cultures maraîchère dans la région de Rouiba, Thèse Ing. Agro., Inst. Nat. Agro, El Harrache, Alger, 38p.
- 3- **AMBORABÉ E., AZIZ A., TROTEL-AZIZ P., QUANTINET D., DHUICQ L., et GUY V., 2004–** Stimulation des défenses naturelles de la vigne. Essais d'emploi du chitosan contre *Botrytis cinerea*. *Phytoma*, 571:26–29.
- 4- **ANONYME, 2003** *IN* **ALLILI C., 1986–** Résultats préliminaires d'une enquête nématologique sur cultures maraîchère dans la région de Rouïba, Thèse Ing. Agro., Inst. Nat. Agro, El Harrache, Alger, 38p.
- 5- **BENHAMOU N., 2009–** La Résistance chez les plantes, principes de la stratégie défensive et applications agronomiques, Lavoisier, TEC and DOC.
- 6- **BERTRANT C., LIZOT J., et MAZOLLIER C., 2001–** Lutter contre les nématodes à galles en agriculture biologique, Rev. : GRAB AVINON, France, pp : 25-29.
- 7- **BLANCHARD A., et LIMACHE F., 2005–** Les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN), Protection des plantes et environnement, 18p.
- 8- **BLY A.G. AND H.J. WOODARD. 2003–** *Nitrogen management: foliar nitrogen application timing influence on grain yield and protein concentration of hard red winter and spring wheat*. *Agronomy Journal* 95: 335-338. 12
- 9- **BONNEMAIN J.L., et CHOLLET J.F., 2003–** L'arsenal phytosanitaire face aux ennemis des plantes, Considérations générales, *C. R. Biologies*, 326:1–7.
- 10- **BOGDANOV, PETER., 1996–** Commercial Vermiculture: How to Build a Thriving Business in Redworms, VermiCo Press (Orégon), 83 p.
- 11- **CAYROL J.C., 1991–** Propriétés nématocides d'endomycorhizes à vésicules et arbuscules. PHM, Rev. Hort., N° 321. PP : 33-42.
- 12- **CHEN. Z. X., CHEN. S. Y., DICKSON. D W., 2004–** Nematology: advances and perspectives, Volume 1. Nematode Morphology, Physiology and Ecology. Tsinghua University press. 4p.

- 13- **CHITWOOD BG.,1949**– Root knot nematodes-Part 1.A revision of the genus *Meloidogyne* Goeldi, 1887.Proceeding of Helminthological Society of Washington 16, 90-104.
- 14- **CHITU, V., COMAN M., BULGARU L. AND E. CHITU. 2002**– *Effects of “CalMax” and “Nutri Vit” foliar fertilisers on plants growth and strawberry fruit quality.* Acta Horticulturae (ISHS) 594: 475-480.
- 15- **COLLAERT J., 2009**– *Lombricompost pour tous : jardiner nature.* Ed, editeur terran, réf 13-978, 128 page, France.
- 16- **COOMANS A., 2000**– *Nematodes systématiques : past, present and future,* Nematology 2, pp. 3-7.
- 17- **COPPIN Y., 2002**– *Les marchés des amendements organiques, le marché professionnel,* Colloque CAS Paris, 18 juin 2002.
- 18- **CORNU, 1879**– *IN SCHÖNHERR, J. 2001*– *Cuticular penetration of calcium salts: effects of humidity, anions, and adjuvants.* Journal of Nutrition and Soil Science 164: 225-231.
- 19- **COÛC Y., et TENDILLE C ., 1972** - *Importance de la racine dans la synthèse protéique chez certains genres de végétaux,* C.R. Acad. Agr. de France, n° 63, pp : 681-690.
- 20- **COUDERCHET M., LE FLOCH G., REY P., et TIRILLY Y., 2003**– *Effet du flumioxazine sur l’attaque de feuilles de tomate par Botrytis cinerea.* In AFPP, éd. : *7ème Conférence internationale sur les maladies des plantes,* Tours.
- 21- **DAVID, R.G., and Triantaphyllou, A.C., 1967**– *Influence of the environnement on developpement and six differentiation of root-knot nematode.* Rev, Nematol N° 02. PP: 61-69.
- 22- **DAVID., R.G., and TRIANTAPHYLLOU, A.C., 1968 ; in Triantaphyllou, A.C., 1973**– *Environnemental sex differenciation of nematodes in relation to pest management.* PP: 509.
- 23- **DECKER H., 1972**– *Phytonematologie (Biologie und Bekämpfung Pflanzenparasitärer Nematoden (In Russian, Moskva, Kolos,)).* 137
- 24- **DELORME R., 2005**– *in BLANCHARD A., et LIMACHE F., 2005*– *Les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN),* Protection des plantes et

environnement, 18p.

- 25- DE GUIRAN G., et NETSCHER C., 1970**– Les nématodes du genre *Meloidogyne*, parasite des cultures tropicales, Cah. ORSTOM, sér. Biol., n° 11.
- 25. a- DE GUIRAN G., 1980**– Facteurs induisant chez *Meloidogyne incognita* un blocage du développement des œufs considéré comme une diapause, *Revue Nématol.* 3 (1) : 61-69, I.N.R.A., Station de Recherches sur les Nématodes, 133, boul. Francis-Meilland, 06602 Antibes, France.
- 26- DE GUIRAN G., 1983**– Nématodes, les ennemis invisibles, les nématodes parasites des cultures en pays tempérés, Ed. la littorale, S.A. Beziers, 40p.
- 27- DIONGUE A., 1996**– Initiation à la nématologie : application aux cultures maraichères, Dép.Forma. Protc. Végé. Niamey BP 12625 – Niger, 52p.
- 28- DJIAN-CAPORALINO C., VEDIE.H., ARRUFAT.A.,2009**– *PHYTOMA*. Gestion des nématodes a galles : lutte conventionnelle et luttés alternatives. L'atout des plantes pièges. INRA UMR Interactions Biotiques et Santé Végétale (IBSV) INRA / UNSA / CNRS 400, Route des Chappes, Les Templiers, BP 167, F-06903 Sophia Antipolis Cedex.18p
- 29- DJIAN-CAPORALINO C., VEDIE H., et ARRUFAT A., 2009**– Gestion des nématodes à galles : lutte conventionnelle et luttés alternatives. l'atout des plantes pièges, la défense des végétaux. *PHYTOMA*, 624-625, 21-25. Paris.
- 30- DONEA M., SIMUS P., ET PAIN J., 2002**– Guide pratique de lombricompostage individuel, 22p.
- 30. a- DUBOIS M K A., GILLES Y K., HAMILTON P A et al., 1956** – Colemetric method for determination of sugars and related substance. *Anal and Chem. Jour.* 28. P: 350-356.
- 31- EBEL J., et MITHÖFER A., 1998**– Early events in the elicitation of plant defence. *Planta*, 206:335–348.
- 32- EISENBACK J.D., 1985**– Diagnostic characters useful in the identification of four most common species of root knot nematodes *Meloidogyne* species, jour. *Nemato.* Vol. 14, n° 3, pp. 339-343.
- 33- État de veille prolongé. Pour la Science 1999**– in **BLANCHARD A., et LIMACHE F., 2005**– Les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN), Protection des plantes et environnement, 18p.
- 34- FAO, 2005**– Notions de nutrition des plantes et de fertilisation des sols, Manuel de

formation, Projet Intrants, Niger, 24p.

- 35- **FAO,** 2003– Statistical database.
<http://apps.fao.org/page/collections?subset=agriculture>
- 36- **FASULIOTIS., 1970– in TRIANTAPHYLLOU, A.C., 1973–** Environnemental sex differentiation of nematodes in relation to pest management, pp: 441- 462.
- 37- **FOFANA B., BENHAMOU N., MCNALLY D.J., LABBE C., SEGUIN A. et BELANGER R.R., 2005-** Suppression of induced resistance in cucumber through disruption of the flavonoid pathway. *Phytopathology*, 95, 114-123.
- 38- **GAFFNEY T., FRIEDRICH L., VERNOOIJ B., NEGROTTO D., NYE G., UKNES S., WARD E., KESSMANN H., et RYALS J., 1993–** Requirement of salicylic acid for the induction of systemic acquired resistance. *Science*, 261:754–756.
- 39- **GIROUX S., CÔTÉ J.C., VINCENT C., MARTEL P., CODERRE D., 1994–** Bacteriological insecticide M-One effects on the mortality and the predation efficiency of adult spotted lady beetle *Coleomegilla maculata* (Coleoptera: Coccinellidae). *J. Econ. Entomol.* 87, 39-43.
- 40- **GOLEDI., 1887– IN ROUSSEL O., BOURMEAU E., ET WALTER CH.,(ORVAL, UMR SOL) 2001–** Evaluation du déficit en matière organique des sols français et des besoins potentiels en amendements organiques, Etude et gestion des sols, Volume 8, 1. PP : 65-81.
- 41- **GOODING, M.J. AND W.P. DAVIES. 1992–** Foliar urea fertilization of cereals, a review. *Fertilizer Research* 32(2): 209-222.
- 42- **GULLINO M. L., LEROUX P., et SMITH C. M., 2000–** Uses and challenges of novel compounds for plant disease control. *Crop Protection*, 19:1–11.
- 43- **HAND P., HAYES WA., FRANKLAND JC., SATCHELL JE. 1988–** The vermicomposting of cow slurry. *Pedobiologica* 31, p.199–209
- 44- **HANNAM R.J., Davies W.J., Graham R.D. and J.L. Riggs. 1984–** The effect of soil- and foliar-applied manganese in preventing the onset of manganese deficiency in *Lupinus angustifolium*. *Australian Journal of Agricultural Research* 35: 529-538.
- 45- **HASSAN H S A., SARRWY S M A., MOSTAFA E A M., 2010–** Effect of foliar spraying with liquid organic fertilizer, some micronutrients, and gibberellins on leaf mineral content, fruit set, yield, and fruit quality of “Hollywood” plum trees.

AGRICULTURE AND BIOLOGY JOURNAL OF NORTH AMERICA. ISSN Print: 2151-7517, ISSN Online: 2151-7525. Dokki, Giza, Egypt.

- 46- **HELLER R., 1977**– Abrégé de Physiologie végétale. Tome I. Nutrition, Ed. Masson, Paris, 425p.
- 47- **HARE P D., CRESS W A. et VAN STADEN J., 1998** – Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant Cell and Environment*; 21, 535-553.
- 48- **HOWARD-BORJAS P., et CUIJPERS W., 2002**– “Gender and the management and conservation of plant biodiversity”, in **DOELLE H W et DA SILVA E.**, Biotechnology, in Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Oxford, UK.
- 49- **ILDIKO K et GALIBA G., 1995** – Carbohydrates in wheat and Maize plants under water stress. INRA, Inter drought, 10. In: Physiologie des arbres et arbustes des zones arides et semi-arides – Paris, pp : 465-472.
- 50- **ISHIBASHI., 1965; in TRIANTAPHYLLOU, A.C., 1973**– Environmental sex differentiation of nematodes in relation to pest management. PP: 509.
- 51- **JACOB J. J., & MIDDEPIAATS W. C. T., 1988**– Fascicule de détermination des principaux nématodes phytonarasites au steéréoscope. Cours de nématologie. TSPV2. DFPV/AGRHYMET/CILSS (Niamey).
- 52- **JEANDET P., ADRIAN M., JOUBERT J.M., HUBERT F., et BESSIS R., 1996**– Stimuler les défenses naturelles de la vigne. Un complément à la lutte phytosanitaire contre le Botrytis. *Phytoma*, 488:21–25.
- 53- **KAUFFMANN S., DOREY S., et FRITIG B., 2001**– Les stratégies de défense, *Pour la Science*, p. 116–121, janvier 2001.
- 54- **KHAN, A., WILLIAMS K., et NEVALAINEN H., 2003**– Testing the nematophagous biological control strain paecilotoxin production, F.E.M.S. Microbiol. Cett. 277. PP: 107-111.
- 55- **KINLOK and ALLEN 1972**– *IN TRIANTAPHYLLOU, A.C., 1973* Environmental sex differentiation of nematodes in relation to pest management. PP: 509.
- 56- **KLARZYNSKI O., et FRITIG B., 2001**– Stimulation des défenses naturelles des plantes. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie*, 324:953–963.
- 57- **KNOESTER M., LEENDERT C., VAN LOON L. C., Van der HEUVEL J., HENNIG J., BOL F. J., et HUUB J. M., 1998**– Ethylene-insensitive tobacco lacks non host resistance against soil-borne fungi. *Plant Biology*, 95:1933–1937.

- 58- **KONSTANTINIDOU-DOLTISINIS S., MARKELLOU E., KASSELAKI A.M., FANOURLAK, M.N., KOUMAKI C.M., SCHMITT A., LIOPA-TSAKALIDIS A. ET MALATHRAKIS N.E. 2006**-Efficacy of Milsana, a formulated plant extract from *Reynoutria sachalinensis*, against powdery mildew of tomato (*Leveillula taurica*). *Biocontrol*, 51, 375-392.
- 59- **LAMBERTI F., GRECO N., VOLAS N., 1977**– Patogenicita di due specie di *Meloidogyne* nei confronti di quattro varietà di plama da dattero, *Nematol, Medit.*, 5, pp. 159-172.
- 60- **LATIRI K., 2002** – La fertilisation : engrais et production agricole, Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie.
- 61- **LAUMONNIER R., 1978**– Culture légumières et maraichères, Editions JB Baillière
- 62- **LE FLOCH G., REY P., DÉNIEL F., BENHAMOU N., PICARD K., et TIRILLY Y., 2003**– Enhancement of development and induction of resistance in tomato plants by the antagonist, *Pythium oligandrum*. *Agronomie*, 23:455–460.
- 63- **LING F. AND M. SILBERBUSH. 2002**– *Response of maize to foliar vs. soil application of nitrogen-phosphorus-potassium fertilizers*. *Journal of Plant Nutrition* 25(11): 2333-2342.
- 64- **LIZZI Y., COULOMB C., Polian C., COULOMB P.J., et COULOMB O.P., 1998**– PHYTOMA, La Défense des Végétaux, N°508, septembre 1998, pages29-30.
- 65- **LYON G. D., et NEWTON A. C., 1997**– Do resistance elicitors offer new opportunities *in* integrated disease control strategies, *Plant Pathology*, 46:636–641.
- 66- **MAGGENTI et ALLEN, 1960 in De Guiran (G.), 1971**– Les problèmes de *Meloidogyne* et d'autres nématodes sur cultures vivrières, Tabac- Cafier et Riz. Jour d'étude et d'info. A. C. T. A., Paris, 12eme, pp : 447-474 .
- 67- **MALAMY J., CARR J. P., KLESSIG D., et RASKIN I., 1990**– Salicylic acid : a likely endogenous signal in the resistance response of tobacco to viral infection. *Science*, 250:1002–1004.
- 68- **MARSCHNER H., 1995**– *Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Edition. Academic Press. London. UK.* 605 pp.
- 69- **MARSCHNER H., 1996**– Mineral nutrition of higher plants, 2nd edition, Academic press, London, UK.
- 70- **MARTINEZ C., BESNARD O., et BACCOU J.C., 1999**– Stimulation des défenses naturelles des plantes. Cellulases et protéases d'origine biologique : deux

exemples d'éliciteurs. *Phytoma*, 521:16–19.

- 70. a- MATEILLE.T, 1996-** Initiation a la nematologie : application aux !' cultures maraicheres. departement de formation en protection des vegetaux, Niamey BP 12625 – Niger.52p.
- 71- MATEILLE T, SCHWEY D ET AMAZOUZ S. 2005–** *La Défense des Végétaux* PHYTOMA N°584. végétaux du soleil p:40-43.
- 72- MAZOLLIER C., VEDIE H., 2008–** Les engrais verts en maraichage biologique, France, Juillet 2008.
- 72. a- MCCLURE, M. A. and VIGLIERCIIIOD, R. 1966–**The influence of host nutrition and intensity of infection on the sex ratio and development of *Meloidogyne incognita* in sterile agar culture of excised cucumber roots. *Nematologica*, 12 : 248-258.
- 73- MENGEL K. 2002–** *Alternative or complementary role of foliar supply in mineral nutrition*. Acta Horticulturae (ISHS) 594: 33-47.
- 74- MESSIAEN F., 1974–** Le potager tropical, techniques vivantes, Ed. presse universitaire de France, Tome I. 199p.
- 75- MÉTRAUX J.P., SIGNER H., RYALS J., WARD E., WYSS-BENZ M., GAUDIN J., RASCHDORF K., SCHMID E., BLUM W., et INVERARDI B., 1990–** Increase in salicylic acid at the onset of systemic acquired resistance in cucumber. *Science*, 250:1004–1006.
- 76- MUGHAL, A.D., 1992–** *IN* MURUA J.R et LAAJIMI A: Transition de l'agriculture conventionnelle vers l'agriculture durable: quelques réflexion, unité d'économie et sociologie rurales, SIA-DGA, Apartado 727, Espagne.
- 77- NDEGWA PM., THOMPSON SA., 2001–** Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids, *Biores. Technol.* **76**, p.107–112.
- 78- NEAL, J.C.,1889–** *The Root-knot Disease of the Peach, Orange and Other Plants in Florida, Due to the Work of Anguillula*. Bulletin 20, Division of Entomology, US Department of Agriculture.

- 79- **NEBIH HADJ- SADOK D., BELKAHLA H., et BELKACEM F., 2008**– Effet du filtrat du culture de *Fusarium Solani* sur mortalité des œufs des *Meloidogyne Incognita* et *Meloidogyne Arenaria*, séminaire national sur les interactions faune-flore et impact des changements globaux dans les espèces naturelles et anthroposés 2-3, Décembre 2008, scientifiques et techniques phytosanitaires, El Harrach, Alger, 20-21 Juin.
- 80- **NIEBEL, A., GHEYSEN, G., AND VAN MONTAGU, M.,1994**– Plant-cyst nematode and plant-root-knot nematode interactions. *Parasitol. Today* 10, 424-430.
- 81- **OSMAN A M., MILTHORPE F L., 1971**– Photosynthesis of wheat in relation to age, illuminance and nutrient supplies. *Result, Photosynthetica*, n°11, V5, pp: 61-70.
- 82- **PAJOT E., 2010**– «Les Stimulateurs des Défenses Naturelles en Production Végétale : Mythe ou Réalité ? », XVI Rencontres Professionnelles. EP Valinov-VEGEPOLYS. Rittmo. Colmar.
- 83- **PAUTOT V., RABAGLIA C., et PERNOLLET J.C., 1999**– La résistance des plantes aux agents pathogènes. *Phytoma*, 521:10–15.
- 84- **PEACKOK., 1960**– Inhibition of root-knot developpements on tomato by systematic compounds. *Nematologica* 5. PP: 219-227.
- 85- **PHILIPPEAU, G., 1986**- Comment interpréter les résultats d'une analyse en cornposantes principales. I.T.C.F., Paris, 63 pp.
- 86- **PLAXTON WC., 1996**– The organization and regulation of plant glycolysis, *Annual review of plant physiology and plant molecular biology* 47: 185-214.
- 87- **PROT, J. C., 1975**– Recherche concernant le déplacement des juvéniles de *Meloïdogyne* spp. vers les racines. Cahier ORSTOM, Serie biologique, 10 : 351p
- 88- **REDDY P., 1983**- plant Nematology. Ed. Agri. Publ. Acad., New-Delhi, p: 287.
- 89- **REUVENI, R., M. REUVENI AND V. AGAPOV. 1994**– Induction of growth increase and systemic resistance to *Exserohilum turcicum* in maize by foliar spray of phosphates. *Journal of Phytopathology* 141(4): 337-346.
- 90- **ROGER C., VINCENT C., CODERRE D., 1995**– Mortality and predation efficiency of *Coleomegilla maculata lengi* Timberlake (Coccinellidae) following application of Neem extracts (*Azadirachta indica* A. Juss., Meliaceae). *J. Appl. Entomol.* 119, 439-443.
- 91- **ROUSSEL O., BOURMEAU E., ET WALTER CH.,(ORVAL, UMR SOL) 2001**– Evaluation du déficit en matière organique des sols français et des besoins

- potentiels en amendements organiques, Etude et gestion des sols, Volume 8, 1, p 65 à 81.
- 92- **RUTTAN, V.W., 1990**– Sustainability is not enough. University of Illinois. Symposium Sustainability: Agriculture and Society. Agro-ecology paper A-E 96-6.
- 93- **SCHÖNHERR, J. 2001**– *Cuticular penetration of calcium salts: effects of humidity, anions, and adjuvants*. Journal of Nutrition and Soil Science 164: 225-231.
- 94- **SCHÖNHERR, J. 2002**– *Foliar nutrition using inorganic salts: laws of cuticular penetration*. Acta Horticulturae (ISHS) 594: 77-84.
- 95- **SCOTTO LAMASSESE C., 1961**– Les nématodes des cultures: aperçu sur les problèmes posés par les nématodes phytoparasites en Algérie, A.C.T.A, Paris, pp. 436-441.
- 96- **SELLAMI S., LOUNICI M., EDDOUD., ET BENSEGHIR H., 1999**–Distribution et plantes hôtes associées aux *Meloidogyne* sous abri plastique en Algérie. Nematol. Medit. 27, 295-301.
- 97- **SIDDIQI M.R., 1986**– Parasites of Plants and Insects, CAB, Commonwealth Institut of Parasitology. 645 p.
- 98- **SILVA A.P., ROSA E. AND S.H. HANEKLAUS. 2003**– *Influence of foliar boron application on fruit set and yield of hazelnut*. Journal of Plant Nutrition 26(3): 561-569.
- 99- **STARAST M., KARP K. AND M. NOORMETS. 2002**– *The effect of foliar fertilization on the growth and yield of Lowbush blueberry in Estonia*. Acta Horticulturae (ISHS) 594: 679-684.
- 100- **TOSCANO P., GODINO G., BELFIORE T. AND C. BRICOLLI-BATI. 2002**– *Foliar fertilisation: a valid alternative for olive cultivar*. Acta Horticulturae (ISHS) 594: 191-195. 11
- 101- **TRIANAPHYLLOU, A.C., 1973**– Environnemental sex differentiation of nematodes in relation to pest management, pp: 441- 462.
- 102- **TROLL W. et LINDSLEY J., 1955**– A photometric method for the determination of proline. *J. Biol. Chem.*, 216, pp: 655 – 660.
- 103- **TYLER J., 1938**- Proceedings of the root-knot conferences held at Atlanta. Plant Disease Reporter Supplement 109: 133-151.
- 104- **Vacciner les plantes. Science & Vie, 2000. in BLANCHARD A., et LIMACHE F., 2005**– Les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN), Protection des plantes et environnement, 18p.

- 105- **WILLIAMS C.M.J., MAIER N.A. AND L. BARTLETT. 2004**– *Effect of Molybdenum foliar sprays on yield, berry size, seed formation, and petiolar nutrient composition of “Merlot” grapevines.* Journal of Plant Nutrition 27(11): 1891-1916.
- 106- **WHITEHEAD, 1968 in ; DE GUIRAN G., et NETSCHER C., 1970**– Les nématodes du genre *Meloidogyne*, parasite des cultures tropicales, Cah. ORSTOM, sér. Biol., n° 11.
- 107- **YORINORI M.A., KLINGELFUSS L.D., PACCOLA-MEIRELLES L.D. AND J.T. YORINORI M.A., 2004**– *Effect of time of spraying of fungicide and foliar nutrient on soybean powdery mildew.* Journal of Phytopathology 152: 129-132.
- 108- **ZERRAD W., MAATAOUI B.S., HILALI S., EL ANTRI S. ET HMYENE A., 2008**– Etude comparative des mécanismes biochimiques de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. *Lebanese Science Journal, Vol. 9(2) : 27-36.*
- 109- **ZIADI S., GODARD J., BARBEDETTE S., PAJOT E., LE CORRE D., MONOT C., et SILUÉ D., 2001**– Deux nouvelles molécules, le benzothiadiazole (BTH) et le phytogard (K₂HPO₃) permettent de protéger le chou-fleur contre le mildiou provoqué par *Peronospora parasitica*. In 30^{ÈME} CONGRÈS DU GROUPE FRANÇAIS DES PESTICIDES, éd. : *Produits phytosanitaires : analyse, résidus, métabolites, écotoxicologie, modes d'action, transfert.*, p. 239–255, Reims, 2001. Presses universitaires de Reims.