

Table des matières

Remerciements

Table de matière

Glossaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des photos

Introduction..... 1

Partie I : Synthèse bibliographique

I. La tomate, un fruit très prisé..... 2

I.1. Botanique de la tomate..... 2

I.1.1. Historique..... 2

I.1.2. Classification 2

I.1.3 Morphologie..... 2

a) Feuille..... 3

b) Tige..... 3

c) Racine..... 4

d) Inflorescence..... 4

e) Fruit..... 5

f) Graine..... 5

I.2. Ecologie de la tomate..... 5

I.2.1. Climat..... 5

I.2.2. Sol..... 6

I.2.3. Lumière..... 6

I.2.4. Température..... 6

I.2.5. Humidité..... 6

I.3. Maladies de la tomate causées par le nématode : *Meloidogyne sp*..... 7

I.4. Production de la culture de tomate..... 7

II. Nématodes : *Meloidogyne sp* un parasite redoutable de la tomate..... 7

II.1. Morphologie et classification de nématode : *Meloidogyne sp*..... 7

II.1.1. Morphologie..... 8

II.1.2. Classification..... 8

II.2. Différents types de nématodes phytoparasites de la tomate.....	8
II.3. Ecologie de nématodes : <i>Meloidogyne sp.</i>	9
II.4. Biologie de nématodes : <i>Meloidogyne sp.</i>	9
II.4.1. Cycle de développement de <i>Meloidogyne sp.</i>	9
II.4.2. Locomotion de <i>Meloidogyne sp.</i>	10
II.4.3. Mode d'alimentation de <i>Meloidogyne sp.</i>	10
II.5. Dégâts de <i>Meloidogyne sp.</i> sur la tomate.....	10
III. Techniques nématologiques.....	10
III.1. Extraction de nématodes.....	11
III.2. Détermination de la densité de la population de nématodes.....	11
III.3. Identification de nématodes.....	11
Partie II : Matériels et méthodes	
II.1. Matériels.....	12
II.1.1. Matériel végétal.....	12
II.1.2. Matériel biologique.....	12
II.1.3. Serre d'expérimentation et laboratoire de phytopathologie.....	12
II.2. Paramètres étudiés.....	12
II.3. Méthode.....	12
II.3.1. Nettoyage de la serre.....	12
II.3.2. Test de germination.....	13
II.3.3. Préparation du substrat.....	13
II.3.4. Semis, arrosage, repiquage, fertilisation et suivi de la croissance.....	14
II.3.5. Echantillonnage.....	14
II.3.6. Identification d'autres microorganismes pathogènes dans les échantillons prélevés.....	15
II.3.7. Extraction et identification de nématodes.....	16
II.3.7.1. Préparation de l'échantillon.....	16
II.3.7.2. Extraction.....	16
II.3.7.3. Identification.....	17
II.3.7.5. Détermination de la densité de nématodes <i>Meloidogyne sp.</i>	18
II.3.8. Mise en place de dispositif expérimental.....	19
II.3.9. Inoculation et suivi de paramètres étudiés.....	19

II.3.10. Identification des causes provoquant le flétrissement des plants inoculés et les témoins.....	20
II.3.10.1. Identification des microorganismes pathogènes de la tomate....	20
II.3.10.2. Identification des ravageurs.....	20
II.3.11. Traitement statistique de paramètres étudiés.....	20
Partie III : Résultats et discussions	
III.1. Résultats du test de germination.....	21
III.2. Densité de nématodes et analyses des échantillons prélevés.....	24
III.3. Résultats de paramètres étudiés.....	25
III.3.1. Densité de nématodes.....	25
III.3.2. Nombre de galles par plant.....	25
III.3.3.4. Poids sec des racines.....	26
III.3.3.5. Croissance en hauteur.....	27
III.4. Résultats des causes du flétrissement des plants inoculés et les témoins.....	28
III.5. Discussions.....	28
Conclusion et perspectives.....	30
Références bibliographiques	
Annexes	
Résumé	

Glossaire

Acariens	: Ce sont des araignées très petites dont certaines sont parasites.
Autogame	: Fécondation assurée par l'union d'une cellule sexuelle femelle et d'une cellule sexuelle mâle qui proviennent du même individu.
Bioagresseurs	: Ce sont des êtres vivants qui causent des dégâts sur les végétaux.
Chloroses	: Jaunissement des feuilles d'une plante suite à un déficit des éléments nutritifs et/ou à une maladie causée par des agents pathogènes.
Eliciteur	: C'est une molécule qui déclenche les mécanismes de défense des plantes avec production de substances défensives.
Filiforme	: Mince comme un fil.
Galles	: Excroissance qui se produit sur les végétaux à la suite des piqûres d'insectes parasites.
Génétique	: Qui a rapport à l'hérédité, aux gènes.
Imparipennées	: Se dit d'une feuille pennée qui a un pétiole terminé par une foliole impaire.
Nématodes	: Ce sont de vers microscopique tellurique.
Nouaison	: Elle est la phase initiale de la formation du fruit. C'est le moment où l'ovaire de la fleur se transforme en fruit après la fécondation.
Pathogène	: Qui provoque une maladie.
Phytopathogène	: Qui provoque de maladie chez les végétaux.
Prophylactique	: Ensemble des mesures de prévention des maladies.
Phylogénétiques	: Qui a rapport à la formation, évolution et développement des espèces vivantes.
Phytophages	: Animaux qui se nourrissent de matière végétale.
Sels	: Corps résultant de la combinaison d'un acide et d'une base
Semence	: Organe végétal qui donne naissance à un végétal tout entier identique au pied mère.

Liste des abréviations

AVRDC	:Asian Vegetable Research Development Center
Cm	: Centimètre
°C	: degré Celsius
°	: Degré
\$: Dollar
F1	: Fécondation de la première génération
FAO	: Fond and Agriculture Organization
FOFIFA	:FOibem-perenena momba ny Fikarohana ampiharina amin'y Fampanandrosoana ny eny Ambanivohitra (Centre National de la Recherche Appliquée au Développement Rural)
G	: Gramme
ha	: hectare
KSA	: Kartoffel Saccharose Agar
J	: Jour
Mm	: millimètre
MAEP	: Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche
N°	: Numéro
NPK	: Natrium Phosphore Kalium
pH	: potentiel Hydrique
%	: Pourcentage
t/ha	: tonne par hectare
TG	: Taux de Germination
TGM	: Temps Moyen de Germination
Tx	: Taux de multiplication
TYLCV	: Tomato Yellow Leaf Curl Virus
V	: Variété

Liste des figures

Figure 1 : Fleur de la tomate.....	4
Figure 2 : Morphologie d'un nématode du genre <i>Meloïdogyne sp.</i>	8
Figure 3 : Cycle de développement de <i>Meloïdogyne sp.</i>	9
Figure 4: Dispositif expérimental.....	19
Figure 5: Cinétique de la germination de semences testées.....	21
Figure 6 : Taux de germination.....	22
Figure 7: Vitesse de germination.....	22
Figure 8: Estimation de nématodes dans les échantillons prélevés.....	24
Figure 9 : Densité de nématodes par plant.....	25
Figure °10: Poids sec des racines.....	26
Figure 11 : Croissance en hauteur.....	27

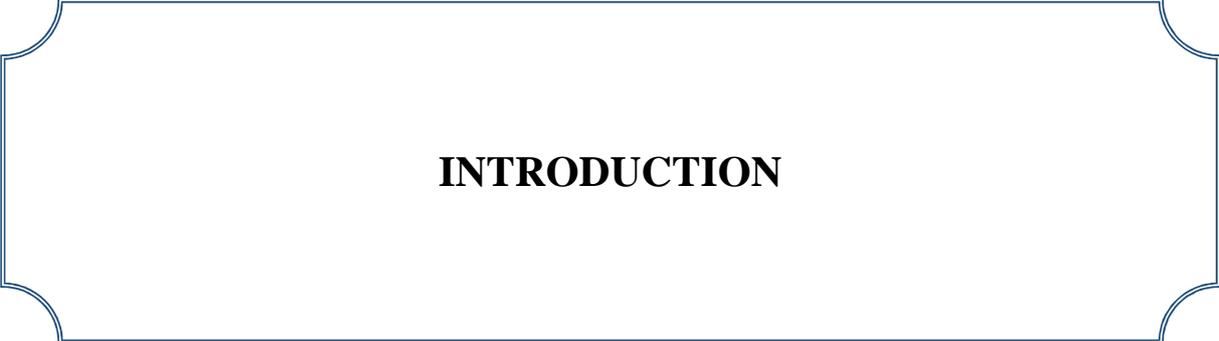
Liste des tableaux

Tableau 1: Résumé du test de germination et la quantité de semences choisie à semer...	23
Tableau 2 : Les agents pathogènes identifiés dans les échantillons prélevés.....	24

Liste des photos

Photo 1 : Pied d'une tomate.....	3
Photo 2 : Feuille.....	3
Photo 3 : Tige.....	3
Photo 4 : Racine.....	4
Photo 5 : Fleur de la tomate.....	4
Photo 6 : Fruit.....	5
Photo 7 : Graine.....	5
Photo 8 : Meloïdogyne sous forme de gourde sphérique.....	8
Photo 9 : Meloïdogyne sous forme d'une aiguille.....	8
Photo 10 : Serre d'expérimentation.....	12
Photo 11 : Nettoyage de la serre.....	13
Photo 12 : Test de germination.....	13
Photo 13 : Mélange du substrat.....	14
Photo 14 : Stérilisation du Substrat.....	14
Photo 15: Semi.....	14
Photo 16 : Repiquage.....	14
Photo 17 : Prélèvement du sol.....	15

Photo 18 : Etiquetage des échantillons.....	15
Photo 19 : Milieu KSA stérilisé.....	15
Photo 20 : Séchage du sol homogénéisé.....	16
Photo 21 : Broyage du sol.....	16
Photo 22 : Tamisage.....	16
Photo 23: Pesage.....	16
Photo 24 : Extraction de nématodes.....	17
Photo 25 : Observation et prélèvement de nématodes à la loupe monoculaire.....	17
Photo 26 : Observation de nématodes au microscope.....	17
Photo 27: Ajout du formol.....	18
Photo 28 : Ajout de bleu de méthylène.....	18
Photo 29 : Prélèvement d'une aliquote.....	18
Photo 30 : Dénombrement de nématodes.....	18
Photo 31: Acariens.....	28
Photo 32 : <i>Oïdium neolycopersici</i>	28



INTRODUCTION

Introduction

La tomate derrière la pomme de terre est l'un des légumes le plus prisé et le plus utilisé au monde (Laterrot, 2013). A part ses vertus médicinales, elle est consommée par toutes les couches sociales. Ceci signifie que la tomate est accessible à tout le monde et à bon prix. De ce fait, sa culture est importante dans un pays.

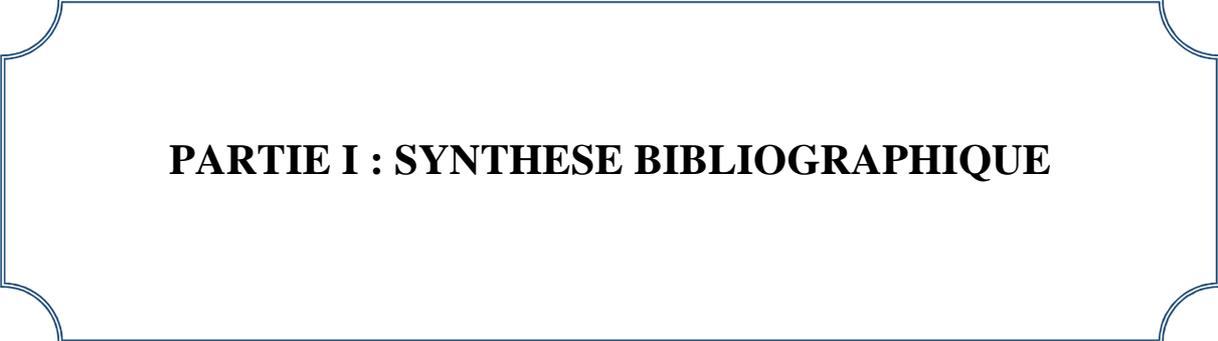
En outre, elle est une culture économiquement importante. En 2010, le Mexique a exporté 1 509 615 649 kg de tomates correspondant à 1 595 315 056 \$ (FAOSTAT, 2012). A Madagascar, en 2004, la culture de la tomate a rapporté à la caisse d'Etat 24,294 millions d'Ariary pour 12 millions de tonnes (INSTAT, 2004). Ces chiffres montrent l'importance économique de la tomate.

Néanmoins, la culture de tomate est victime de nombreuses attaques de ravageurs en l'occurrence les nématodes à galles du genre *Meloïdogyne sp.* Ces derniers sont partout dans le monde. Longtemps ignorés, ils sont devenus, actuellement, les ennemis les plus redoutables de cette culture. Leurs dégâts majeurs entre autres formations des galles au niveau de racines empêchant une bonne alimentation, retard de croissance, mauvaises qualités des fruits, chloroses des parties aériennes, flétrissement de la plante, diminuent considérablement le rendement et provoquent une incidence économique très importante. Au niveau mondial, les pertes sont estimées à 100 milliards de dollars par an (Sasser *et al.*, 1987).

De ce fait, une étude est nécessaire et indispensable pour pallier et remédier les dégâts causés par les nématodes du genre *Meloïdogyne sp* responsable de la baisse du rendement sans compromettre l'environnement. C'est la raison pour laquelle le choix du sujet se porte sur : « **Etude de la résistance de nouvelles variétés de tomate de l'AVRDC aux nématodes du genre *Meloïdogyne*** »

L'objectif de cette recherche est d'étudier les comportements des variétés choisies vis-à-vis des *Meloïdogyne sp* afin de sélectionner et de vulgariser plus tard les variétés les plus résistantes à ces ravageurs.

Pour bien cerner ce travail, nous l'avons scindé en trois parties à savoir synthèse bibliographique ensuite matériels et méthodes enfin résultats et discussions.



PARTIE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I. La tomate, un fruit très prisé

La tomate est un des légumes le plus répandus et le plus important du monde (Shankara *et al*, 2005). Elle possède des caractères botaniques et écologiques assez particuliers qui la distinguent des autres solanacées. Son cycle végétatif complet est de 4 à 5 mois environ pour les semis directs en pleine terre et de 5 à 6 mois pour les plants repiqués. En contre saison, il peut atteindre 7 mois (annexe I : 2).

I.1. Botanique de la tomate

Les présents paragraphes traitent les particularités botaniques de la tomate.

I.1.1. Historique

La tomate est originaire d'Amérique du Sud. La domestication a commencé chez les Aztèques (Mexique). Elle est introduite en Europe en 1494. De là, sa culture s'est propagée en Asie du Sud et de l'Est, en Afrique et au Moyen-Orient. Plus récemment, la tomate sauvage a été introduite dans d'autres régions de l'Amérique du Sud et au Mexique (Shankara *et al*, 2005).

I.1.2. Classification

La classification de la tomate se fait selon plusieurs critères à savoir type de croissance végétale (déterminée ou indéterminée) et qualité génétique (hybride ou fixe) (annexe I: 1.a). Elle peut être également classée selon les caractères extérieurs du fruit (mémento de l'agronome, 2003) (annexe I: 1.a).

Pour la taxonomie, grâce à la biologie moléculaire qui permet d'avoir des arbres phylogénétiques plus précis, une nouvelle nomenclature s'est mise en place en 2004/2005. Actuellement, la tomate porte le nom binominal décrit par Linné en 1753. Le nom officiel est *Solanum lycopersicum* (annexe 1 : b). Elle se substitue aux précédents *Lycopersicon esculentum* ou *Lycopersicon lycopersicum*.

I.1.3 Morphologie

La tomate est une plante herbacée annuelle (photo 1). Elle peut atteindre une hauteur de plus de deux mètres (Shankara *et al*, 2005).



Photo1 : Pied d'une tomate

Source : Auteur, 2014

a) Feuille

Elles sont composées, imparipennées, alternées (Charles, 1989) (photo2). Elles peuvent prendre des formes très différentes, selon les variétés. Les feuilles sont disposées en spirale, 15 à 50 cm de long et 10 à 30 cm de large. Les folioles sont ovées à oblongues, couvertes de poils glandulaires. Le pétiole mesure entre 3 et 6 cm (Shankara *et al*, 2005).



Photo2 : Feuille

Source : Auteur, 2014

b) Tige

Le port de croissance varie entre érigé et prostré. La tige pousse jusqu'à une longueur de 2 à 4 m. La tige est pleine, fortement poilue et glandulaire (Shankara *et al*, 2005) (photo3). Elle est vigoureuse et ramifiée, herbacée au stade jeune, elle se lignifie avec l'âge, tout en portant des feuilles et des bourgeons (Charles Marie, 1989).



Photo3: Tige

Source : Auteur, 2014

c) Racine

La tomate possède un système racinaire pivotant. Ce dernier pousse jusqu'à une profondeur de 50 cm ou plus (photo4). La racine principale produit une haute densité de racines latérales et adventives (Shankara *et al*, 2005). Ces dernières atteignent parfois 0,3 m (Charles, 1989).



Photo4 : Racine
Source : Auteur, 2014

d) Inflorescence

L'inflorescence est une cyme formée de 6 à 12 fleurs (Shankara *et al*, 2005). Les fleurs de couleur jaunâtre sont bisexuées, régulières et entre 1,5 et 2 cm de diamètre (Figure 1 et photo5). Les sépales sont persistants. En général, la tomate possède six (6) pétales qui peuvent atteindre une longueur de 1 cm et six (6) étamines. Les anthères entourent le style qui a une extrémité stérile allongée. L'ovaire est supère avec entre deux (2) et neuf (9) carpelles.

En général, la plante est autogame, mais la fécondation croisée peut avoir lieu.



Photo5 : Fleur de la tomate

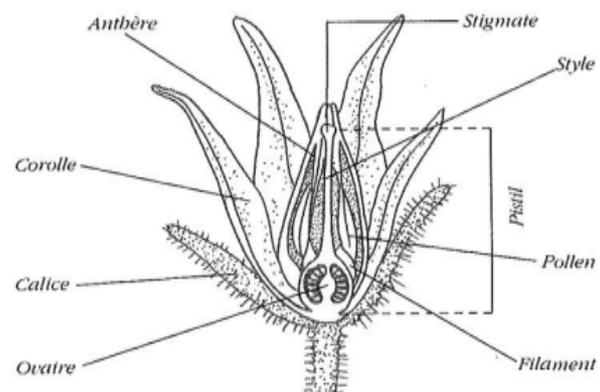


Figure1 : Fleur de la tomate

Source : BEMENA, 2012

e) Fruit

Le fruit de la tomate est une baie charnue, de forme globulaire ou aplatie avec un diamètre de 2 à 15 cm (photo6). Lorsqu'il n'est pas encore mûr, le fruit est vert et poilu. La couleur des fruits mûrs varie du jaune au rouge en passant par l'orange. En général, les fruits sont ronds et réguliers ou côtelés (Shankara *et al*, 2005).



Photo6 : Fruit

Source : Auteur, 2015

f) Graine

Elles sont en forme de rein ou de poire. Elles sont poilues, beiges, 3 à 5 mm de long et 2 à 4 mm de large (photo7). L'embryon est enroulé dans l'albumen.



Photo7 : Graine

Source : Auteur, 2014

I.2. Ecologie de la tomate

En général, la tomate pousse dans les conditions pédoclimatiques décrites ci-après. Néanmoins, il existe des variétés qui se développent dans des conditions pédoclimatiques particulières.

I.2.1. Climat

La tomate nécessite un climat relativement frais et sec pour fournir une récolte abondante et de qualité. Cependant, la plante s'est adaptée à une grande diversité de

conditions climatiques, allant du climat tempéré vers le climat tropical chaud et humide (Shankara *et al*, 2005).

I.2.2. Sol

La tomate préfère les terres limoneuses profondes et bien drainées. Elle pousse bien sur la plupart des sols minéraux qui ont une bonne capacité de rétention de l'eau, une bonne aération et qui sont libres de sels. Elle demande une profondeur de sol de 15 à 20 cm pour la bonne croissance.

La tomate se développe mieux dans les sols où le pH varie entre 5,5 et 6,8 (Charles, 1989) et/où l'approvisionnement en éléments nutritifs est adéquat et suffisant (Shankara *et al*, 2005).

I.2.3. Lumière

Le développement reproducteur de la tomate est fortement influencé par la quantité totale d'énergie que reçoit la plante quotidiennement (agroconsult.org, 2014). Cette quantité dépend à la fois de la photopériode et de l'intensité lumineuse. La lumière intervient sur la croissance et la fructification de la tomate par sa durée, son intensité, et sa qualité; 1200 heures d'insolation sont nécessaires pendant les 6 mois de végétation. Un éclaircissement de 14 heures par jour est nécessaire pour une bonne nouaison.

I.2.4. Température

La température optimale pour la plupart des variétés se situe entre 21 et 24°C (Shankara *et al*, 2005). Des températures inférieures à 21 °C peuvent provoquer l'avortement des fruits. En dessous de 10°C et au-dessus de 38°C les tissus des plantes seront endommagés.

La température du sol doit être située entre 25°C et 35°C, pour une bonne reprise après le repiquage, mais au-dessous de 15°C elle diminue la consommation en eau, et plus de 35°C provoque une végétation plus lente (agroconsult.org, 2014).

La tomate réagit aux variations de température qui ont lieu pendant le cycle de croissance (annexe I : 3 :).

I.2.5. Humidité

La tomate nécessite une humidité relative de l'air située entre 60 et 80%. En dessous de 60%, l'air est trop sec pour la tomate. Au-delà de 80%, la libération des grains de pollen est freinée, d'où une mauvaise nouaison (Charles, 1989).

Les besoins en eau de la plante sont dépendants des facteurs climatiques et biologiques. Toutefois, il est estimé que la plante a besoin environ 600 mm (agroconsult.org, 2014).

I.3. Maladies de la tomate causées par le nématode : *Meloidogyne sp*

La tomate est sujette à de nombreuses maladies (annexe I : 4). Outre cela, elle est également cible de nombreux ravageurs en l'occurrence les nématodes plus particulièrement les *Meloidogyne sp*. Ces derniers attaquent les racines et provoquent en conséquence l'apparition des galles sur les racines qui entraînent un dysfonctionnement racinaire, un dépérissement des parties aériennes (chloroses, flétrissement), une réduction de la croissance, une formation de petits fruits de mauvaise qualité (Bertrand, 2001).

I.4. Production de la culture de tomate

Selon le service de statistique en temps réel planetoscope.com, la production mondiale de tomates passe de 64 millions de tonnes en 1988 à plus de 100 millions aujourd'hui. Elle a augmenté de 35% au cours des dix dernières années et se répartit comme suit : l'Asie 45%, l'Europe 22%, l'Afrique 12%, l'Amérique du Nord 11%, l'Amérique du Sud et Centrale 8%. Elle est cultivée dans plusieurs pays (annexe I : 4).

A Madagascar, elle est cultivée à Ambato-Boeny, plaine de Betsiboka et le Moyen Ouest (Itasy) pour la culture industrielle (MAEP, FAO, 2004). Par contre pour la culture maraîchère, elle est cultivée à Antananarivo, Antsirabe, Fianarantsoa, Antsiranana (Montagne d'Ambre), Toliara II. Selon MAEP 2004, la production de la tomate était de 22 000 tonnes pour une superficie de 773 ha. Le rendement était de 30-50t/ha.

II. Nématodes : *Meloidogyne sp*, un parasite redoutable de la tomate

Les nématodes des racines (*Meloidogyne* = du grec « femelle à aspect de pomme ») sont présents partout dans le monde (nematode.be, 2014). Ils constituent un groupe de ravageurs important sur le plan économique. Leurs plantes hôtes sont multiples, dont de nombreuses cultures d'importance économique en l'occurrence la tomate. Ce sont des ravageurs du sol particulièrement difficiles à éliminer (Bertrand, 2001). Ils provoquent des dégâts considérables sur les cultures maraîchères.

II.1. Morphologie et classification de nématode : *Meloidogyne sp*

Les nématodes phytoparasites sont le plus souvent des vers ronds de taille variant entre 0,25 à plus de 1 mm, certains atteignant 4 mm (Coyne, 2010) (annexe II : 2). Ils diffèrent des non parasites par la présence d'un stylet de forme très variable (Albert et Taylor, 1968).

II.1.1. Morphologie

Les Meloïdogynes sont filiformes et mesurent respectivement 0,4 mm pour les femelles et 1mm pour les mâles (Bertrand, 2001). Les nématodes phytophages se caractérisent par un stylet piqueur qui permet de perforer les cellules des vaisseaux conducteurs de sève (Figure2).

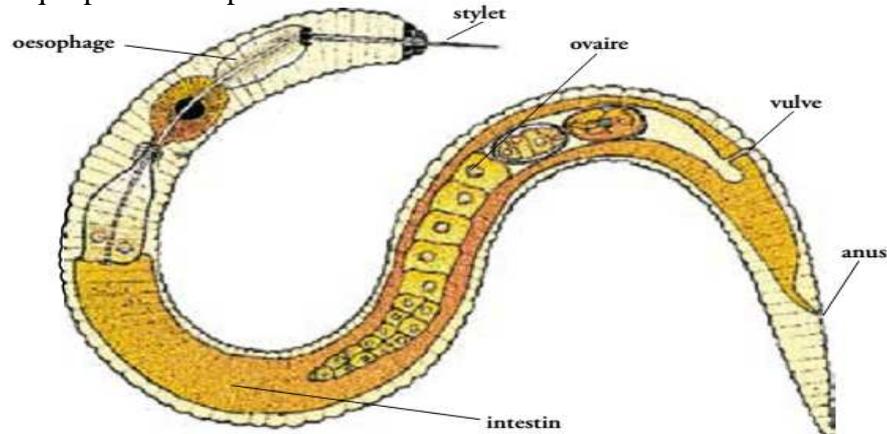


Figure2 : Morphologie d'un nématode du genre *Meloïdogyne sp*

Source : (Coyne, 2010)

II.1.2. Classification

Les nématodes Meloïdogynes sont des vers ronds de la famille des Tylenchida (annexe II : 7). Le genre Meloïdogyne se subdivise en de nombreuses espèces, toutes phytophages, dont les plus répandues sont *M. incognita*, *M. arenaria*, *M. hapla* et *M. javanica* (Coyne, 2010).

II.2. Différents types de nématodes phytoparasites de la tomate

Il existe quatre espèces de nématodes parasitant les racines de la tomate dans le monde (annexe II : 1). Il s'agit des nématodes des racines noueuses *Meloïdogyne incognita*, *M. arenaria*, *M. hapla* et *M. javanica* (Duval, 1991) (photo8 et 9).



Photo8 : Meloïdogyne sous forme de gousse sphérique

Source : Coyne, 2010



Photo9 : Meloïdogyne sous forme d'une aiguille

Source : Auteur, 2014

II.3. Ecologie de nématodes : *Meloïdogyne sp*

Les *Meloïdogyne sp* sont très liés aux conditions du milieu. Ils aiment les températures élevées (25 °C) (Duval, 1991). Ces dernières accélèrent le cycle de développement. Au-delà de 40°C, il est freiné (effet létal) (Bertrand, 2001).

Par ailleurs, les excès d'eau ou les sécheresses sont néfastes à ces nématodes, bien que dans ces cas, les masses d'œufs constituent une forme de résistance souvent efficace.

Les *Meloïdogyne sp* préfèrent les sols légers et aérés (déplacements facilités) aux sols lourds riches en argiles ou en matière organique. Ces ravageurs peuvent descendre profondément dans le sol (plus de 50 cm).

II.4. Biologie de nématodes : *Meloïdogyne sp*

II.4.1. Cycle de développement de *Meloïdogyne sp*

La larve de stade juvénile 2 s'insinue dans la racine jusqu'aux faisceaux vasculaires qu'elle pique de son stylet. Elle s'hypertrophie en évoluant par les stades juvéniles 3 et 4 pour aboutir à la forme adulte sexuée. Le mâle reste filiforme et quitte la racine (Bertrand, 2001). Les femelles au contraire, incapables de se mouvoir, restent dans la racine et celles qui y sont complètement enfermées pondent leurs œufs à l'intérieur même de la racine. Mais, très souvent, la vulve de la femelle de *Meloïdogyne* affleure à la surface de la racine et la ponte est émise à l'extérieur de celle-ci (Albert et Taylor, 1968). Les œufs passent par la forme J1 qui reste incluse dans l'enveloppe de l'œuf. Au stade juvénile 2, la larve sort de l'œuf et va coloniser de nouvelles racines. La durée de ce cycle est très variable selon les conditions externes (de trois à huit semaines, six semaines à 25°C) (Bertrand, 2001) (Figure3).

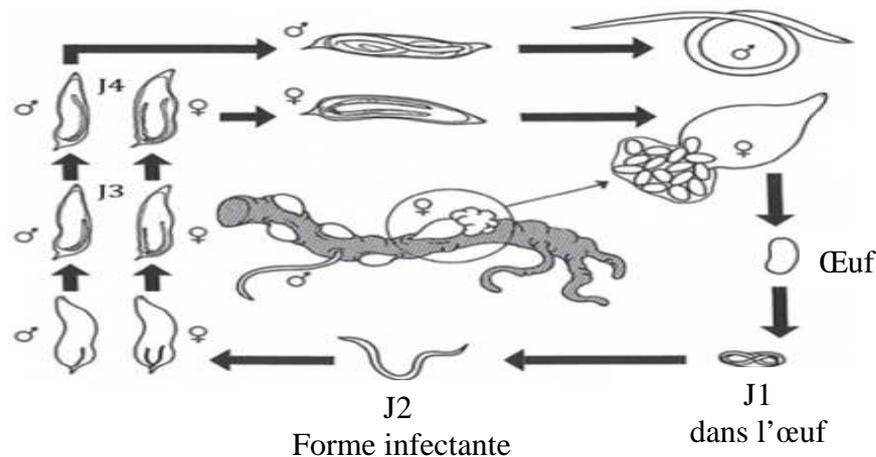


Figure3 : Cycle de développement de *Meloïdogyne sp*

Source : nématode.be, 2014

II.4.2. Locomotion de *Meloidogyne sp*

Ils se déplacent par des mouvements ondulatoires dans le plan dorso-ventral plutôt que dans le plan latéral. Ils circulent à travers les espaces vides du sol. Ils se dirigent vers les racines attirés apparemment par les exsudats racinaires qu'ils perçoivent au moyen de ses amphides. Ils ne les perçoivent qu'à 2 ou 3 centimètres de distance (Albert et Taylor, 1968).

II.4.3. Mode d'alimentation de *Meloidogyne sp*

Ils s'alimentent endommageant le système racinaire de la plante. Grâce à ses amphides, les *Meloidogyne sp* repèrent une racine et s'en rapprochent en suivant un gradient de sécrétion racinaire. Ses papilles conduisent la tête dans la position de prise de nourriture. Avec son stylet, ils perforent une cellule de la racine et y injectent les sécrétions de sa glande œsophagienne qui liquéfient partiellement le contenu de la cellule. Ce dernier est aspiré par son stylet et envoyé vers son intestin à travers l'œsophage (Albert et Taylor, 1968).

II.5. Dégâts de *Meloidogyne sp* sur la tomate

Les dégâts les plus évidents s'observent au niveau des racines. Les *Meloidogyne sp* sécrètent des substances qui modifient la croissance des cellules radiculaires attaquées. Elles les transforment en galles qui sont les résultats d'un accroissement de volume des tissus racinaire à la suite de l'hypertrophie des cellules corticales (Albert et Taylor, 1968). Les cellules du cylindre central sont également affectées et se transforment en cellules géantes par coalescence de plusieurs cellules après dissolution des parois communes. Ces galles raccourcissent les racines. Elles empêchent en conséquence la tomate de bien se nourrir et d'accroître sainement.

Par contre au niveau des feuilles et des fruits, les symptômes sont souvent communs à d'autres problèmes entre autres une alimentation insuffisante en eau ou une déficience de l'absorption minérale (Coyne, 2010). Il est donc difficile de savoir s'ils sont l'œuvre des *Meloidogyne sp*. En général les feuilles jaunissent, flétrissent, les fruits sont plus petits et arrivent moins bien à maturité.

III. Techniques nématologiques

Après avoir observé les symptômes d'une possible infestation par les nématodes, l'étape suivante consiste à collecter des échantillons pour les analyser afin de déterminer quels genres de nématodes sont présents dans les parcelles et à quelle densité. Cela requiert une connaissance de base des techniques nématologiques.

III.1. Extraction de nématodes

Les nématodes sont extraits au niveau du sol, racines ou des parties aériennes. Ils sont obtenus par diverses méthodes : méthode de Baermann, méthode par broyage des racines, méthode par tamisage et méthode par incubation (Coyne, 2010) (annexe II : 3). Les échantillons sont pris d'une façon aléatoire ou systématique (Annexe II : 4).

III.2. Détermination de la densité de la population de nématodes

Les nématodes extraits sont dénombrés à l'aide d'une loupe binoculaire ou d'un microscope à travers une plaque de comptage au fond de laquelle une grille est fixée (Coyne, 2010).

S'il existe peu de nématodes, ils sont comptés dans le volume total de la suspension. En revanche, si la densité de nématodes est élevée, ils sont comptés à partir d'une aliquote qui peut être diluée pour faciliter le comptage.

L'estimation du nombre total de nématodes dans les tissus végétaux ou le sol échantillonné est déterminée par cette formule :

$$\text{Densité de nématodes} = M_{\text{aliquotes}} \times V_{\text{total}}$$

$M_{\text{aliquotes}}$: Moyenne des aliquotes pour chaque échantillon

V_{total} : Volume total de la suspension

III.3. Identification de nématodes

Après échantillonnage et extraction, les nématodes peuvent être identifiés immédiatement au niveau du genre et dénombrés. Cela donne une indication rapide sur les genres de nématodes présents dans les parcelles et leurs potentialités de dommages aux cultures.

Cependant, si cette expertise n'est pas possible, ou si les nématodes nécessitent une identification au niveau de l'espèce, les échantillons de nématodes sont envoyés pour identification à un spécialiste en taxonomie (Coyne, 2010).

Pour ce faire, les nématodes sont tués et fixés puis introduits dans de petits tubes lisiblement étiquetés et emballés dans des conteneurs bien isolés pour le transport jusqu'au laboratoire d'identification.

PARTIE II : MATERIELS ET METHODES

II.1. Matériels

Plusieurs matériels ont été utilisés durant l'expérimentation.

II.1.1. Matériel végétal

Le matériel végétal choisi a été la tomate. Dans le cas présent, cinq (5) variétés ont été optées à savoir : AVTO 9802, AVTO 0922, AVTO 0301, AVTO 1132 et variété sauvage locale issue de la F1 prise comme référence. Les semences de quatre variétés proviennent de Taiwan et de la Tanzanie, fournies par l'AVRDC. Ce sont de nouvelles variétés créées qui sont en cours d'expérimentation. Elles sont choisies à partir du test de germination.

II.1.2. Matériel biologique

Les nématodes du genre *Meloidogyne sp* ont été employés comme matériel animal pour l'expérimentation.

II.1.3. Serre d'expérimentation et laboratoire de phytopathologie

La serre et le laboratoire de phytopathologie du FOFIFA d'Ambatobe ont été utilisés pour cette recherche (photo10).



Photo10 : Serre d'expérimentation

Source : Auteur, 2014

II.2. Paramètres étudiés

Les paramètres suivants ont été étudiés : la croissance végétative, le poids sec du système racinaire, le nombre de galles formé (annexe II : 5), la densité de nématodes après inoculation.

II.3. Méthode

La méthode adoptée pour cette expérimentation est composée de plusieurs étapes.

II.3.1. Nettoyage de la serre

A l'aide des détergents et de l'eau de javel de 12° la serre a été nettoyée de fond en comble pour éliminer les pathogènes susceptibles de contaminer la culture (photo11).



Photo11 : Nettoyage de la serre

Source : Auteur, 2014

II.3.2. Test de germination

De l'eau a été versée dans des boîtes de pétri contenant de papier buvard. Au-dessus de ce dernier, 100 graines pour chaque variété ont été déposées et laissées à la température ambiante jusqu'à une semaine (photo12). Ce test est effectué pour déterminer le pouvoir germinatif et la vitesse de germination de semences afin de pouvoir choisir les semences de meilleures qualités. Chaque jour, les semences germées avaient été comptées et mises à part pour éviter de les recompter plusieurs fois.



Photo12 : Test de germination

Source : Auteur, 2014

II.3.3. Préparation du substrat

Le substrat est un mélange de 1/3 de sable, 1/3 de terreau et 1/3 de terre fine (Photo13). Ce mélange a été stérilisé à l'autoclave à 1,2 atmosphère et à 120°C pendant 48 min (photo14).



Photo13 : Mélange du substrat



Photo14 : Stérilisation du substrat

Source : Auteur, 2014

II.3.4. Semis, arrosage, repiquage, fertilisation et suivi de la croissance

Le semis a été effectué dans des pots de 30cm de diamètre et de 10cm de profondeur sur des lignes distantes de 0,5cm à raison de 2 graines par trou espacée de 0,5cm (Photo15).

L'arrosage a été réalisé chaque deuxième jour à raison de 1 l d'eau par pot jusqu'au repiquage qui a eu lieu au stade 7 feuilles (31 jours après semis). Chaque plant a été repiqué dans un pot de 10cm de diamètre et de 28cm de profondeur (Photo16).

A ce stade, la dose de l'arrosage a été diminuée de moitié; 0,5l d'eau dans chaque pot. Lorsque les plants ont atteint une croissance moyenne ; 15 jours après repiquage, 5g de NPK 12 22 16 a été apporté dans chaque pot.

La croissance des plants a été suivie après inoculation jusqu'à l'arrêt de l'expérience.



Photo15 : Semis



Photo16 : Repiquage

Source: Auteur, 2014

II.3.5. Echantillonnage

Les nématodes ont été prélevés à Antananarivo plus précisément dans les zones productrices de tomates à savoir Anjeva, Mahitsy et Analavory. Ils ont été extirpés au niveau du sol en raison de la réticence des producteurs d'arracher tout entier les pieds de tomates.

L'échantillon du sol a été prélevé d'une façon aléatoire. Pour ce faire, à l'aide d'une pioche (angady), des binages autour du pied de la tomate présentant les dégâts des

Meloïdogynes sp ont été effectués. A 10cm de profondeur, des échantillons de sol ont été prélevés (photo17).

Chaque échantillon collecté a été mis dans de sachet portant le numéro de la parcelle, le lieu, la date, la provenance (photo18).



Photo17 : Prélèvement du sol



Photo18 : Etiquetage des échantillons

Source : Auteur, 2014

II.3.6. Identification d'autres microorganismes pathogènes dans les échantillons prélevés

Au laboratoire, les échantillons de sol ont été analysés pour identifier la présence des microorganismes pathogènes de la tomate autres que les nématodes. Ces analyses ont été réalisées pour choisir les échantillons de sol renfermant uniquement les nématodes afin d'éviter la contamination par les autres agents pathogènes de la culture de la tomate en l'occurrence *Alternaria solani*, *Phytophthora infestans*.

Pour ce faire, l'identification a été réalisée sur un milieu standard ; KSA. Ce milieu est composé d'un extrait de jus bouilli de 1/4g de pomme de terre, 30g d'agar, 10g de saccharose (Photo19). Avant la mise en culture, le milieu a été stérilisé à l'autoclave à 1,2 atmosphère et à 121°C pendant 20min.

Seul l'échantillon indemne des agents pathogènes autres que les meloïdogynes a été utilisé.



Photo19 : Milieu KSA stérilisé

Source : Auteur, 2014

II.3.7. Extraction et identification de nématodes

II.3.7.1. Préparation de l'échantillon

Les sols prélevés dans une même parcelle à différents endroits (échantillonnage aléatoire) ont été mélangés pour les homogénéiser afin de pouvoir quantifier la population de nématodes présents dans la parcelle. L'échantillon composite a été ensuite séché à l'air libre au sein du laboratoire (photo20). L'échantillon de sol séché est broyé et tamisé avant le pesage (photo21, 22 et 23).



Photo20 : Séchage du sol homogénéisé



Photo21 : Broyage du sol

Source: Auteur, 2014



Photo22 : Tamisage



Photo23: Pesage

Source : Auteur, 2014

II.3.7.2. Extraction

L'extraction de nématodes a été réalisée selon la méthode de Baerman (Coyne, 2010). 50g de sol sec a été pesé. Ceci a été introduit dans un filtre en coton et déposé dans un entonnoir relié par un microtube à l'aide d'un tube en plastique pour recueillir les nématodes après introduction d'eau dans l'entonnoir. L'ensemble (entonnoir, filtre, microtube) est suspendu à travers un support (Photo24) et laissé pendant deux jours. Les nématodes traversent le filtre par gravité et se déposent dans le microtube.



Photo24 : Extraction de nématodes

Source : Auteur, 2014

II.3.7.3. Identification

L'identification a été faite à l'aide d'un microscope et d'une loupe monoculaire. Les nématodes extraits dans l'échantillon ont été observés en premier lieu à la loupe monoculaire puis au microscope. Le nématode observé à la loupe monoculaire plus précisément le *Meloidogyne sp* a été prélevé avec une micropipette puis déposé entre lame et lamelle pour l'observation microscopique (photo25 et 26).

Pour faciliter l'observation et l'identification une goutte de formol de 2% et de bleu de méthylène ont été versés dans la solution contenant les nématodes pour les fixer et les colorer (Photo27 et 28).



Photo25 : Observation et prélèvement de nématodes à la loupe monoculaire



Photo26 : Observation de nématodes au microscope

Source : Auteur, 2014



Photo27: Ajout du formol



Photo28 : Ajout de bleu de méthylène

Source : Auteur, 2014

II.3.7.5. Détermination de la densité de nématodes *Méloidogyne sp*

La détermination de la densité de nématode est nécessaire pour l'inoculation. Pour ce faire, le volume d'eau collectée dans le microtube a été mesuré puis dilué ; 5 ml d'eau ont été ajoutés pour avoir un volume assez suffisant. Une aliquote de 1 ml a été prise pour le dénombrement de nématodes (Photo29 et 30). La densité de nématode a été alors déterminée par la formule suivante :

$$Densité\ de\ nématodes = M_{aliquotes} \times V_{total}$$

$M_{aliquotes}$: Moyenne des aliquotes pour chaque échantillon

V_{total} : Volume total de la suspension

La technique reste la même pour le dénombrement de nématodes après inoculation.



Photo29 : Prélèvement d'une aliquote



Photo30 : Dénombrement de nématodes

Source : Auteur, 2014

II.3.8. Mise en place de dispositif expérimental

Le dispositif expérimental pour cette expérience a été opté en fonction de la serre d'expérimentation ainsi que les plants de tomates disponibles. A cet égard, le dispositif ci-dessus a été choisi (Figure4):

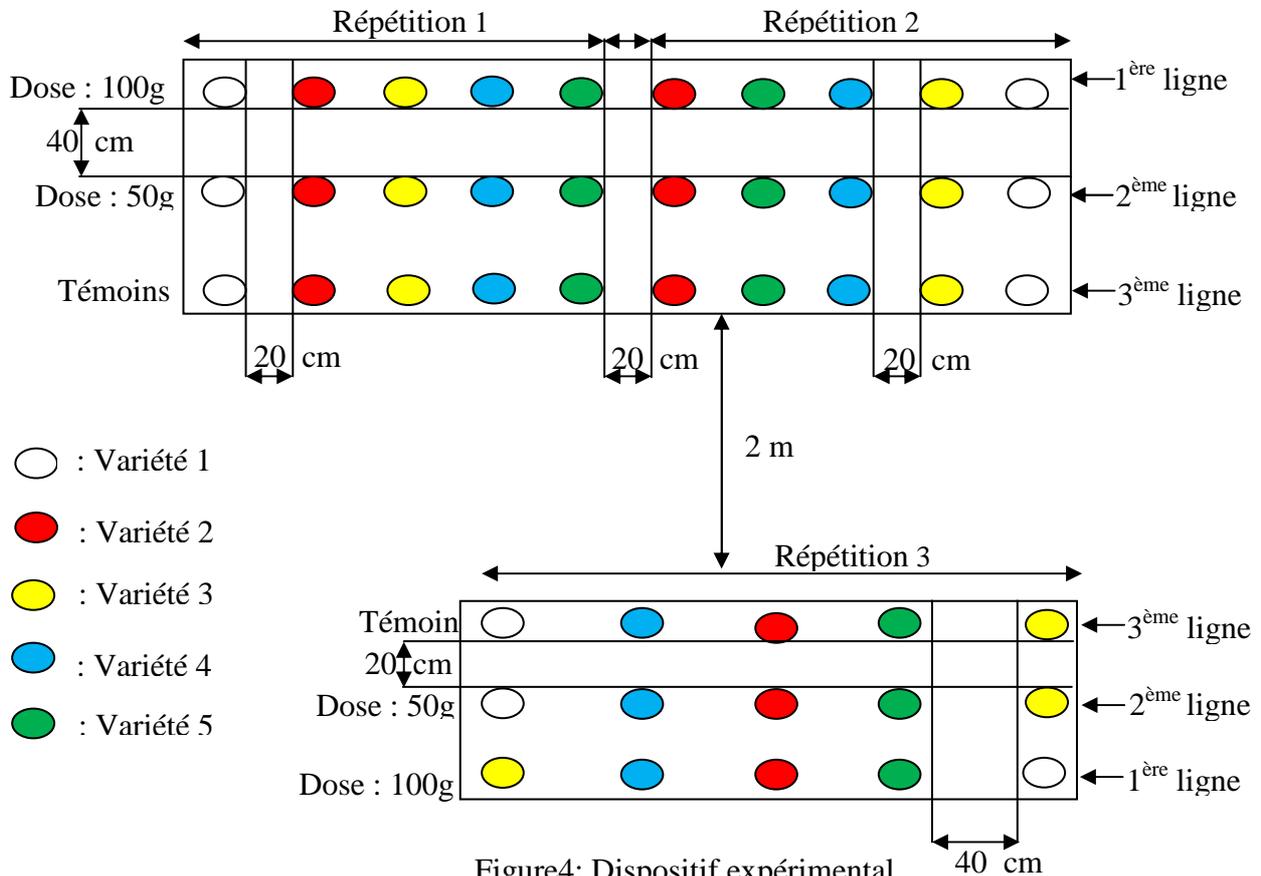


Figure4: Dispositif expérimental

Source : Auteur, 2014

Chaque ligne et colonne comportait respectivement 5 plants et 3 plants de tomates. La première ligne correspondait aux plants inoculés à 100g de sol contaminé par de *Meloïdogyne sp* et la deuxième ligne pour la dose de 50g de ce sol. La troisième ligne correspondait aux plants témoins c'est-à-dire les plants non inoculés. Selon ce dispositif 45 plants de tomates ont été utilisés.

II.3.9. Inoculation et suivi de paramètres étudiés

L'inoculation a été effectuée deux (2) semaines après repiquage. Pour cette expérience, deux doses ont été adoptées, 100g et 50g de sol renfermant uniquement de nématodes du genre *Meloïdogyne sp*. Après pesage, l'échantillon a été déposé au collet de chaque pied du plant de tomate puis arrosé. Chaque 6^{ème} jour, la croissance des plants a été mesurées.

II.3.10. Identification des causes provoquant le flétrissement des plants inoculés et les témoins

Des taches blanches sur les feuilles et des ravageurs de la tomate ont été observés 12 jours après inoculation. Au 30^{ème} jour, les plants non inoculés excepté la variété sauvage de la répétition trois (3) et certains plants inoculés commençaient à flétrir. De ce fait, une analyse macro et microscopique ont été effectuées pour identifier les agents responsables de ce flétrissement.

Afin de pouvoir comparer les résultats, l'expérience a été arrêtée à cette date, car la mort de plants aurait provoqué une dégradation du système racinaire, la mort des nématodes qui auraient empêché la comparaison des résultats.

II.3.10.1. Identification des microorganismes pathogènes de la tomate

La mise en évidence de ces microorganismes a été effectuée à partir des échantillons pris au niveau des substrats, des racines et des feuilles présentant des symptômes des maladies en l'occurrence des taches blanches. L'échantillon du sol a été mis en suspension dans de l'eau distillée. Les échantillons des feuilles et des racines, après lavage à l'eau de robinet et à l'eau distillée stérile ont été introduits dans de l'eau physiologique (NaCl 0,85%). Les suspensions de ces échantillons ont été ensuiteensemencées sur le milieu KSA.

Des observations macro et microscopiques sur les milieux de culture ont été réalisées pour identifier les microorganismes pathogènes de la tomate responsables du flétrissement observé sur les plants inoculés et sur les témoins.

II.3.10.2. Identification des ravageurs

Les conditions physiques et une mauvaise aération de la serre peuvent favoriser l'apparition des ravageurs redoutables de la tomate. A cet égard, des observations macroscopiques au sein de la serre et sur chaque pied de tomate ont été effectuées pour mettre en évidence la présence des ravageurs.

En outre, les parties de la plante présentant des symptômes de la présence des ravageurs ont été observées au microscope pour les identifier.

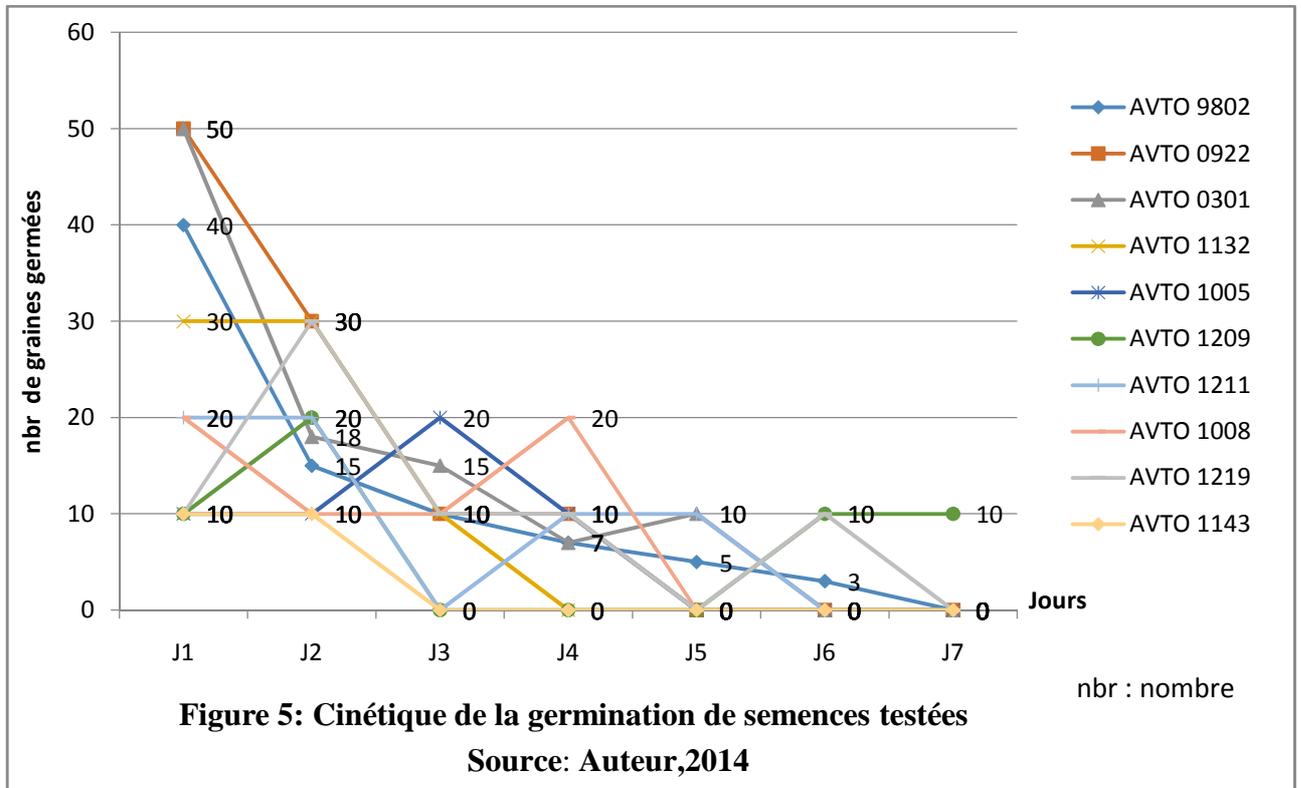
II.3.11. Traitement statistique de paramètres étudiés

Les paramètres étudiés ont été traités par le tableur Excel et le logiciel XLSTAT 2008. Ils ont été soumis à l'analyse de la variance (ANOVA). Le test de Fischer au seuil de probabilité de 5% a été utilisé pour comparer les moyennes.

PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. Résultats du test de germination

Le test de germination a été effectué sur dix (10) variétés. La figure5 indique la cinétique de la germination.



L'examen de cette figure montre que toutes les semences commençaient à germer au J1 à des proportions différentes. A ce même jour, la moitié de semences des variétés AVTO 0922 et AVTO 0301 avaient germé. Au J4 et J5 les semences AVTO 0922 et AVTO 0301 ont respectivement toutes germées. Par contre les variétés AVTO 1143, AVTO 1132, AVTO 1008 et AVTO 1005, AVTO 1211 avaient successivement arrêtées de germer au J3, J4, J5 et J6.

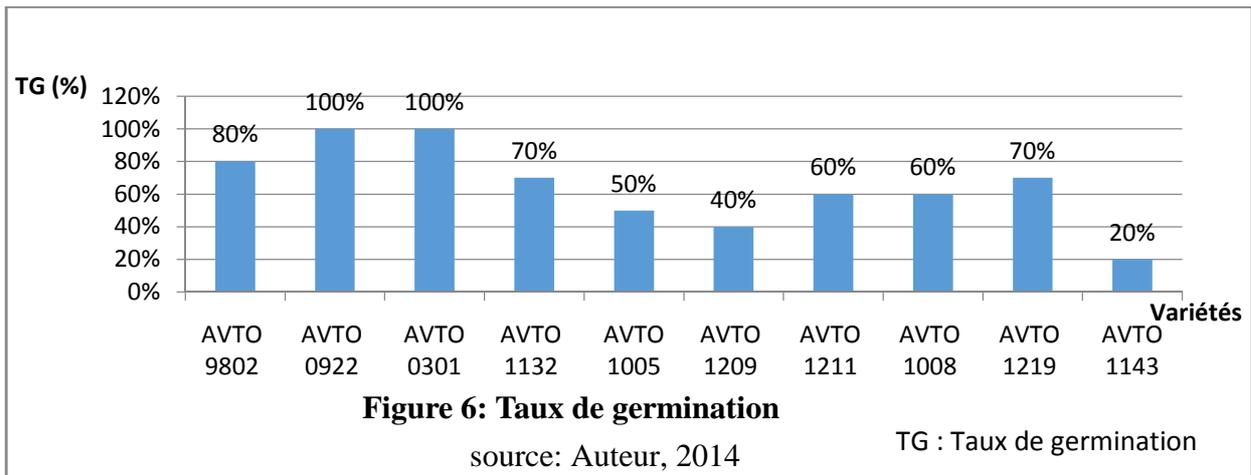
Les données de la figure5 ont permis de déterminer deux critères fondamentaux permettant de choisir les semences de meilleures qualités et le nombre de semences à semer.

Le premier critère est le pouvoir germinatif ou taux de germination. Il correspond au nombre total de graines ayant germé pendant la durée du test de germination, ramené au nombre de graines mises en germination (Côme, 1970). Il est calculé par cette formule :

$$TG = \frac{\sum ni}{N} \times 100$$

Avec ni : nombre de graines germées le jour et N : nombre total de graines testées

La figure 6 indique le taux de germination de chaque variété.



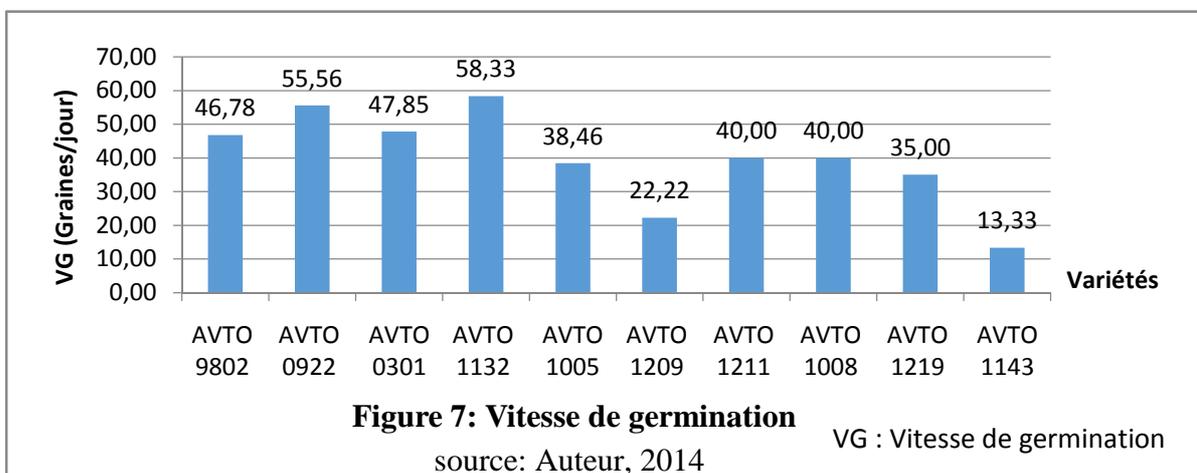
D’après cette figure les variétés AVTO 0922 et AVTO 0301 ont un TG de 100%. Les variétés AVTO 1143, AVTO 1209, AVTO 1005 sont celles qui ont un TG très bas. En revanche, les variétés AVTO 1008, AVTO1211, AVTO 1132, AVTO 1219, AVTO 9802 ont des TG très élevés allant de 60 à 80%. Selon le TG, ces cinq variétés et celles ayant un TG de 100% sont des semences de meilleures qualités.

Le deuxième critère permettant de choisir les semences pour l’expérimentation est la vitesse de germination. C’est le nombre de graines germées par rapport au nombre de jours. Selon Côme (1970), la vitesse de germination peut s’exprimer par le temps moyen de germination (TMG). Ce dernier indique si les semences germent rapidement et de manière synchronisée. Elle est calculée à partir de cette formule :

$$TMG = \frac{\sum n}{\sum(n \times jn)} \times 100$$

n : nombre de semences germées le jour et jn : nombre de jour après ensemencement

Les valeurs de TMG sont présentées dans la figure7.



L'analyse de cette figure montre que l'AVTO 1132, l'AVTO 0922, l'AVTO 0301 et l'AVTO 9802 sont les variétés ayant une VG plus élevées. Elles possèdent respectivement 58,83 graines/jour, 55,56 graines/jour, 47,85 graines/jour, 46,78 graines/jour. Selon la VG, les semences de ces variétés sont alors de meilleures qualités.

Les figures 6 et 7 montrent que le TG et VG sont deux paramètres indépendants. Une variété peut avoir un TG plus bas et une VG plus élevées et vice-versa. L'AVTO 1132 en est l'exemple. L'étude de ces deux figures ont permis de choisir les semences de meilleures qualités à savoir : AVTO 9802, AVTO 0922, AVTO 0301 et AVTO 1132. Ces variétés ont des TG et des VG plus élevées.

L'AVTO 1132 et 1219 ont un même TG, mais des VG différentes. La VG de l'AVTO 1132 est nettement supérieure (58,83 graines/jour) à celle de l'AVTO 1219 (35 graine/jour). C'est la raison pour laquelle l'AVTO 1132 est choisie.

En outre le TG a permis d'estimer la quantité de semences à semer. Cette quantité est déterminée par la formule suivante (Agrobio, 2013).

$$Quantité \ à \ semer = \frac{100 \times \text{nombre de plants désirés}}{TG}$$

TG : taux de germination

Le tableau 1 résume le test de germination et la quantité de semences choisies à semer

Tableau 1 : Résumé du test de germination et la quantité de semences choisie à semer

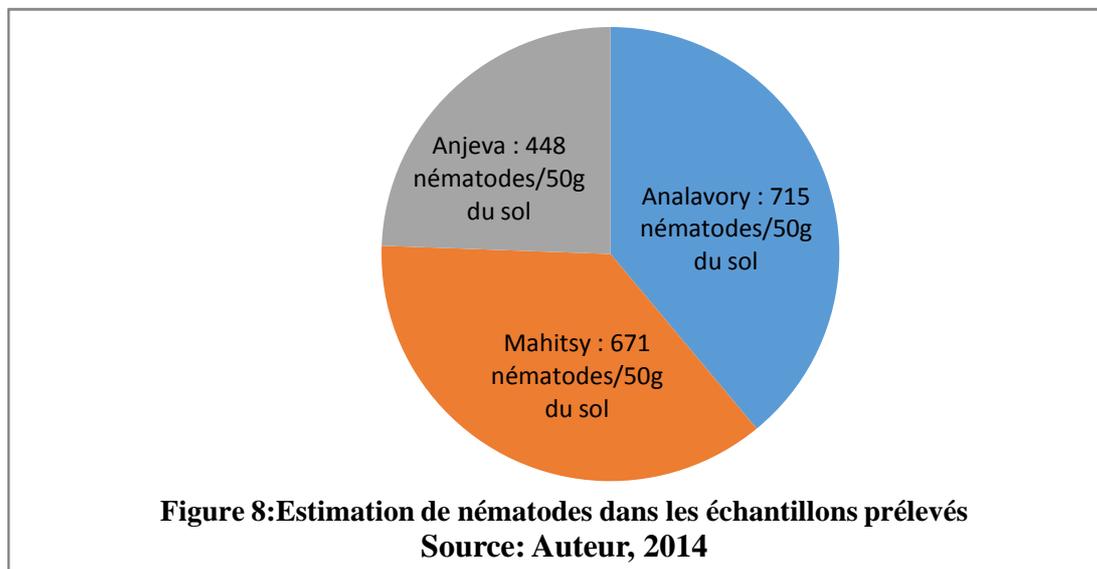
variétés	TG (%)	VG (graine/jour)	Quantité à semer
AVTO 9802	80%	46,78	56
AVTO 0922	100%	55,56	45
AVTO 0301	100%	47,85	45
AVTO 1132	70%	58,33	64

Source : Auteur, 2014

Les calculs de la quantité de semences à semer sont théoriques, mais ils permettent de se faire une idée des quantités à semer. La variété ayant un TG très bas demande une quantité de semences à semer assez importante. Ce tableau illustre ce fait. L'AVTO 1132 avec un TG de 70% nécessite 64 semences à germer. Par contre celles ayant un TG de 100% (AVTO 0922 et AVTO 0301) ne demandent pas beaucoup de semences à semer (45 semences).

III.2. Densité de nématodes et analyses des échantillons prélevés

L'estimation de nématodes dans les zones productrices de tomates à Antananarivo est présentée par la figure 8.



Cette figure montre que les nématodes du genre *Meloidogyne sp* sont présents dans ces zones à des proportions différentes.

A Analavory, les nématodes sont en grande quantité par rapport à Anjeva et Mahitsy. Avec un échantillon de 50g, ils sont estimés respectivement à 715, 671 et 448 à Analavory, Mahitsy et Anjeva.

Par ailleurs, les analyses des échantillons prélevés révèlent la présence des autres microorganismes pathogènes de la tomate autres que les *Meloidogyne sp*. Le tableau 2 met en évidence ces agents phytopathogènes

Tableau 2 : Les agents pathogènes identifiés dans les échantillons prélevés

Communes	Catégories	Agents pathogènes	Maladies
➤ Analavory	Bactérie	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Flétrissement bactérien
➤ Anjeva	Champignon	<i>Phytophthora infestans</i>	Mildiou
➤ Mahitsy	Bactérie	<i>Alternaria solani</i>	Alternariose

Source : Auteur, 2014

Selon ce tableau, les agents pathogènes mis en évidence sont des bactéries et des champignons. Ils sont présents dans les trois communes. Néanmoins, ils ne sont pas observés dans toutes les parcelles de ces communes. Certaines parcelles entre autres de la commune d'Analavory en sont dépourvues.

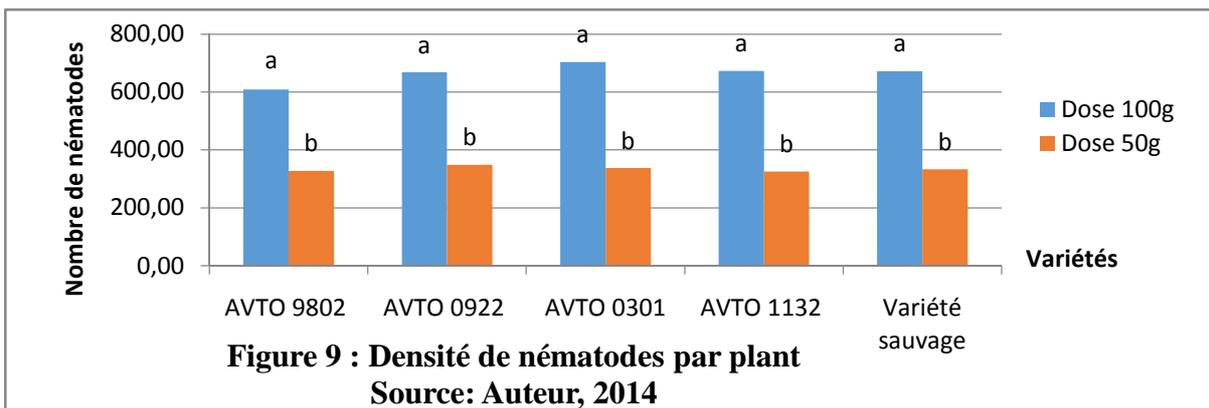
En effet, ces résultats a permis d'utiliser les échantillons ayant une forte densité de nématodes et indemnes des agents pathogènes de la tomate. A cet égard, les échantillons d'Analavory exempt de ces pathogènes ont été choisis pour l'inoculation. Dans l'échantillon utilisé, la densité de nématodes a été estimée à 715 nématodes par 50g du sol.

III.3. Résultats de paramètres étudiés

Les paramètres étudiés entre autres la croissance en hauteur, le poids sec de racines, la densité de nématodes, le nombre de galles formées sont présentés par leurs moyennes.

III.3.1. Densité de nématodes

Le nombre de nématodes après inoculation a diminué. Selon la figure9, le pot de l'AVTO 0301 pour la dose de 100g de sol contenait plus de nématodes (704,33 de nématodes en moyenne) que les autres variétés. Par contre pour la dose de 50g de sol, la variété AVTO 0922 possédait une quantité de nématodes plus élevée par rapport aux autres variétés (349,17 nématodes en moyenne) avec une faible différence.



L'analyse de la variance indique qu'il n'existe pas une différence significative entre le nombre de nématodes et les variétés ($R^2 = 0,002$ et $p=1,000$). Selon le test de Fisher, les variétés portant une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil $p<0,05$. Ce test permet donc de les classer en de groupe à savoir groupe a et b. Les variétés appartenant au même groupe ne sont pas significativement différentes.

. III.3.2. Nombre de galles par plant

Ce paramètre est important. Il fournit des informations sur l'incidence de *Meloidogyne sp* sur la tomate. Pour cette étude, aucune galle n'est observée sur les systèmes racinaires des plants inoculés. De ce fait, en se référant à la table d'indexation pour les nématodes à galles, les *Meloidogyne sp* n'ont pas d'effet sur ces variétés. Selon Albert (1968), ces variétés appartiennent à la classe 1(pas d'infestation) correspondant à l'absence des galles

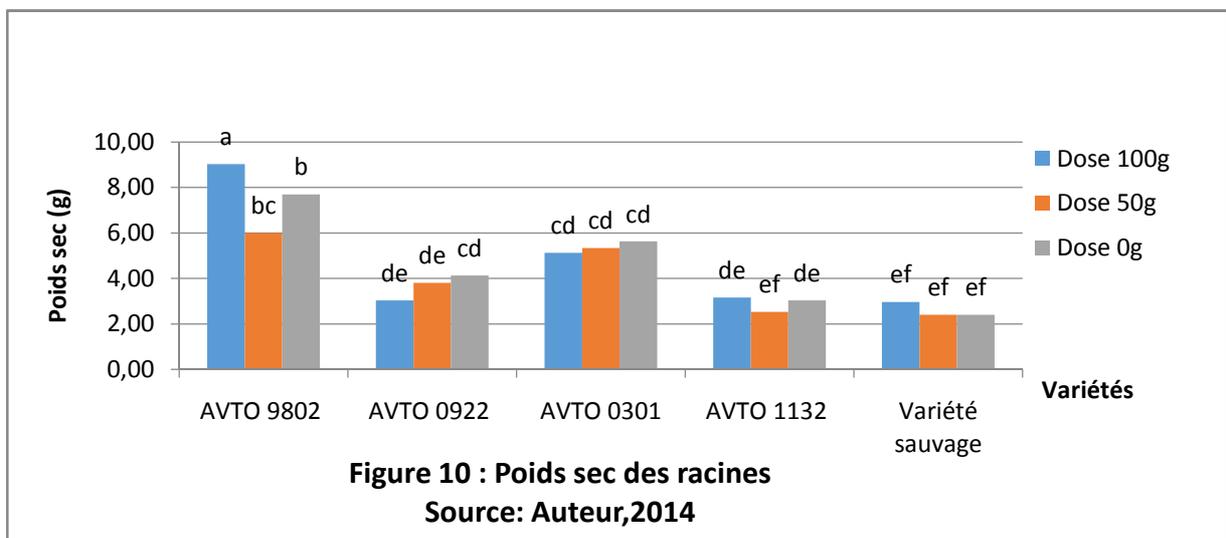
sur les racines. Etant donné que les variétés inoculées sont dépourvues des symptômes des *Meloidogyne sp*, il en ressort que les cinq variétés testées sont très résistantes aux *Meloidogyne sp*.

III.3.3.4. Poids sec des racines

Le poids sec des racines n'est pas identique chez les variétés testées. La figure 10 fait découvrir que l'AVTO 9802 est la variété possédant un système racinaire très développé. Il ressort également de cette figure que le poids sec des racines varie selon la dose d'inoculation appliquée. Pour la dose de 100g de sol, il est légèrement supérieur par rapport aux deux autres doses sauf chez la variété AVTO 0922 et AVTO 0301. Cette constatation peut s'expliquer ainsi :

Il est à rappeler d'abord que l'absence des galles au niveau des racines indique la résistance des variétés testées face aux *Meloidogyne sp*. Ceci signifie que ces nématodes n'ont aucun effet sur les systèmes racinaires de ces variétés.

Par ailleurs, au J12 après inoculation, il était observé l'apparition des ravageurs (acariens) et d'une maladie cryptogamique (oïdium) dans certains plants à la dose de 50g de sol et chez tous les plants non inoculés excepté la variété sauvage de la répétition N°3. Ces ravageurs et cette maladie perturbent le développement des plants tel que la croissance en hauteur, le développement du système racinaire. Les acariens et l'*Oïdium sp* se nourrissent du contenu des cellules. Leur nutrition a un impact non négligeable sur la biomasse aérienne et le système racinaire. D'où les faibles poids observés chez les plants non inoculés et ceux inoculés de la dose de 50g de sol. Ceux de la dose 100g de sol ont un poids très élevé parce qu'ils sont sains et que les nématodes n'ont pas d'effets sur leurs systèmes racinaires.

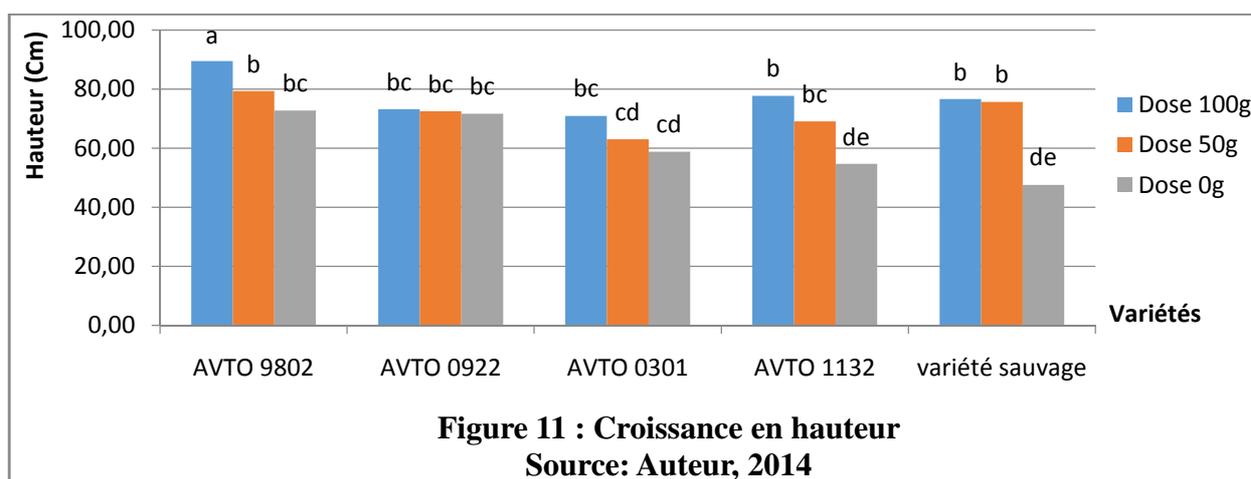


D'après le test de Fisher, la comparaison des moyennes entre poids secs des racines et les doses montre une différence significative ($R^2 = 0,898$ et $p = 0,0001$). Les variétés portant une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil $p < 0,05$. Ils appartiennent au même groupe. Ce test permet donc de mettre en évidence différents groupes. Il s'agit du groupe a, b, bc, cd, de et ef.

III.3.3.5. Croissance en hauteur

La croissance en hauteur est mesurée depuis le jour de l'inoculation jusqu'à l'arrêt de l'expérience. Elle est présentée par la figure 11. L'examen de cette figure révèle que la croissance moyenne en hauteur des plants témoins est plus faible. En revanche pour la dose de 100g de sol la croissance est très importante. Elle varie de 89,56 à 70,89cm. L'AVTO 9802 est la variété ayant la croissance en moyenne la plus élevée. Elle possède 89,56cm pour la dose de 100g de sol, 79,33cm pour celle de 50g de sol et 72,78cm pour les plants non inoculés.

Etant donné que ces variétés sont résistantes au *Meloïdogyne sp*, la différence de croissance en hauteur s'explique par la présence des ravageurs et de la maladie cryptogamique, observées au J12 après inoculation, chez les plants témoins et chez certains plants de la dose de 50g de sol. Comme il est dit précédemment, ces agents pathogènes affectent considérablement la croissance des plants. D'où l'observation de la différence de croissance en hauteur des plants entre les différentes doses.



Le test de Fisher montre qu'il n'existe pas une différence significative entre les doses appliquées et la croissance en hauteur ($R^2 = 0,330$ et $p = 0,358$). Selon ce test, les variétés portant une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil $p < 0,05$.

III.4. Résultats des causes du flétrissement des plants inoculés et les témoins

Les observations et les analyses effectuées ont permis de déceler les agents pathogènes provoquant le flétrissement des plants. Il s'agit des acariens (Photo31) (Murphy, 2014) et d'un champignon mycélien. Selon l'observation et la bibliographie, ce champignon appartient au genre oïdium (Michel *et al*). Il est le responsable de l'apparition des taches poudreuses blanches sur les faces supérieures des feuilles provoquant la maladie appelée communément oïdium (photo32). L'acarien envahit le plant et suce la sève brute et provoque en conséquence le flétrissement des plants atteints. Ces agents pathogènes sont apparus à cause de l'état de la serre : mauvaise aération, température très élevée, trou sur le toit de la serre.



Photo31: Acarien

Source : Auteur, 2014

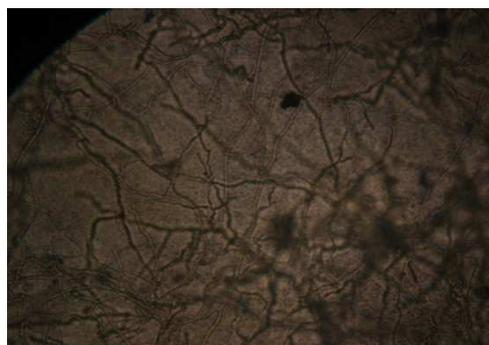


Photo32: *Oidium sp*

Source : Auteur, 2014

III.5. Discussion

Les variétés testées sont de nouvelles variétés en cours d'expérimentation sur de nombreuses maladies en l'occurrence sur le flétrissement bactérien, le TYLCV. Elles sont fournies au FOFIFA par l'AVRDC depuis 2012.

Par ailleurs, les semences gardent leurs critères physiologiques tels que le pouvoir germinatif, la vitesse de germination selon les conditions de stockage. Si ces dernières sont mauvaises, des microorganismes se développent et altèrent la qualité physiologique des semences. En outre, plus la durée de conservation est longue plus le pouvoir germinatif et la vitesse de germination diminuent.

De ce fait, étant donné que les semences ont été stockées assez longtemps dans des conditions non satisfaisantes, il s'avérait nécessaire d'effectuer le test de germination pour pouvoir choisir les semences de meilleures qualités (semences ayant un TG et un TMG assez élevés).

Les résultats du test de germination révèlent que sur les dix variétés testées quatre ont un TG et un TMG élevés. Il s'agit l'AVTO 9802, AVTO 0922, AVTO 0301 et AVTO 1132. Elles sont en conséquence choisies pour réaliser l'expérimentation. Les faibles valeurs TG et

TMG observées chez les autres variétés peuvent s'expliquer par les conditions de stockage et/ou leurs qualités génétiques.

Selon les travaux de RAVELOMBOLA (2014), les *Meloidogyne sp* ont été estimés à 500 pour 100g de sol. Par contre les résultats de cette expérience montrent une augmentation. Pour 50g de sol, ces vers telluriques sont estimés en moyenne à 715 nématodes. Les *Meloidogyne sp* présent dans ces zones sont dynamiques et se multiplient rapidement. Les conditions physicochimiques et la présence permanente de la plante hôte dans ces milieux favorisent leurs multiplications. Plusieurs cycles peuvent se succéder en une année et l'infestation peut alors atteindre 100 à 200000 nématodes par kg de sol, s'étalant sur des profondeurs pouvant être supérieures à 30cm (De Guiran, 1983). De ce fait une lutte prophylactique, génétique et de lutttes respectant l'environnement sont à entreprendre pour freiner la multiplication de nématodes dans les zones où les échantillons sont prélevés.

Les résultats des paramètres étudiés donnent des informations importantes sur la sensibilité des variétés testées vis-à-vis des *Meloidogyne sp*. Il est remarqué que la densité de nématodes de départ a diminué dans chaque pot. De Guiran et Netscher (1970) ont expliqué que si les juvéniles infestants ne trouvent pas de racines pour se nourrir, ou bien s'ils ne peuvent pas pénétrer dans les racines, ils meurent après épuisement de leurs réserves. Raison pour laquelle les nombres de nématodes ont diminué au lieu d'augmenter. Les travaux réalisés par Haut (1999) montrent que la plante peut également émettre des substances répulsives ou toxiques à l'égard des nématodes. Dans le cas de cette recherche, il se peut que les variétés testées secrètent des substances toxiques aux nématodes en réponse des éliciteurs produit par ces phytopathogènes, d'où la diminution des nématodes dans chaque pot.

L'absence des galles dans les systèmes racinaires des variétés testées permet de déduire que ces variétés sont résistantes aux *Meloidogyne sp*. Ces derniers n'ont aucun effet sur les paramètres étudiés en général sur les variétés étudiées. Ces mêmes résultats ont été trouvés par RAVELOMBOLA en 2014.

Néanmoins, les résultats sur les paramètres étudiés révèlent certes que ces variétés sont résistantes aux *Meloidogyne sp*, mais sensibles à d'autres agents phytopathogènes en l'occurrence les acariens et l'*Oidium sp*. Enfin, selon cette constatation, ces variétés ont donc une résistance verticale (résistante à une seule souche de maladie).



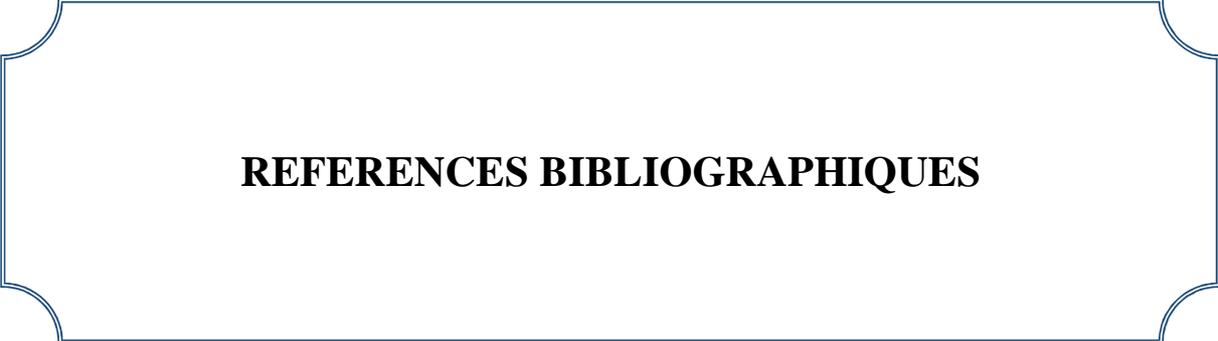
CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les résultats de cette étude révèlent que les quatre variétés fournies par l'AVRDC à savoir l'AVTO 9802, AVTO 0922, AVTO 0301, AVTO 1132 et la variété sauvage locale sont résistantes aux *Meloidogynes sp*, mais sensible aux acariens et à l'*Oïdium sp*. L'étude a permis aussi de mettre en évidence que ces variétés y compris la variété locale ont une résistance verticale.

Par ailleurs cette expérimentation à permis de se familiariser aux techniques nématologiques, d'acquérir et de consolider les connaissances microbiologiques acquise en classe. Elle a permis également de savoir les maladies qui attaquent la culture de la tomate.

Toutefois, cette étude n'est pas exhaustive. Elle nécessite d'effectuer des études complémentaires pour l'améliorer d'avantage. Pour cela, à l'avenir, il serait mieux :

- de faire des essais dans le temps et dans l'espace ;
- d'augmenter les doses d'inoculation pour étudier les comportements de ces variétés face à de fortes doses ;
- d'identifier l'espèce d'acarien et d'oïdium observé durant cette expérience ;
- de déterminer les substances chimiques toxiques aux nématodes secrétées par les plants de tomates pour pouvoir les synthétiser ;
- d'étudier la dynamique des *Meloidogyne sp* dans les zones productrices de tomates.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) Agrobio, 2013, *Fiche Technique*, p1.
- 2) AALDERS L.T, MINCHIN R, HILL R.A., BRAITHWAITE M, BELL N.L, STEWART A, 2009, *Development of a tomato/root knot nematode bioassay to screen beneficial microbes*, New Zealand Plant Protection Society, p29-33.
- 3) ALBERT, TAYLOR L, 1968, *Introduction à la recherche sur les nématodes phytoparasites*, Rome, FAO, p135.
- 4) ANDRE carrier, 2007, *Essais de lutte aux nématodes*, Agriculture Pêche et Alimentation Québec, p21.
- 5) BEMENA Léo Duick, 2012, *Phytopathologie de la tomate : Vérification par la méthode du postulat de Koch*. Mémoire pour l'obtention de Diplôme d'Etudes Approfondies (D.E.A) de Biochimie. Université d'Antananarivo, p6-7
- 6) Bertrand C, 2011, *Lutter contre les nématodes à galles en Agriculture Biologique*, GRAB, p4.
- 7) CAROLINE Djian caporalino, ALAIN Arrufat et HELENE Védie, 2009, *De nouvelles pistes pour gérer les nématodes à galle*, GRAB : maraichage bio info, n°61, juillet à septembre p6.
- 8) CAROLINE Djian Caporalino, INRA PACA, équipe IPN, 2013, *Session 5: Durabilité de l'efficacité des solutions techniques au regard de l'évolution des bioagresseurs : sélection, émergences, invasion : Evaluation expérimentale de stratégies de déploiement de gènes de résistance pour la gestion durable des nématodes à galles*, p20.
- 9) CASTAGNONE-SERENO P, CAROLINE Djian-Caporalino, 2011, *Lutte contre les nématodes à galles en cultures maraîchères : des recherches pour promouvoir la durabilité des résistances variétales*, innovation agronomique 15, p55-64.
- 10) COME, D.1970. *Les obstacles à la germination*. Masson et Cie. p162.
- 11) CELETTI M.J, POTTER J, 2006. *Fiche technique : Échantillonnage du sol et des racines visant le dénombrement des nématodes phytoparasites*, imprimeur de la Reine pour l'Ontario.
- 12) CHAUX C et FOURY C, 1994, *Productions légumières, tome 3 : légumineuses potagères, légumes fruits*, Paris, p 125-153.
- 13) CHABERT A, BRUN F, BUISSON A, RUCK L, CHAMPEIL A, THIBORD J.B, TAUPIN P, FOURNET S, 2012, *Effets des systèmes de production sur les populations de nématodes nuisibles aux grandes cultures : recherche de méthodes pratiques de diagnostic et de gestion des risques*, Innovations Agronomiques 25, p205-217.

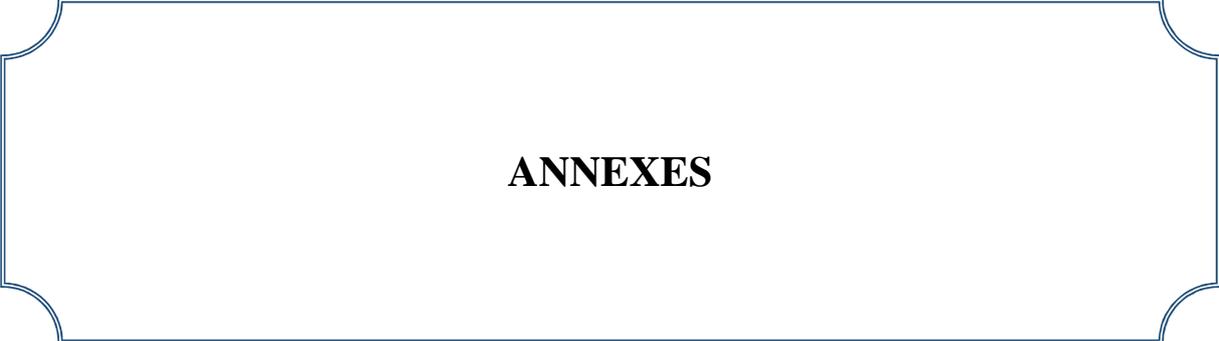
- 14) CHARLES Marie, 1989, *Le potagère tropical*, Messiaen INRA France, p.
- 15) COYNE D.L. et ROSS J.L., 2014. *Protocol for Nematode Resistance Screening Root-Knot Nematodes Meloidogyne spp*, Ibandan, Nigeria, International Institute of Tropical Agriculture (IITA), p27.
- 16) COYNE D.L., Nicol J.M. et CLAUDIUS-COLE B., 2010, *Les nématodes des plantes: Un guide pratique des techniques de terrain et de laboratoire*, Cotonou, Benin, Secrétariat SP-IPM, Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA), p82.
- 17) CAYROL J.C, CAROLINE Djian Caporalino, ELISABETH Panchaud-Mattei, *Courrier de la Cellule Environnement de l'INRA ° 17 : La lutte biologique contre les Nématodes phytoparasites*, INRA, p31-42.
- 18) C.PROT J, *Introduction aux nématodes phytoparasites les nématodes parasites des cultures maraîchères*, Dakar, United States Agency for International Development, p5-28.
- 19) DEMEURE Yves, NETSCHER Caspar et QUÉNÉHERVÉ Patrick, 1980, *Revue Nématol. 3 (2): Biology of the plant-parasitic nematode Scutellonema cavenessi Sher, 1964: reproduction, developement and life cycle*, Dakar, Sénégal, ORSTOM, p213-225.
- 20) De GUIRAN G, 1983. *Nématodes, les ennemis invisibles*. La Littorale S.A. (Ed.), France, p41.
- 21) De GUIRAN, G.et NETSCHER C, 1970. *Les nématodes du genre Meloidogyne, parasites de Cultures tropicales*. Cah.ORSTOM, Sér.Biol,p151-185.
- 22) DUVAL Jean, 1991, *Projet pour une agriculture écologique : Les nématodes de la tomate*, McGill University.
- 23) HUAT Catherine, Novembre 1999, *étude de la sensibilité de la patate douce (ipomoea batatas) aux nématodes phytoparasites du genre meloidogyne au Sénégal*, IRD, p18.
- 24) INRA PACA, Pole Santé des Plantes, Caroline djian caporalino, 2011, *Les 6^{ème} rencontres du végétal : session semences et plants : Innovation Variétale et Environnement : Stratégies de déploiement spatio-temporel de gènes de résistance aux nématodes à galles chez le piment pour une gestion durable des résistances*, Agrocampus Ouest centre d'Anger, p7.
- 25) JAITEH F, KWOSEH C, AKROMAH R., 2012, *African Crop Science Journal, Vol. 20: Evaluation of tomato genotypes for resistance to root-knot nematodes*, African Crop Science Society, p42-49.
- 26) JOEP VAN Lidth de Jeude, 2004, *Identification des dégâts causés aux cultures par les maladies, les animaux nuisibles et les carences minérales*, Pays-Bas, Fondation Agromisa, Wageningen, p 43-46.

- 27) LATERROT H, 2013, *production et donnée économique de la tomate*, INRA, p1.
- 28) LEBEAU Aurore, 2010, *Resistance de la tomate, l'aubergine et le piment à Ralstonia solanacearum : interactions entre les géniteurs de résistance et la diversité bactérienne, caractérisation et cartographie des facteurs génétiques impliqués chez l'aubergine*, Agricultural sciences. Université de la Réunion, p13-14.
- 29) LUC Michel, 1959, *office de la recherche scientifique et technique outre-mer, institut de recherches agronomiques de Madagascar bulletin N°3 : Nématodes parasites ou soupçonnés de parasitisme envers les plantes de Madagascar*, p89-101.
- 30) MIKANOWSKI L, MIKANOWSKI P et GUILLEMIN JL, 1999, *Tomate*, Le Chêne, Paris, p 191.
- 31) MAEP, FAO, 2004, *Fiches techniques de base destinées aux techniciens agricoles : Tomates*, p4.
- 32) MAEP, 2004, *Fiche n° 105 : Filière Fruits et Légumes*, p16.
- 33) MAMOUDOU Traore, FRANÇOIS Lompo, BOUMA Thio, BADIORI Ouattara, KORODJOUMA Ouattara et MICHEL Sedogo, 2014, *International Journal of biologie and Chimical Science* 8(3): *Etude des nématodes phytoparasites du sol et des racines sous quatre niveaux de fertilisation minérale en culture de niébé* International Formulae Group, p891-902.
- 34) MIA Defrancq et LATERROT H, 1985, *Une amélioration génétique de la tomate pour le Sénégal et pour d'autres pays tropicaux*, tropicultura, p54-57.
- 35) MICHEL V, GILLI C, JERMINI M et HELLER W, *La lutte contre l'oïdium de la tomate : Fiche technique*, Agroscope Changins-Wädenswil ACW, p3.
- 36) MURPHY G, FERGUSON G et SHIPP L, 2014, *Les acariens des cultures de serre : description, biologie et éradication*, imprimerie de la Reine pour l'Ontario, Toronto Canada, p8.
- 37) *Mémento de l'agronome*, 2003, p7.
- 38) NETSCHER C, 1970, *Les nématodes parasites des cultures maraichères au Sénégal*, Abidjan, ORSTOM, p210-229.
- 39) PERALTA I et SPOONE D, 2002, *History, Origin and Early Cultivation of Tomato (Solanaceae)*, USDA, p 32-37.
- 40) RECKAUS, 2002, *Les maladies et ravageurs des cultures maraichères à Madagascar*.
- 41) RAZAFINDRAMAMBA Rasolofa et RALIASON, 1976, *Les maladies des plantes cultivées à Madagascar*, CENDRADERU-FOFIFA, p179.

- 42) RAVELOMBOLA Second Waltran, *Analyse des problèmes phytosanitaires de la culture de tomates dans la périphérie d'Antananarivo et résolution par criblage variétale*. Mémoire pour l'obtention de Diplôme d'Ingénieur Agronome. Université d'Antananarivo, 2014. p74.
- 43) SHANKARA Naika, JOEP VAN Lidt de Jeude, MARJA de Goffau, MARTIN Hilmi, BARBARA van Dam, 2005, *La culture des tomates : production, transformation et commercialisation* ,Pays Bas, Fondation Agromisa et CTA, Wageningen, p6-12, p43 et p64.
- 44) SASSER J.N., HARTMEN, K.M. et FRECKMAN, D.W., 1987. *Summary of Preliminary Crop Germplasm Evaluation for Resistance to Root-Knot Nematodes*, Raleigh, NC: North Carolina State University and US Agency for International Development p.1–88.

Webo-graphie

- 1) <http://www.bonplant.fr/accueil.html> consulté le 10/11/14
- 2) <http://agroconsult.forumactif.info/t72-generalite-sur-la-tomate> consulté le 10/11/14
- 3) <http://www.planetoscope.com/> consulté le 10/11/14
- 4) <http://ephytia.inra.fr/fr/C/4945/Tomate-Production-et-donnees-economiques-de-la-tomate> consulté le 10/11/14
- 5) <http://www.nematodes.be/fr/definition/definition-meloidogyne/> consulté le 10/11/14



ANNEXES

Annexe I : Généralités sur la tomate

1) Classification de la tomate

Il existe entre 13 000 et 14 000 variétés de tomates dans le monde, mais environ 500 sont cultivées de façon industrielle, parfois biologiquement, pour une production de 120 millions de tonnes chaque année, soit 4 000 kg de tomates produites chaque seconde.

a) Classification

➤ Classification selon le type de croissance végétale et la qualité génétique

✓ Selon le type de croissance végétale

Il existe deux groupes de variétés à savoir variétés à croissance déterminée et indéterminée (Benamara, 1982). Selon Shankara 2005, les variétés à croissance déterminée sont celles dont le développement cesse après la floraison. Ces variétés ne nécessitent ni ébourgeonnage ni tuteurage. En revanche, les variétés à croissance indéterminées sont celles dont la végétation et la production se poursuivent après la floraison. La croissance est arrêtée par un pincement au bourgeon terminal à la hauteur souhaitée (Laumonier, 1979).

✓ Selon la qualité génétique

La tomate est une espèce diploïde ($2n=24$). Concernant la classification selon la qualité génétique, il s'agit ici des variétés hybrides et fixes. Les variétés hybrides sont celles qui possèdent plusieurs caractères d'intérêt à cause de l'effet hétérosis en l'occurrence les hybrides F1. Les variétés fixes sont celles qui transmettent leurs caractéristiques génotypiques aux générations descendantes.

➤ Classification selon les critères extérieurs des fruits

La tomate peut être classée en quatre groupes en tenant compte des caractères extérieurs du fruit :

✓ variétés à gros fruits ronds

Elles donnent de gros fruits ronds, plus ou moins aplatis, lisses, dont les poids varient de 150 à 300 g.

✓ variétés à fruits moyens et plats

Elles donnent des fruits dont le poids varie de 90 à 150 grammes, aplatis, plus ou moins côtelés.

✓ variétés à petits fruits ronds

Elles donnent de petits fruits pesants de 30 à 90 g, ronds et lisses.

✓ variétés à fruits allongés

Elles donnent des fruits allongés dont le poids varie de 45 à 60g.

b) classification selon Linné

La tomate appartient à la famille de solanacée. Elle est classée par Linné en 1753 dans le genre *Solanum*, avec comme nom binomial *Solanum lycopersicum*. Selon Linné, la taxonomie de la tomate se présente ainsi :

Règne : PLANTAE
Sous-règne : TRACHEOBIONTA
Division : MAGNIOLIOPHYTA
Classe : MAGNOLIOPSIDA
Sous-classe : ASTERIDAE
Ordre : SOLANALES
Famille : SOLANACEAE
Genre : *Solanum*
Espèces : *lycopersicum*

Le botaniste français Joseph Pitton de Tournefort avait placé la tomate cultivée à gros fruits dans le genre *Lycopersicon* [Peralta, 2006]. En 1768, Philip Miller, considérant que la tomate différait substantiellement des autres espèces du genre *Solanum*, telles la pomme de terre et l'aubergine, il la reclassa dans ce genre et la renomma *Lycopersicon esculentum*. Ce nom, qui eut un succès notable, ne respectait pas une règle de la nomenclature botanique qui veut que lorsqu'on déplace une espèce dans un nouveau genre, l'épithète spécifique (*Lycopersicum*) doit être conservée : Karst corrigea l'erreur en 1882 et publia le nom formellement correct, *Lycopersicon lycopersicum*.

Avec les techniques modernes de biologie moléculaire ont permis d'établir des arbres phylogénétiques plus précis. Ceux-ci ont montré que la tomate devait être rattachée au genre *Solanum*, dans le même clade que la pomme de terre (*Solanum tuberosum*) [Mikanowski et al, 1999], donnant ainsi raison à Linné.

2) Cycle de développement de la tomate

Le cycle de développement de la tomate se déroule en cinq étapes :

➤ Phase de germination

A température ambiante comprise entre 18 et 24° la levée s'effectue au bout de 6 à 8 jours. Au-dessus du sol apparaissent la tigelle et deux feuilles cotylédonaires simples et opposées. Dans le sol, la radicule possède un manchon de poils absorbants bien visible.

➤ Phase de croissance

La radicule s'allonge et prend l'aspect d'un filament blanchâtre sur lequel apparaissent des racines secondaires. Les 2 premières vraies feuilles découpées apparaissent vers le 11ème jour. Elles ne sont bien développées que vers le 20ème jour. Au bout de 1 mois environ, il y a 3 à 4 paires de feuilles découpées. Le jeune plant a 15 à 20 cm de hauteur en moyenne et c'est le moment de la repiquer, directement en place.

➤ Phase de floraison

La croissance continue. Deux et demi environ après le semis, la première inflorescence apparait. Les autres inflorescences vont apparaitre au-dessus de la première avec, entre chaque inflorescence, un nombre variable de feuilles : d'une à quatre. La floraison s'échelonne donc de bas en haut. La floraison dure 1 mois à 1 mois et demi, c'est-à-dire de deux mois et demi à trois et demi - quatre mois après le semis.

➤ Fécondation

Quand les étamines arrivent à maturité, le pollen est libéré (pollinisation directe sous l'effet de leur présence sur le stigmate) germe, et fécondé l'ovule ; la fécondation elle se traduit par l'apparition de petits fruits verts.

➤ Phase de fructification/maturation

Elle débute durant la phase de floraison. Elle commence par la nouaison des fruits de l'inflorescence de base et se poursuit par les inflorescences supérieures au fur et à mesure de l'apparition des inflorescences et de la fécondation des fleurs. Les fleurs se développent, grossissent et après avoir atteint leur taille définitive, ils commencent par perdre leur coloration verte au profit du jaune puis au rouge de plus en plus accentué. Cette phase dure environ deux mois, soit de quatre à six mois après le semis.

3) Les températures requises pour les différentes phases de développement d'un pied de tomate

Phases	Température (° C)		
	Min.	Intervalle optimale	Max.
Germination des graines	11	16-29	34
Croissance des semis	18	21-24	32
Mise à fruits	18	20-24	30
Développement de la couleur rouge	10	20-24	30

La température affecte la germination des graines, la croissance des semis, la floraison, la mise à fruits ainsi que la qualité des fruits. Lorsque des périodes de froid ou de chaleur perdurent pendant la floraison, la production de pollen sera réduite. Ceci affectera la formation des fruits. Le gel tue les pieds de tomate.

4) Les principaux ennemis de la culture de tomates

- des ravageurs : pucerons, aleurodes, mineuses, noctuelle de la tomate, doryphore, nématodes ;
- des maladies cryptogamiques : fonte des semis, anthracnose, alternariose, cladosporiose, pied noir de la tomate, mildiou de la tomate, pourriture grise, fusariose de la tomate, septoriose ;
- des maladies bactériennes : chancre bactérien ;
- des maladies virales : bronze de la tomate, mosaïque du tabac, maladie filiforme.

5) Principaux pays producteurs de tomates en 2006

Production mondiale : 123,7 millions de tonnes	
Pays producteurs	En millions de tonnes
Chine	32,5
Etats-Unis	11,3
Turquie	9,9
Inde	8,6
Egypte	7,6
Italie	6,4
Iran	4,8
Espagne	3,7
Brésil	3,3
Mexique	2,9
Russie	2,4
Grèce	1,7
Ouzbékistan	1,6
Ukraine	1,5
Maroc	1,2
Chili	1,2
France	0,74

(FAO, 2007)

Annexe II : Généralité sur les nématodes

1) Les types de nématodes phytoparasites

Les nématodes phytoparasites peuvent être séparés en deux groupes, les nématodes des parties aériennes ceux qui s'alimentent sur les parties aériennes des plantes et les nématodes des parties racinaires ceux qui s'alimentent sur les racines et tubercules souterrains (D.L. Coyne et al, 2010). Ils peuvent également être regroupés selon leur comportement alimentaire et leur mobilité en trois groupes principaux:

- ✓ endoparasites migrateurs : des nématodes mobiles qui s'alimentent à l'intérieur des tissus racinaires des plantes ;
- ✓ endoparasites sédentaires : des nématodes qui, arrivés sur un site nourricier, cessent d'être mobiles et s'alimentent sur ce site nourricier ;
- ✓ ectoparasites : des nématodes qui s'alimentent à la surface des tissus racinaires des plantes.

2) Différent forme de nématodes pytoparasites

Généralement les nématodes pytoparasites sont effilée de la tête et à la queue. Chez ces parasites, il existe une très grande variabilité de formes et de tailles. Chez quelques espèces, les femelles perdent leur forme effilée au fur et à mesure de leur croissance, jusqu'à devenir des femelles adultes élargies, en forme de poire, de citron, de rein ou sphérique.



Pratylenchus (filiforme) [JB]



Helicotylenchus (filiforme/spiralé) [GG]



Discocriconemella (fuseau épais)



Nacobbus (arrondie/fuseau) [JB]



Achlysiella (fuseau épais) [JB]



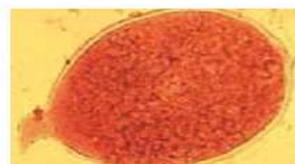
Tylenchulus (en forme de poire) [JB]



Rotylenchulus (réniforme) [JB]



Heterodera (forme de citron)



Meloidogyne (forme de gourde sphérique) [JB]



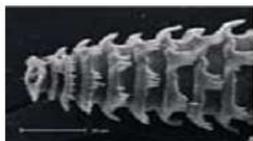
Scutellonema (filiforme/forme-C) [GG]



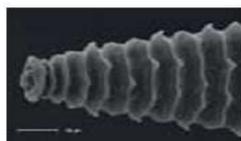
Criconematid (annelé)



Hirschmanniella (filiforme/long) [JB]



Ogma : structure de surface (frangé/ornementé) [EvB]



Tylenchulus apparence physique à l'extérieur de la racine (forme de poire) [EvB]

Source : D.L. Coyne, 2010

3) Les méthodes d'extractions de nématodes

Le choix de la méthode d'extraction dépend des conditions techniques et matérielles disponibles, du type d'échantillon et des espèces de nématodes présents.

➤ Méthode de Baermann

○ Pour échantillon du sol



2. Mesure standardisée



4. Placer le sol sur le filtre de cellulose en s'assurant que le sol ne déborde pas en dehors du filtre.



5. Verser l'eau avec précaution dans la soucoupe, uniquement dans l'espace compris entre le tamis et la soucoupe.



6. Conserver les échantillons en extraction pendant 2 jours en vérifiant que les échantillons soient toujours humides et ne séchent pas avec l'évaporation.



7. Egoutter le tamis avec précaution, le retirer de la soucoupe et jeter sol et filtre.



8. Verser la suspension contenant les nématodes dans un béccher/tasse étiqueté.



9. Rincer abondamment la soucoupe dans le béccher.



10. Laisser les échantillons reposer quelques heures ou une nuit.



11. Réduire le volume de la suspension par décantation ou en passant cette suspension sur un tamis à petites mailles (i.e. 28 µm) afin de la concentrer dans un béccher avant l'observation des nématodes.



12. L'échantillon peut être conservé dans un tube pour une observation ultérieure.



13. Si l'échantillon doit être expédié pour analyse, les nématodes, après décantation, doivent être transférés depuis le fond du large tube vers un tube plus petit à l'aide d'une pipette.

○ Pour les racines



1. Coupez les racines et/ou les pelures de tubercules et placez-les dans un récipient étiqueté.



2. Pesez un sous échantillon (aliquote).



3. Placez ce sous échantillon sur le tamis pour extraction.

➤ Méthode par broyage de racines



3. Pesez un sous échantillon (aliquote).



4. Broyez les racines/pelures à l'aide d'un mixer.



5. Versez la suspension dans un b cher étiqueté, rincez le bol du mixer.



6. Versez cette suspension délicatement sur le filtre de cellulose placé sur le tamis comme pour la méthode d'extraction de Baermann.

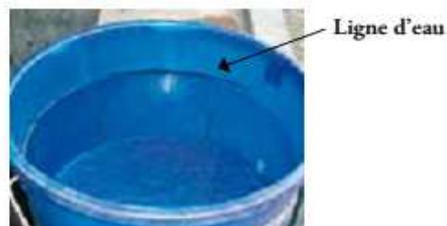
➤ Méthode par tamisage



1. Mesurez un volume précis d'eau dans un bécher, e.g. 200 ml.



2. Mesurez le volume des agrégats de sol provenant de chaque partie de l'échantillon par le volume d'eau déplacé.



3. Remplir du volume d'eau défini par la marque à l'intérieur du seau.



4. Versez le volume d'échantillon de sol préalablement mesuré dans le seau.



5. Mélangez vigoureusement.



6. Laissez le sol décanter pendant 30 secondes.

7. Versez les $\frac{3}{4}$ de la suspension à travers la colonne de tamis (de 90 et 38 μm) avec le tamis de 90 μm au dessus.



8. Remplir de nouveau le seau et répétez les étapes 5, 6 et 7.



9. Concentrez les suspensions sur le tamis en rinçant **délicatement** le tamis avec un jet d'eau, principalement sur l'arrière.



10. S'assurez que les tamis soient proprement lavés par l'arrière et que tous les débris et les nématodes soient bien concentrés sur la partie basse de la surface du tamis.



11. Rincez délicatement les débris et les nématodes des tamis de 90 et 38 μm à l'intérieur d'un bécher étiqueté.

➤ Méthode par incubation



1. Couper les racines et peser un sous échantillon.



2. Placer l'échantillon de racines pesées dans un bocal, une fiole conique ou un sachet en plastique pour une période de 2-7 jours. Prendre soin de ne pas fermer hermétiquement le récipient.



3. Chaque jour, agitez le récipient et versez délicatement la suspension dans un bécher, en laissant le matériel végétal dans le récipient.



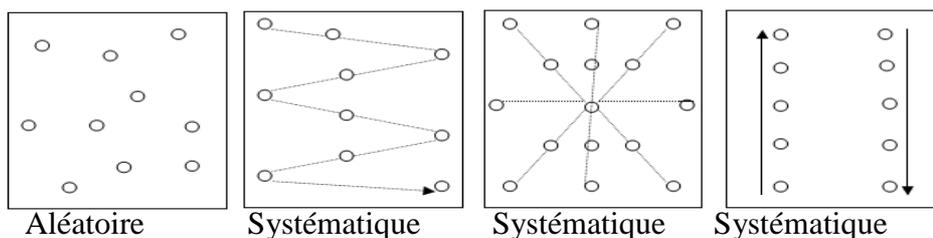
4. Remplacez le volume récupéré par de l'eau fraîche.



5. Concentrez le volume de la suspension après décantation ou en passant cette suspension sur un tamis à petites mailles (i.e. 28 μm) dans un bécher avant l'observation des nématodes. Puis suivez la figure 26, étapes 12 et 13.

4) Les schémas d'échantillonnages de nématodes

Les nématodes sont rarement distribués de manière régulière dans un champ, en conséquence l'échantillonnage doit s'effectuer en plusieurs parties du champ. La période optimale d'échantillonnage varie selon les plantes cultivées et est fonction des stades de développement de la plante et des objectifs de l'échantillonnage (diagnostic ou prévisionnel).



6) Table d'indexation pour les nématodes à galles



0 – Pas de galle sur les racines.



1 – Quelques galles, difficiles à voir.



2 – Quelques galles, bien visibles, racines principales saines.



3 – Quelques grosses galles, bien visibles, racines principales saines.



4 – La présence de grosses galles prédomine mais les racines principales restent saines.



5 – 50% des racines sont affectées. Quelques galles sur les racines principales. Réduction du système racinaire.



6 – Galles sur les racines principales.



7 – Majorité des racines principales avec des galles.



8 – Toutes les racines avec des galles, y compris la racine pivot, peu de racines saines visibles.



9 – Toutes les racines sévèrement gallées, généralement la plante meure.



10 – Toutes les racines sévèrement gallées, plus de système racinaire, généralement plante morte.

7) Classification de nématode

Classe: Secementea

Sous-classe: Tylenchia

Ordre: Tylenchida

Sous-ordre: Tylenchina

Famille: Heteroderidae

Sous-famille: Meloidogyninae

Résumé

De nombreux bioagresseurs plus particulièrement les nématodes du genre *Meloidogyne* attaquent la culture de la tomate. Cette culture est économiquement très importante en raison de son fruit qui est le plus consommé au monde.

Par ailleurs, les *Meloidogyne sp* anéantissent la récolte et provoquent une perte économique soit nationale et/ou mondiale.

En effet, cette étude a pour objectif d'étudier la sensibilité des variétés de tomates nouvellement créées par l'AVRDC aux *Meloidogynes* afin de les vulgariser plus tard.

Pour ce faire, un test de germination a été effectué en premier lieu pour pouvoir choisir les semences de meilleures qualités. En second lieu, une extraction et une identification de nématodes du genre *Meloidogyne* ont été réalisées. En dernier lieu, des inoculations au niveau du collet de chaque plant ont été effectuées pour étudier la sensibilité des variétés choisies vis-à-vis des *Meloidogynes*. Deux doses d'inoculation ont été appliquées à savoir 100g et 50g de sol infestés par des *Meloidogynes*.

Les résultats obtenus révèlent que les variétés choisies pour cette expérimentation à savoir AVTO 9802, AVTO 0922, AVTO 0301, AVTO 1132 et la variété sauvage locale choisie comme référence sont toutes résistantes à ces phytoparasites et possèdent une résistance verticale. Elles sont sensibles à l'*Oïdium sp* et aux acariens.

Mots-clés

Bioagresseurs, doses, extraction, germination, identification, inoculation, *Meloidogyne sp*, phytoparasites, sensibilité, tomate, verticale

Abstract

Many Biological Invaders especially nematodes *Meloidogyne* kind rampant culture of tomato. This culture is economically very important because of its fruit that is most consumed in the world. Despite this importance, *Meloidogyne* spp destroy the crop and cause economic impact either national or global.

Indeed, this study aims to investigate the sensitivity of newly created varieties of tomatoes by AVRDC to *Meloidogynes* in order to popularize them later.

To do this, a germination test was performed firstly in order to choose the best seed quality. Secondly, extraction and nematodes of the genus *Meloidogyne* identification were performed. Finally, inoculations levels of the collar of each plant were carried out to investigate the sensitivity of the varieties selected in comparison to the *Meloidogynes*. Two doses were applied namely 100g and 50g of soil infested with *Meloidogynes*. The results reveal that the varieties chosen for this experiment namely AVTO 9802, AVTO 0922, AVTO 0301, AVTO 1132 and the local wild variety opted as reference are resistant to these plant pests and have a vertical resistance. They are susceptible to *powdery mildew sp* and mites.

Keywords

Pests, doses, mining, germination, identification, inoculation, *Meloidogyne sp*, plant pests, sensitivity, tomato, vertical