

BURKINA FASO

Unité-Progress-Justice

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR, DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET DE L'INNOVATION (MESRSI)**

.....

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO (UPB)

.....

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL (IDR)



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

En vue de l'obtention du

DIPLÔME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

Option: Agronomie

THEME:

Etude de l'efficacité des films plastiques, de la fumure organique et de l'hydroxyde de cuivre (65,60%) contre le flétrissement bactérien de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. 1754) et leurs effets sur les microorganismes du sol dans la zone Ouest du Burkina Faso.

Présenté par HEMA Sabiriba Alain

Directeur de mémoire: Dr Schémaéza BONZI

Maître de stage: Dr Georges KAMBOU

N°:- 2016/Agro

Juin 2016

Table des matières	Pages
DEDICACE	iv
REMERCIEMENTS	v
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES PHOTOGRAPHIES	viii
SIGLES ET ABREVIATIONS	ix
RESUMEÉ	x
AbSTRACT	xi
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : Généralités sur la tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. 1754)	6
I.1. Historique de la tomate	6
I.2. Production de la tomate dans le monde et au Burkina Faso	6
I.3. Importance de la tomate	7
I.4. Classification de la tomate.....	8
I.4.1. Classification botanique	8
I.4.2. Classification génétique	9
I.5. Description botanique de la plante de la tomate	9
I.6. Cycle biologique de la tomate	10
I.7. Exigences écologiques et climatiques de la tomate	10
I.8. Maladies et ravageurs de la tomate	11
I.8.1. Principales maladies de la tomate	11
I.8.1.1. Maladies cryptogamiques.....	11
I.8.1.2. Maladies physiologiques	11
I.8.1.3. Maladies virales	12
I.8.1.4. Maladies bactériennes de la tomate.....	12
I.8.2. Principaux ravageurs de la tomate	13
CHAPITRE II: <i>Ralstonia solanacearum</i>, agent du flétrissement bactérien	14
II.1. Classification	14
II.2. Origine et répartition géographique de <i>Ralstonia solanacearum</i>	14
II.3. Plantes hôtes	15

II.3.1.	Plantes hôtes sensibles	15
II.3.2.	Plantes hôtes tolérants	15
II.4.	Cycle épidémiologique de l'agent pathogène	15
II.5.	Flétrissement bactérien de la tomate	17
II.6.	Stratégies de lutte	19
II.6.1.	Lutte biologique	19
II.6.2.	Lutte basée sur l'utilisation des plantes de services	19
II.6.3.	Lutte culturale	20
II.6.4.	Lutte génétique	20
CHAPITRE III : Matériels et Méthodes		22
III.1.	COLLECTE DE DONNEES SUR LE TERRAIN	22
III.1.1.	Matériels	22
III.1.1.1.	Choix et localisation géographique du site d'étude	22
III.1.1.2.	Sol	24
III.1.1.3.	Matériel végétal	24
III.1.2.	Méthodes	24
III.1.2.1.	Mise en place et suivi de la pépinière	24
III.1.2.2.	Mise en place de l'essai	24
III.1.2.2.1.	Dispositif expérimental adopté	24
III.1.2.2.2.	Le repiquage	26
III.1.2.2.3.	Entretien de la parcelle expérimentale	26
III.1.2.2.4.	Préparation et utilisation du produit chimique (IDEFIX)	26
III.1.3.	Suivi de l'évolution du flétrissement bactérien au champ	27
III.1.3.1.	Technique d'échantillonnage	27
III.1.3.2.	Evaluation de la sévérité d'attaque de la maladie au champ	27
III.1.3.3.	Evaluation du taux de développement de la maladie	28
III.1.4.	Test du verre d'eau	28
III.1.5.	Tests biochimiques	29
III.1.5.1.	Réaction de GRAM (ou test de solubilité dans KOH)	29
III.1.5.2.	Test d'oxydase de Kovac's	29
III.1.6.	Analyses statistiques	29
III.2.	TRAVAUX DE LABORATOIRE	29
III.2.1.	Matériels biologiques	30
III.2.2.	Préparation des différents milieux de cultures spécifiques	30
III.2.3.	Ensemencement des milieux de culture	30
III.2.4.	Evaluation du nombre de microorganismes	31
CHAPITRE IV: RESULTATS ET DISCUSSION		33

IV.1.	RESULTATS.....	33
IV.1.1.	Effets des différentes méthodes de lutte sur la dynamique de <i>Ralstonia solanacearum</i> dans le sol.....	33
IV.1.2.	Effets des différentes méthodes de lutte sur le nombre de plantes de tomate attaquées	1
IV.1.3.	Effets des différentes méthodes de lutte sur la sévérité d'attaque de la bactériose	39
IV.1.4.	Effets des différentes méthodes de lutte sur le taux de développement de la maladie	43
IV.1.5.	Effets des différentes méthodes de lutte sur la dynamique des bactéries cellulolytiques	46
IV.1.6.	Effets des différentes méthodes de lutte sur les champignons microscopiques du sol	49
IV.1.7.	Effets des différentes méthodes de lutte sur la dynamique des bactéries ammonifiantes du sol	51
IV.1.8.	Effets des différentes méthodes de lutte sur les bactéries nitrifiantes	53
IV.1.9.	Effets des différentes méthodes de lutte sur les composantes du rendement et sur le rendement.....	55
IV.1.10.	Corrélations entre les différents facteurs étudiés	57
IV.2.	DISCUSSION.....	60
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....		64

ANNEXES

DEDICACE

Le présent travail est dédié à:

- ☛ *Ma mère ZERBO Françoise qui a été rappelée à DIEU au moment où je faisais mes premiers pas à l'Université, que la miséricorde de Dieu soit sur elle. Repose en Paix maman*

- ☛ *A mon père HEMA Achille qui a consenti tant d'effort de soutien et de prière pour ma réussite scolaire et académique.*

- ☛ *Monsieur SOMA Fongonssi et monsieur KABORE Adama pour leur accueil, leur soutien moral et financier*

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce travail a été possible grâce à la contribution de nombreuses bonnes volontés qui n'ont ménagé aucun effort pour notre accompagnement. Nous tenons à leur exprimer notre profonde gratitude. Nous remercions en particulier :

-la Direction de l'**IDR** et l'ensemble du **corps enseignant** qui déploient de grands efforts pour nous procurer une formation de qualité ;

-la Direction de l'**INERA** pour nous avoir accepté dans la structure et nous avoir accordé un accueil durant notre stage ;

-le **Dr Georges KAMBOU** chercheur au Programme Cultures Maraîchères, Fruitières et Plantes à Tubercules(CMFPT), notre maître de stage pour la confiance accordée à notre personne, en nous confiant ce travail, sa disponibilité, son encadrement scientifique malgré ses multiples occupations. Son amour pour le travail bien fait nous a permis de bénéficier de son expérience et les efforts formulés pour la mise à notre disposition du matériel de travail ;

-le **Dr Schémaéza BONZI**, enseignant chercheur à l'**IDR**, pour les critiques et les suggestions enrichissantes apportées au présent document ;

-le **Pr Aboubacar TOGUYENI** pour ses multiples conseils d'orientations, son soutien moral et financier pendant tout mon cursus académique ;

-le Doctorant **Aboubacar OUATTARA**, pour avoir assuré notre encadrement rapproché, sa franche collaboration, et sa modeste sympathie ;

-les techniciens de la section Eco-toxicologie du programme **CMFPT**, **M. Romain YARO**, **M. Arsène KAMBIRE**, **M. Abdoulaye OUEDRAOGO**, **M. Yvon OUATTARA** pour leur accompagnement technique et à tout le personnel du programme **CMFPT** pour la considération et l'ambiance vécu au sein de ce programme ;

-les promotionnaires avec qui nous avons reçu de nombreuses connaissances pratiques et théoriques ;

-mon cousin **ZERBO Jean Ismaël** pour son soutien et son accompagnement ;

-**tous ceux ou toutes celles** dont les noms n'ont pas été cités, qu'ils reçoivent l'expression de notre profonde reconnaissance. Que **Dieu** récompense chacun aux centuples de ses bienfaits!!!

LISTES DES FIGURES

Pages

Figure1 : Carte de la commune rurale de Bama.....	22
Figure2 : Répartition mensuelle de la pluviométrie de Bama en 2015 (DRARHASA/ Hauts-Bassins, 2015).....	23
Figure3 : Corrélation entre le rendement et le niveau de développement du flétrissement bactérien au 63 ^{ième} jour après traitement.....	59
Figure 4 : Corrélation entre le rendement et le niveau de développement du flétrissement bactérien au 70 ^{ième} jour après traitement.....	59
Figure 5 : Corrélation entre le nombre de tomate et le rendement de la tomate	60

LISTE DES TABLEAUX

Pages

Tableau I : Effets des différentes méthodes de lutte sur la dynamique d'évolution de <i>Ralstonia solanacearum</i>	36
Tableau II : Effets des différentes méthodes de lutte sur le nombre de plants attaqués... ..	38
Tableau III : Effets des différentes méthodes de lutte sur la sévérité d'attaque.....	41
Tableau IV : Effets des différentes méthodes de lutte sur le niveau de développement du flétrissement bactérien.....	45
Tableau V : Effets des différentes méthodes de lutte sur les bactéries cellulolytiques... ..	48
Tableau VI : Effets des différentes méthodes de lutte sur les champignons microscopiques..	50
Tableau VII : Effets des différentes méthodes de lutte sur les bactéries ammonifiantes....	53
Tableau VIII : Effets des différentes méthodes de lutte sur les bactéries nitrifiantes.....	55
Tableau IX : Effets des différentes méthodes de lutte sur les composantes du rendement et sur le rendement.....	57

LISTE DES PHOTOGRAPHIES	Pages
Photographie 1 : Solarisation toile noire	25
Photographie 2 : Solarisation toile blanche.....	26
Photographie 3 : Test de verre d'eau.....	29

SIGLES ET ABREVIATIONS

AAA : Ammoniaque Amidon Agar

CMFPT: Cultures Maraichères, Fruitières et Plantes à Tubercules

CV: Coefficient de Variation

DDL: Degré De Liberté

DRARHASA: Direction Régionale de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques, de l'Assainissement et de la Sécurité Alimentaire

ETM: Ecart Type Moyen

ETR: Ecart Type Résiduel

FAO: Food and Agriculture Organization

G R N / SP : Gestion des Ressources Naturelles / Système de Production

G : Milieu Getchinson

IDR: Institut du Développement Rural

INERA: Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles

JAT: Jour Après Traitement

M A H R H : Ministère de l'Agriculture de l'hydraulique et des Ressources Halieutiques

MPA : Meat-Pepton-Agar

NPK: Azote, Phosphore, Potassium

P V : Protection des Végétaux

P : Probabilité

SMSA : Semiselective Medium Agar

TD : Milieu Czapek-Dox.

Résumé

Au Burkina Faso, la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. 1754) reste aujourd'hui la deuxième spéculature maraîchère la plus produite après l'oignon. La baisse de sa production s'explique en grande partie par la pression des agents phytopathogènes parmi lesquels *Ralstonia solanacearum*. Cette bactérie est capable d'engendrer des pertes de rendement de plus de 90% en plein champ. Le présent travail s'inscrit dans une optique globale d'accroître la production de la tomate par une réduction de l'incidence du flétrissement bactérien à travers une méthode de lutte intégrée durable et respectueuse de l'environnement. Se faisant, l'efficacité des films plastiques, de l'IDEFIX (65,60% d'hydroxyde de cuivre), et de la fumure organique (20T/ ha) a été testée sur le périmètre maraîcher de la vallée du Kou (dans la zone ouest du pays) contre le flétrissement bactérien de la tomate et leurs effets sur les propriétés biologiques du sol (bactéries cellulolytiques, bactéries ammonifiantes, bactéries nitrifiantes et champignons microscopiques). Deux types de films plastiques (noir et blanc) ont été utilisés pour couvrir des billons antérieurement traités à la fumure organique. Le fongicide-bactéricide IDEFIX a été utilisé en pulvérisation après dilution d'une masse de 6,4g dans 2,28 l d'eau, et par injection (apport localisé) au niveau du système racinaire des plantes de tomates (18,09 ml/plante de tomate). Les résultats obtenus montrent que les différentes méthodes de lutte mises en place ont été protectrices de la tomate contre le flétrissement bactérien. Ces méthodes de lutte ont entraîné une réduction du nombre de plantes de tomate attaquées, de la sévérité d'attaque et du niveau de développement du flétrissement bactérien par rapport au témoin non traité. D'après ces résultats, la fumure organique associée à la solarisation toile blanche et celle associée à la solarisation toile noire, la fumure organique associée à IDEFIX (injection), et la fumure organique unique s'avèrent être les plus efficaces dans la réduction de l'incidence du flétrissement bactérien. Ces méthodes de lutte ont réduit l'incidence du flétrissement bactérien de 43,87%, 34,44%, 27% et 21% respectivement à partir du 70^{ième} jour après traitement. En outre, les différentes méthodes de lutte ont amélioré l'activité biologique du sol ; permettant ainsi une augmentation des rendements de 114,40%, 112,10%, 85,03% et 52,63% respectivement pour la fumure organique associée à la solarisation toile blanche ; celle associée à la solarisation toile noire ; la fumure organique + IDEFIX (injection) et la fumure organique unique par rapport au témoin non traité.

Mots clés : Burkina Faso, IDEFIX, *Lycopersicon esculentum*, *Ralstonia solanacearum*, lutte intégrée.

Abstract

In Burkina Faso, tomato is the one of most important crops. However, its production is decreasing from attacks caused by many factors such as *Ralstonia solanacearum*. *R. solanacearum* causes tomato bacterial wilt. Seeing as the economic importance of tomato, a study of biological efficiency of polyethylene plastics, IDEFIX (cupric hydroxide 65.60%) fungicide bactericide, in injection and manure organic (20T/ha) against tomatoes bacterial wilt; which causes big damages to farmers and their secondary effects on soil microorganisms, have been done at Kou Valley, in Burkina Faso. IDEFIX has been used by pulverization after dilution of 6,4g in 2.28 L of water, and by injection (18,09ml by plant of tomato). The number of bacteria (*R. solanacearum*) has been evaluated on SMSA media cultura. The levels of infection development have been evaluated with the formula of AFANASSEVA *and al.* (1983) and the quantification of soil microorganisms on media cultura. The white polyethylene application reduced the number of bacteria (*R. solanacearum*) from 34.50% to 50.00% in comparison with untreated control. The efficiencies coefficients of polyethylene plastics varied from 0.00 % to 97.93% and those of injection method from 0.00 % to 43.45%. The number of Ammonifying bacteria, nitrifying bacteria, and cellulolytic bacteria and microscopic fungi was higher than the period before tomatoes rising. The polyethylene plastics allowed a twice yield increase in comparison with the untreated control. The injection method gave an increase of 87.34% in comparison with the untreated control.

Key-words: Polyethylene plastics, IDEFIX, bacterial wilt, Burkina Faso, *Ralstonia solanacearum*

INTRODUCTION

La tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. 1754) est l'une des spéculations maraîchères les plus produites dans le monde aussi bien en plein champ que dans les jardins potagers (SALUNKHE et KADAM, 1998 cités par SENAN *et al.*, 2007). La superficie de tomate plantée en 2001 s'élevait à 3,7 millions d'hectares avec une production estimée à 100 millions de tonnes (FAO, 2003) à l'échelle mondiale. En 2013, cette production était estimée à 159 millions de tonnes (FAO, 2014). Ainsi, dans le contexte alimentaire mondial, la tomate occupe une place de choix dans la lutte contre l'insécurité alimentaire. Au delà de ses vertus alimentaires, elle constitue une source non négligeable de composés naturels ayant un potentiel antioxydant important (BORGUINI et TORRES, 2009) d'où son apport au plan sanitaire.

L'Afrique occupe le quatrième rang avec 12% de la production mondiale de tomate après l'Asie (45%), l'Europe (22%), et l'Amérique (19%) (SENAN *et al.* 2007). En Afrique au sud du Sahara, le rendement moyen de la tomate est 10 T / ha (SENAN *et al.*, 2007) contre 25 T / ha environ au niveau mondial.

Au Burkina Faso, la tomate est l'un des piliers du secteur maraîcher (MAHRH, 2005); ce secteur reste la principale source d'activité en milieu rural pendant les longues périodes sèches. Selon le MAHRH (2005), la production de la tomate occupe 23,45% de la superficie totale maraîchère avec une production annuelle estimée à 50150 tonnes. Les recettes issues de la vente de la tomate représentent 21% du chiffre d'affaire du secteur maraîcher, soit une valeur ajoutée de 17,47 milliards de nos francs (MAH, 2011). De ce fait, le maraîchage et en occurrence la production de la tomate reste une alternative à la réduction de la pauvreté et donc un moyen d'amélioration des conditions de vie des producteurs. Cependant, il faut noter que la production de la tomate est sujette à diverses attaques de bio-agresseurs, parmi lesquels *Ralstonia solanacearum* agent du flétrissement bactérien de la tomate. Cette situation entraîne une faible production de la tomate créant ainsi un déficit structurel au niveau de l'offre des produits de la tomate.

Répertoriée comme l'une des bactéries phytopathogènes les plus nuisibles au monde (MANSFIELD *et al.*, 2012 ; cités par BORO 2014), *R. solanacearum* possède un caractère invasif vis-à-vis de la tomate sous serre autant qu'en plein champs. La bactérie est responsable du flétrissement bactérien de la tomate qui constitue une contrainte majeure à la

production de la tomate au Burkina Faso et dans le reste de l'Afrique. En effet, la maladie a été signalée dans 21 pays d'Afrique parmi lesquels le Kenya, l'Ethiopie, le Nigeria, le Mali, le Cameroun, la Côte d'Ivoire ou l'Ouganda. Son incidence peut atteindre 45% à 63% voire 80% en fonction des zones agro-écologiques (LEMESSA et ZELLER, 2007 cités par BORO, 2014).

Au Burkina Faso, la maladie a été signalée à partir de 1964 à la station de recherche de Farako-Ba par d'ARONDEL DE HAYES. Les souches identifiées étaient toutes de Race1, biovar I (phylotype I). En 1998, OUEDRAOGO cité par BORO (2014) dans ses travaux a identifié d'autres souches appartenant à la Race 1, biovar III et IV. En 2001, la maladie fut identifiée à la vallée du Kou sur des cultures de tomate en plein champs. Des taux de mortalité de plus de 90% ont été observés sur la variété de tomate Rossol (OUEDRAOGO et D'ARONDEL DE HAYES, 1994 cités par BORO, 2014). Elle est à l'origine de l'abandon de certaines cultures sur de nombreux sites maraichers notamment celui de la Vallées du Kou, de Toussiana, de Nakagouana, de Banakeledaga et du Bazèga (SOME, 2001).

Conscient de ces pertes économiques engendrées par le flétrissement bactérien de la tomate, de nombreuses méthodes de lutte à savoir la lutte prophylactique, la lutte chimique, la lutte biologique, la lutte génétique et la lutte culturale ont été prospectées. Dans le contexte du Burkina Faso, des travaux sur l'amélioration génétique des variétés de tomate ont été effectués en vue d'une gestion durable du flétrissement bactérien de la tomate. Parmi ces travaux, on peut citer ceux de BORO en (2014) sur l'utilisation des variétés résistantes de tomate adaptées aux populations pathogènes dont *R. solanacearum*. SOME (2001) a évalué l'incidence de la fertilisation organique de la tomate sur le développement du flétrissement bactérien. De ses travaux, il ressort que des doses de 24 à 30T/ha de la matière organique réduisent l'incidence du flétrissement bactérien de 30% par rapport au témoin non traité.

En dépit de ces multiples méthodes de lutte, le flétrissement bactérien de la tomate reste la bactériose la plus sévère des solanacées au Burkina Faso. L'exploitation variétale qui est la stratégie de lutte la plus efficace (LEBEAU, 2010) est souvent confrontée à la forte capacité d'adaptation de la bactérie du fait de sa grande diversité génétique. La lutte chimique quant à elle, laisse des conséquences désastreuses sur l'environnement et sur la santé humaine, sans oublier ses effets souvent non durables vis-à-vis des ennemis des cultures.

En vertu de l'importance économique de la tomate et de l'inefficacité des méthodes de protection de cette spéculacion, il apparait ainsi primordial, dans le cadre de la sécurité alimentaire et de la lutte contre la pauvreté, de prospecter de nouvelles stratégies durables de protection de la tomate, afin d'assurer des rendements acceptables et des produits de qualité. C'est dans ce contexte que nous avons envisagé de traiter de : **«l'étude de l'efficacité des films plastiques, de la fumure organique et de l'hydroxyde de cuivre (65,60%) contre le flétrissement bactérien de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. 1754) causé par *Ralstonia solanacearum* et leurs effets sur les microorganismes du sol, à l'Ouest du Burkina Faso»**. Ce travail s'inscrit dans une logique de recherche de solutions durables à la faible production de la tomate.

L'objectif global de la présente investigation scientifique est d'accroître les rendements de la tomate sans porter préjudice à la santé des consommateurs et à l'environnement. Pour se faire, il a été spécifiquement question de:

- évaluer l'efficacité de la solarisation associée à la fumure organique sur l'incidence du flétrissement bactérien de la tomate ;
- évaluer l'efficacité de la fumure organique associée au fongicide-bactéricide IDEFIX (65,60% d'hydroxyde de cuivre) en pulvérisation et en injection sur l'incidence du flétrissement bactérien de la tomate;
- évaluer les effets de ces différentes méthodes de luttés sur la dynamique d'évolution des micro-organismes du sol (bactéries ammonifiante. nitrifiante. cellulolytique, et champignons microscopiques)

Pour atteindre les objectifs escomptés, les hypothèses suivantes ont été émises :

- la solarisation associée à la fumure organique réduit plus l'incidence du flétrissement bactérien par rapport à la fumure organique unique ;
- le fongicide-bactéricide IDEFIX (65,60% d'hydroxyde de cuivre) utilisée par injection ou par pulvérisation en association avec la fumure organique, est moins efficace par rapport à la solarisation associée à la fumure organique, sur l'incidence du flétrissement bactérien de la tomate.

La présente étude qui fait l'économie de nos activités de recherche ainsi que les résultats obtenus comporte deux (02) parties : une première partie qui comporte deux (02) chapitres. Un premier chapitre qui traite des généralités sur la tomate, et le second chapitre porte sur

Ralstonia solanacearum. La seconde partie à l'instar de la première, comporte deux (02) chapitres. Un premier chapitre qui présente le matériel ainsi que la méthodologie utilisée, un second chapitre qui traite des résultats et de la discussion. L'étude s'achèvera par une conclusion assortie de recommandations et perspectives.

PREMIERE *PARTIE*:
REVUE *BIBLIOGRAPHIQUE*

CHAPITRE I : Généralités sur la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. 1754)

La production mondiale de la tomate est estimée à 159 millions de tonnes en 2013 (FAOSTAT, 2013). C'est l'un des produits agricoles les plus consommés au monde. Elle constitue une source non négligeable de minéraux, de vitamines et certains composés naturels secondaires ayant un potentiel antioxydant important (ZIDANI, 2009).

I.1. Historique de la tomate

La tomate est originaire des Andes d'Amérique du Sud, dans une zone allant du sud de la Colombie au nord du Chili et de la Côte Pacifique, aux contreforts des Andes (Equateur, Pérou). Elle fut domestiquée au Mexique, puis introduite en Europe au XVI^{ième} siècle par les Espagnols avant même la pomme de terre et le tabac (SHANKARA, 2005). Le genre *Lycopersicon* comprend neuf espèces, dont une seule à savoir *Lycopersicon esculentum* sous sa forme sauvage ceraciforme qui pourrait être directement à l'origine des autres variétés. a émigré vers le Sud de l'Amérique du Nord (TOUFOUTI, 2013). Longtemps considérée comme une plante toxique au même titre que sa cousine la mortelle Belladone à cause de ses liens de parenté botaniques très étroits avec certaines espèces végétales connues comme plantes vénéneuses notamment *Atropa belladonna* (KOLEV, 1976) ; la tomate fût pendant longtemps utilisée comme une plante ornementale et non de consommation par les européens. Ce n'est que vers les années 1920-1930 qu'elle commença à être largement commercialisée (TOUFOUTI, 2013).

I.2. Production de la tomate dans le monde et au Burkina Faso

La tomate est cultivée dans tous les pays sous toutes les latitudes de l'équateur jusqu'au cercle polaire. Les fruits sont destinés à la consommation à frais ou à la transformation (LATERROT *et al.*, 1992 cité par TOUFOUTI, 2013). C'est aujourd'hui le légume d'intérêt commercial le plus important. La culture de la tomate est très répandue dans le monde entier, cependant 90% de la production mondiale est obtenue dans l'hémisphère nord (bassin méditerranéen, Californie et Chine). Cette production a évolué de 126,2 millions de tonnes en 2007 à 159 millions de tonnes en 2013 (FAOSTAT, 2013).

En 2006, les exportations de tomates fraîches ont porté sur un peu plus de 6 millions de tonnes, soit 4,8 % de la production mondiale de l'année. Les trois premiers pays exportateurs

(environ 1 million de tonnes chacun) sont le Mexique, la Syrie et l'Espagne. Le Mexique fournisseur essentiel des États-Unis et l'Espagne fournit l'Union européenne (FAO, 2009). Pour la même année les premiers pays importateurs de tomates fraîches sont dans l'ordre; les États-Unis, l'Allemagne, la France, le Royaume-Uni et la Russie. En revanche, en 2006 pour la tomate transformée (pâte et purée) les principaux pays exportateurs sont la Chine, l'Union européenne, les États-Unis, le Chili et la Turquie.

Au Burkina Faso, la tomate occupe une place privilégiée dans le secteur maraîcher. C'est la deuxième spéculation maraîchère la plus produite après l'oignon. En 2004, la production de la tomate couvrait une superficie de 2080 ha sur l'ensemble des 8879 ha réservée à la culture maraîchère pendant la même année (MAHRH, 2004); soit 23,45% de la superficie totale maraîchère. Selon la DGPSA/MAHRH en 2005, la quantité de tomate produite en 2004-2005 était estimée à 50158 tonnes ; 47844 tonnes de cette production est vendue et le reste destinée à la consommation locale. La province de la Gnagna occupe la première place en termes de revenus financiers générés par la production de la tomate. En effet, dans cette province la vente de la tomate a généré plus de 887 millions de Francs CFA (MAHRH, 2005).

I.3. Importance de la tomate

La tomate tient une place importante dans l'alimentation humaine. Elle est consommée soit crue, soit cuite, ou comme un produit transformé tels que jus de fruits, sauces, et de conserves. Dans les dernières décennies, la consommation de tomate a été associée à la prévention de plusieurs maladies comme le cancer ou les maladies cardiovasculaires (BORGUINI et TORRES., 2009). Cet effet protecteur a été principalement attribué à ses précieux composants bioactifs avec propriétés antioxydants (BORGUINI et TORRES, 2009) comme les carotènes (lycopène qui donne leur couleur rouge aux tomates ainsi que β -carotène), l'acide ascorbique, tocophérol et les composés phénoliques. Le lycopène le plus puissant antioxydant caroténoïdien a montré d'autres effets bénéfiques sur la santé tels que l'induction de la communication entre les cellules, la modélisation des hormones du système immunitaire et d'autres voies métaboliques. Il neutralise, plus efficacement, les radicaux libres, particulièrement agressif, dérivé de l'oxygène. Alors que les composés phénoliques présentent un large éventail de propriétés physiologiques comme des anti-allergéniques, des anti-inflammatoires, des anti-microbiens, des antithrombotiques, des anti-athérogènes et des effets cardioprotecteurs et vasodilatateurs (BALASUNDRAM *et al.*, 2006).

La tomate est un aliment diététique, très riche en eau (93 à 95%), en éléments minéraux et en oligo-éléments. Parmi les minéraux de la tomate, le potassium domine largement, suivi par le chlore, le phosphore et le magnésium. Parmi les oligo-éléments, on peut noter des teneurs non négligeables en fer et en zinc, ainsi que des traces de cobalt, de nickel, de fluor, de bore et de sélénium. Les vitamines du groupe B sont assez abondantes et toutes représentées y compris la vitamine B8 et l'acide folique (B9). Par contre, ce fruit ne renferme que de faibles quantités de glucides (3%), de protéines (moins de 1 %) et seulement des traces de lipides. De ce fait, elle est pauvre en calories (15 Kcal pour 100 g, soit 63 KJoules) (FAVIER *et al.*, 2003) (Tableau I Annexe 3).

I.4. Classification de la tomate

La tomate est une plante herbacée annuelle à port buissonnant appartenant à la famille des Solanacées. Elle est classée selon des critères différents liés à l'aspect botanique, la composition génétique et le type de croissance (GALLAIS et BANNEROT, 1992).

I.4.1. Classification botanique

Les botanistes modifièrent à plusieurs reprises les noms de genre et d'espèce attribués à la tomate (TOUFOUTI, 2013). Elle a été classée par Linné en 1753, comme *Solanum Lycopersicon*, d'autres botanistes lui ont attribué différents noms comme *Solanum lycopersicon*, *Solanum esculentum*, *Lycopersicon lycopersicum* ; c'est finalement *Lycopersicon esculentum* attribué par Philippe Miller en 1754, qui a été retenu (MUNRO et SMALL, 1998 dans TOUFOUTI, 2013). Le nom de genre « *Lycopersicum* » est gréco-latin, il signifie « pêche de loup » et l'épithète « *esculentum* » complétant le binôme de l'espèce vient du latin et qui signifie « comestible ».

Cette comestibilité ne concerne ni le feuillage, ni les jeunes fruits verts car ils contiennent des alcaloïdes toxiques (tomatine, solanine). Ces derniers disparaissent des fruits au cours du mûrissement (BLANCARD, 2009).

Selon (DUPONT et GUIGNARD, 2012), la tomate appartient à la classification suivante :

Règne.....	Plantae
Sous règne.....	Tracheobionta
Embranchement.....	Magnoliophyta
Classe.....	Magnoliopsida
Sous-classe.....	Astéride
Ordre.....	Solanales
Genre	<i>Solanum</i> ou <i>Lycopersicon</i>
Espèce	<i>Lycopersicon esculentum</i> (Mill. 1754)

1.4.2. Classification génétique

La sélection génétique de la tomate vise aujourd'hui à produire des variétés ou des cultivars adaptés à certaines conditions climatiques, à des techniques précises, ainsi qu'à une utilisation particulière. Mais l'amélioration génétique garde toujours pour principaux objectifs des rendements élevés, la résistance à une ou plusieurs maladies et ou ravageurs (POLESE, 2007).

1.5. Description botanique de la plante de la tomate

La tomate est une plante annuelle herbacée buissonnante, poilue et aux tiges plutôt grimpantes. Elle est aromatique lorsqu'on la froisse. Cette plante potagère herbacée voit sa taille varier de 40 cm à plus 5 mètres selon les variétés et le mode de culture (DUMORTIER *et al.*, 2010). La racine de la tomate pivotante, pousse jusqu'à une profondeur de 50 cm ou plus. La racine principale produit une haute densité de racines latérales et adventices. La tige présente un port de croissance entre érigé et prostré, elle pousse jusqu'à une longueur de 2 à 4 m, elle est pleine, fortement poilue et glandulaire. Des feuilles sont disposées en spirale, 15 à 20 cm de long et 10 à 30 cm de large. Les folioles sont ovées à oblongues, couvertes de poils glandulaires. L'inflorescence est une cyme formée de 6 à 12 fleurs. Le pétiole mesure entre 3 et 6 cm. Les fleurs sont bisexuées, régulières et entre 1,5 et 2 cm de diamètre, elles poussent opposées aux - ou entre les feuilles. Le tube du calice est court et velu, les sépales sont persistants, jaunes et courbés lorsqu'elles sont mûres (BLANCHARD, 2009). Il y a 6 étamines et les anthères ont une couleur jaune vif et entourent le stylet qui a une extrémité stérile allongée. L'ovaire est supère avec entre 2 et 9 carpelles. En général la plante est autogame, mais la fécondation croisée peut avoir lieu (TOUFOUTI, 2013). Le fruit est une baie charnue, de forme globulaire ou aplatie avec un diamètre de 2 à 15 cm. 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. Les graines sont nombreuses, en forme de rein ou de poire. Elles sont poilues, beiges, 3 à 5 mm de long et 2 à 4 mm de large. L'embryon est enroulé dans l'albumen. 1000 graines pèsent approximativement 2,5 à 3,5 g (NAIKA *et al.*, 2005).

1.6. Cycle biologique de la tomate

D'après GALLAIS et BANNEROT (1992) cités par BOURAS (2013), le cycle végétatif complet de la graine à la graine de tomate varie selon les variétés, l'époque et les conditions de culture ; mais il s'étend généralement en moyenne de 3,5 à 4 mois du semis, jusqu'à la dernière récolte (7 à 8 semaines de la graine à la fleur et 7 à 9 semaines de la fleur au fruit). Le cycle de développement d'une plante de tomate peut être décrit par trois grandes phases biologiques (BLANCARD, 2009) :

-la «**phase végétative**» qui correspond à la production phénologique exclusive d'organes végétatifs (feuilles et tiges) et comprise entre la levée et l'apparition de la première inflorescence ;

-la «**phase reproductive**» qui correspond à la période de production des fleurs et des fruits et qui commence à la floraison pour s'achever en fin de culture ;

-la «**phase de maturation**» des fruits qui démarre sept à dix jours avant la récolte des premiers fruits et se termine à la récolte.

1.7. Exigences écologiques et climatiques de la tomate

A l'instar de toutes les espèces végétales, la tomate a des besoins spécifiques du point de vue écologique et climatique pour accomplir normalement son cycle de développement. Pour les différentes variétés de tomate, les températures optimales se situent entre 21 et 24°C ; mais en dessous de 10°C et au-dessus de 38°C les tissus végétaux peuvent être endommagés (SHANKARA, 2005). En tant que plante insensible au photopériodisme (TOUFOUTI, 2013), la tomate est exigeante en énergie lumineuse qui affecte la mise en place et la couleur de ses fruits (CIRAD et GRET, 2002). La plante est très sensible à l'hygrométrie, elle ne tolère pas les sols engorgés ni à humidité élevée (plus de 80%) et une hygrométrie relativement ambiante de 60% à 65% est la meilleure pour sa fécondation. En effet, lorsque l'humidité est trop élevée, le pollen est difficilement libéré (TOUFOUTI, 2013). La tomate préfère les terres limoneuses profondes et bien drainées (SHANKARA, 2005) à pH variant entre 5,5 et 6,8.

I.8. Maladies et ravageurs de la tomate

Les cultures de tomate peuvent être affectées par diverses attaques de ravageurs (insectes, acariens et nématodes) et de maladies cryptogamiques, bactériennes ou virales, par la concurrence de mauvaises herbes et par des accidents de végétation ou des agressions abiotiques, dont l'importance varie selon le type de culture et les conditions climatiques (SHANKARA, 2005).

I.8.1. Principales maladies de la tomate

La culture de tomate peut être affectée par plusieurs maladies : maladies cryptogamique, bactérienne, virale et physiologique.

I.8.1.1. Maladies cryptogamiques

Mildiou : cette infection est causée par *Phytophthora infestans*. La maladie se caractérise par l'apparition de grandes taches brunes sur les feuilles et les tiges.

Anthraxnose: on observe l'apparition de tâches circulaires de 5 à 10 mm sur les fruits rouges. Un mycète pathogène (*Colletotrichum coccodes*) est responsable de cette infection (SNOUSSI, 2010).

I.8.1.2. Maladies physiologiques

-éclatement : Au cours du grossissement du fruit, on observe des gerçures au niveau du collet qui peuvent évoluer, si les conditions deviennent favorables, en éclatement circulaire ou radial (SNOUSSI, 2010).

-nécrose apicale : Sur fruit, on observe une tache brunâtre qui se nécrose par la suite et provoque le dessèchement pistillaire du fruit qui devient sujette aux attaques des champignons. Les 2 ou 3 premiers bouquets sont les plus touchés par cette anomalie (SNOUSSI, 2010).

I.8.1.3. Maladies virales

TICV (Tomato Infectious Chlorosis Virus): transmis par plusieurs espèces d'aleurodes selon le mode de semi-persistant, elle se caractérise par une jaunisse généralisée et un retard du développement de la plante, apparition de nécroses ce qui entraîne de grandes pertes de rendement (IDRENMOUCHE, 2011).

TMV (Tobacco Mosaic Virus): le vecteur naturel du TMV n'est pas connu. Le virus se transmet par contact et par les graines. La maladie se caractérise par une mosaïque verte ou blanche, des folioles gaufrés devenant filiformes et ont tendance à s'enrouler, les fruits encore verts présentent une surface légèrement bosselée avec des plages nécrotiques brunes. Les fruits en maturité sont parsemés de plages vertes (IDRENMOUCHE, 2011).

I.8.1.4. Maladies bactériennes de la tomate

Au niveau des solanacées, les infections bactériennes (bactérioses) sont multiples, on peut citer:

-le chancre bactérien: c'est une bactériose causée par *Clavibacter michiganensis subsp michiganensis* Smith (DAVIS *et al.*, (1984) cités par BOURAS, 2013). Il est très contagieux et destructif de la tomate aussi bien en plein champ que sous serre (MENZIES et JARVIS, 1994). Cette infection peut être considérée comme l'une des plus graves maladies bactériennes affectant la tomate. En effet, cette infection peut causer la mort prématurée des plants de tomate et par conséquent des réductions considérables de rendement. Les pertes économiques assujetties à cette infection sont importantes dans le monde entier. Elles varient d'un pays à un autre et peuvent atteindre 100% dans les conditions favorables au développement de la bactérie responsable de cette maladie (CHANG *et al.*, 1992).

-la moucheture bactérienne : elle doit son nom aux petites taches nécrotiques qui se forment sur les fruits. Cette maladie est causée par la bactérie *Pseudomonas syringae.pv tomato*. L'infection se manifeste sur le feuillage par de nombreuses taches nécrotiques entourées de halo jaune. L'humidité du feuillage favorise la pénétration de la bactérie dans les stomates. La contamination des fleurs provoquent leur chute (TOUFOUTI, 2013). La graine peut être infectée.

-le flétrissement bactérien : c'est une phyto-bactériose vasculaire d'origine tellurique causée par *Ralstonia solanacearum* (POUSSIER, 2000). Les premiers symptômes de la maladie se

manifestent au niveau des feuilles (enroulement et flétrissement des feuilles). C'est l'une des bactérioses les plus graves de la tomate. Cette bactériose fait l'objet de notre étude.

I.8.2. Principaux ravageurs de la tomate

Les ravageurs de la tomate sont nombreux :

-**les nématodes** : présence de nombreuses nodosités (gales) sur les racines. On peut citer *Meloïdogyne icognita*, et *Meloïdogyne javanica* (TOUFOUTI, 2013);

-**les acariens** : arrêt de la végétation. Présence de petites punctuations jaunes sur les folioles, présence de nombreuses toiles soyeuses, plages luisantes sur tiges, folioles de couleur vert bronze, dessèchement et chute des folioles et des feuilles (BLANCARD, 2009) ;

-**les aleurodes** : production de miellat se couvrant de fumagine ;

-**les pucerons** : provoque l'enroulement des feuilles, crispation des jeunes folioles avec arrêt de croissance ;

-**les noctuelles** : provoquent la perforation des folioles, trous sur fruits provoquant la maturation prématurée avec des cavités dans les fruits. L'espèce la plus fréquente : *Heliothes armigera* (BOURAS, 2013) ;

-**les thrips** : observation de plages de cellules mortes comme des tâches claires formées de petits points blanc nacré brunissant peu à peu. Sur les jeunes pousses, la salive toxique induit un raccourcissement des entre-nœuds. Les thrips se nourrissent de grains de pollen, détruisent les étamines et entraînent les colures de fleurs (SNOUSSI, 2010);

-**les mineuses** : provoquent des galeries sinueuses entre les épidermes. En cas de forte attaque, il ya dessèchement total du feuillage (SNOUSSI, 2010).

CHAPITRE II: *Ralstonia solanacearum*, agent du flétrissement bactérien

II.1. Classification

Ralstonia solanacearum est une bactérie gram négative appartenant au groupe des β -protéobactéries regroupant d'autres bactéries pathogènes comme *Burkholderia sp.* C'est une espèce particulièrement hétérogène, état lié notamment à sa large gamme d'hôte et sa grande diversité géographique. Plusieurs modes de classification ont été mis en place, basés sur le spectre d'hôte (notion de race) ou les caractéristiques physiologiques ou métaboliques de la bactérie (notion de biovar). La plus récente est celle qui est maintenant utilisée et se base sur ses caractéristiques génétiques : c'est la classification par phylotype qui distingue 4 régions géographiques d'origine des souches. Cette classification a d'abord reposé sur l'étude de marqueurs Restriction Fragment Length Polymorphism (RFLP) (COOK *et al.*, 1989), qui a donné lieu à deux divisions majeures « asiaticum » et « americanum ». Des études plus récentes basées sur l'analyse du polymorphisme de séquence (acide ribonucléique ribosomique (ARNr) 16S, Internal Transcribed Spacer (ITS) 16S-23S, gènes d'endoglucanase et de polygalacturonase) ont confirmé le bien-fondé de ces deux divisions (PRIOR, 2003). Par la suite, l'analyse de marqueurs RFLP, Amplified Fragment Length Polymorphism (AFLP) et de séquences 16s d'ARNr a permis d'ajouter une troisième division africaine (POUSSIER, 2000). Une quatrième division tropicale ou indonésienne a ensuite été ajoutée suite à l'analyse de régions d'ITS, du gène d'endoglucanase *egl* et du gène *hrpB*. Une particularité de ce phylotype est qu'il contient d'autres espèces proches de *R. solanacearum* : *R. syzygii* et l'agent responsable de la « maladie du sang » du Bananier (WICKER *et al.*, 2009).

II.2. Origine et répartition géographique de *Ralstonia solanacearum*

Ralstonia solanacearum, (précédemment *Pseudomonas solanacearum*) est une bactérie phytopathogène d'origine tellurique, responsable du flétrissement bactérien. La présence de cette bactérie dans le sol est en général liée à un faible niveau de fertilité du sol, notamment à une faible teneur d'azote dans le sol (TURNER, 2009). Cette bactérie, d'abord rencontrée dans les zones tropicales, subtropicales et tempérées chaudes, s'étend désormais dans des régions plus tempérées d'Europe ou d'Amérique du nord. *R. solanacearum* a plus de 200 espèces hôtes réparties à l'intérieur d'au moins 50 familles (dont les Solanacées, les légumineuses...), comprenant aussi bien des monocotylédones que des dicotylédones, des plantes annuelles ou

des ligneux. La différenciation entre espèces hôtes ou non-hôtes se fait sur la colonisation ou non des vaisseaux conducteurs. Les espèces sont dites tolérantes quand on retrouve de manière ponctuelle et restreinte des bactéries dans le xylème (TURNER, 2009). Parmi les espèces hôtes, certaines ont une importance agronomique majeure comme la Tomate, le Manioc (*Manihot esculenta*) ou l'Arachide (*Arachis hypogaea*), faisant de *R. solanacearum* une des bactéries phytopathogènes les plus dévastatrices au monde. Deux populations historiques sont généralement présentes en Afrique : elles appartiennent au phylotype I et phylotype IIA et ont été décrites dans les années 60 (DIGAT et ESCUDIE, 1967). En 1999, une population émergente a été mise en évidence sur l'anthurium; puis entre 2002 et 2003, cette population s'est propagée sur les cultures de cucurbitacées et solanacées. Actuellement, elle se répand rapidement dans toutes les zones de production maraîchère et est particulièrement agressive sur les cultures de tomate en plein champ (PRIOR, 2003).

II.3. Plantes hôtes

L'agent du flétrissement bactérien, *R. solanacearum* possède deux types de plantes-hôtes : les plantes hôtes et les plantes non-hôtes.

II.3.1. Plantes hôtes sensibles

Ce sont les plantes dans lesquelles la bactérie se développe normalement et entraîne la mort de la plante. Au Burkina Faso, les plantes hôtes font généralement partie des familles des Solanacées, des Cucurbitacées et des Musacées.

II.3.2. Plantes hôtes tolérants

Ces plantes hébergent la bactérie mais ne développent pas de symptômes visibles. Ce type d'hôte est problématique car la possibilité de propagation de la bactérie est accrue de part la présence de ces plantes porteuses saines (en général des adventices) dans les parcelles.

II.4. Cycle épidémiologique de l'agent pathogène

Le cycle infectieux de *R. solanacearum* passe généralement par un stade de survie en saprophyte, sous forme rugueuse, dans le sol ou dans l'eau qui peut même durer plusieurs années. (TURNER, 2009). Cependant sa capacité de survie dans un sol nu est très discutée. Le temps de survie dépend du type de sol, du biovar et des conditions environnementales. *R. solanacearum* ne pourrait survivre dans un sol pendant une période prolongée à cause du fait qu'il n'est pas un compétiteur suffisamment efficace par rapport à la microflore du sol

(SEQUIRA *et al.*, 1993). La bactérie ne survivrait pas dans un sol par elle-même mais en infectant continuellement les racines de plantes hôtes ou en colonisant la rhizosphère de plantes non-hôtes.

La nature du sol peut influencer sur la conservation de *R. solanacearum* dans le sol. En fonction des caractéristiques physico-chimiques des sols, certains sont propices au flétrissement bactérien (conducteurs) tandis que d'autres sont supprimeurs (HAYWARD, 1991). Les relations entre le type de sol et l'incidence du flétrissement bactérien sont contrastées. En effet, KELMAN en 1953 avait observé en Indonésie que la maladie était plus sévère dans un sol argileux. Cependant en Chine, HE *et al* (1990) cité par HAYWARD 1991 ont publié que la maladie était plus répandue dans un sol sableux et ne l'était pas dans un sol argileux. De façon générale, les oxisols (sols ferrallitiques à argile de type halloysite ou kaolinite) sont propices au développement de la maladie alors que les vertisols (à montmorillonites) ont un effet supprimeur (PRIOR *et al.* 1993). L'action supprimeur des vertisols pourraient être dû à l'argile présente dans ces sols. Sous l'action de la dessiccation, la fermeture du réseau poreux des argiles (tactoides) entrainerait progressivement l'incapacité à se multiplier, puis un effet d'écrasement létal pour les bactéries (SCHMIT *et al.*, 1990). L'effet naturel supprimeur des vertisols peut être altéré par un excès d'eau et la gravité du flétrissement bactérien peut être réduite par des amendements organiques (PRIOR *et al.*, 1993).

L'humidité du sol et la température sont des facteurs environnementaux qui influencent l'expression du flétrissement bactérien. Un sol humide et bien drainé favoriserait moins la survie de *R. solanacearum* qu'un sol inondé surtout lorsqu'il est riche en argile du type montmorillonite (PRIOR *et al.*, 1993). La température affecte la survie mais également l'interaction hôte-pathogène. La température optimale pour la manifestation de *Ralstonia solanacearum* se situe entre 30 et 35°C, exception faite, pour les souches «froides» de phylotype II (IIB sequevar 1, historiquement race 3 biovar 2), qui ont une température optimale avoisinant les 23°C à 43°C. Au delà de 43°C, *R. solanacearum* serait incapable de survivre dans le sol (SENEVIRATINE, 1988).

Les sources de dissémination sont diverses et variées. Cependant, le principal responsable de la propagation de la maladie sur un plan local mais aussi international est l'Homme. Les eaux de ruissellement et d'irrigation lessivant les sols contaminés constituent un autre mode de dissémination de *R. solanacearum*. La dispersion de la maladie peut s'effectuer de racine à racine. En effet, une plante flétrie génère, dans le substrat, une quantité importante de

bactéries qui peuvent contaminer les plants proches. (BUDDENHOGEN et KELMAN, 1964) Cet inoculum ainsi formé en se mélangeant à l'eau d'irrigation augmente le risque de contamination d'un plant à l'autre (CARIGLIA, 2007). Autrement, la dissémination peut se produire par utilisation de matériel végétal abritant d'importantes populations de *R. solanacearum* sans présenter de symptômes (HAYWARD, 1991).

L'infection de *R. solanacearum*, bactérie tellurique, se fait naturellement par le système racinaire. Les exsudats racinaires des plantes hôtes diffusant au niveau des bactéries et agissant comme stimuli provoqueraient un chimiotactisme des bactéries pathogènes vers les racines. (YAO et ALLEN., 2006) ont montré que la souche *R.solanacearum* K60 est attiré activement par les exsudats racinaires de la tomate. La bactérie mobile progresse jusqu'à la surface des extrémités racinaires puis pénètre l'hôte par les racines soit en profitant de blessures provoquées par des nématodes tels que *Meloidogyne* spp et insectes ravageurs, ou bien provoquées par l'Homme via les outils agricoles ou le repiquage des plants, soit en profitant d'ouvertures naturelles comme la zone d'émergence de racines secondaires, les lenticelles ou la zone d'élongation au niveau de l'apex des racines).

II.5. Flétrissement bactérien de la tomate

C'est une phytobactériose vasculaire d'origine tellurique causée par *R. solanacearum*. Présente sur tous les continents, elle a été observée dans une vaste gamme de climats : tropical, subtropical, méditerranéen et tempéré. *R. solanacearum* est reparti à travers le monde et est considéré comme l'un des agents pathogènes les plus importants sur les cultures maraichère, de rente et vivrière. De nombreuses familles de plantes sont attaquées par cet agent pathogène, et plus particulièrement les solanacées (LEBAS, 2010).

Le flétrissement soudain et irréversible de l'appareil végétatif aérien est le symptôme le plus caractéristique de la maladie chez la plupart des plantes hôtes de *R. solanacearum* (LEBAS, 2010). Cependant, la vitesse d'apparition et l'intensité de la maladie dépendent de l'hôte (espèce, cultivar, stade physiologique), de la nature de la souche et de la quantité de l'inoculum mais aussi surtout des interactions avec l'environnement (températures, humidité, type de sol, présence de nématodes, etc.) (LEBAS, 2010).

Chez les Solanacées, notamment la tomate, le premier symptôme visible est l'enroulement et le flétrissement des feuilles, avec infléchissement des pétioles vers le bas, pendant la période chaude de la journée comme si le flétrissement était dû à un manque d'eau. On peut noter

aussi l'apparition de bourrelets et de racines adventives au niveau des tiges, des exsudats bactériens blanchâtres sortant des vaisseaux et un brunissement des vaisseaux du xylème (symptômes secondaires) (LEBEAU, 2010). Les jeunes feuilles sont les premières à subir la chlorose, le ramollissement et le recourbement vers la base des feuilles (épinastie). Cela peut être suivi de l'apparition de petites protubérances de racines avortées à la base des tiges. Les feuilles flétries attachées à la tige conservent leur couleur verte. Au stade final de la maladie, la moelle et le cortex de la tige peuvent présenter des lésions humides et brunes. Ce brunissement des vaisseaux du xylème peut être observé en faisant une coupe longitudinale dans les racines ou la tige de la plante infectée par *R. solanacearum*. Après une coupe transversale de la tige infectée, un exsudat blanc, jaunâtre peut suinter spontanément du tissu vasculaire coupé (LEBEAU, 2010). Dans des conditions climatiques favorables (chaud et humide), le flétrissement apparaît rapidement sur l'ensemble des feuilles de la plante et précipite la mort de la plante. La tomate est probablement la culture la plus souvent affectée par le flétrissement bactérien en raison de sa répartition mondiale et de sa sensibilité à quasi toutes les souches dans l'arbre phylogénétique.

Au Burkina Faso, le flétrissement bactérien dû à *R. solanacearum* est l'un des facteurs limitant la culture des solanacées dans la plupart des zones agro-écologiques.

En 1964, d'Arondel de Haye (cité par BORO, 2014) signale pour la première fois cette maladie au Burkina Faso à la station de recherche de Farako-bâ. Les souches ont été isolées à partir des pieds de tomate et d'aubergine et appartenaient toutes à la race 1, biovar I (phylotype I).

En 2001 la maladie a été identifiée à la Vallée du Kou. La totalité des souches isolées étaient de race 1. La même année, une étude sur l'influence de la fertilité organique de la tomate sur le développement du flétrissement bactérien a démontré que des doses de 24 à 32 tonnes de matière organique induisent une baisse de l'incidence de la maladie de l'ordre de 23 à 30% respectivement par rapport au témoin (SOME, 2001).

II.6. Stratégies de lutte

En absence de bactéricide efficace et autorisé, la protection des cultures contre les bactérioses repose sur un ensemble de mesures prophylactiques (DIGAT, 1992). De nombreuses stratégies de lutte ont été développées à l'encontre de *R. solanacearum* mais leurs efficacités restent limitées et n'ont pas encore permis de réduire significativement son expansion et les pertes économiques engendrées par cette maladie.

II.6.1. Lutte biologique

Elle est basée sur la capacité d'un agent biologique à entrer en compétition avec un agent pathogène dans le but de limiter l'infection de ce dernier. Chez la tomate, certaines souches avirulentes et productrices de bactériocine sont capables de réduire le flétrissement bactérien. L'utilisation de souches de *R. solanacearum* avirulentes a permis d'observer une induction de la résistance chez l'Arachide. Les expérimentations en champ induisent un niveau de protection limité (HAYWARD, 1991) mais cette méthode reste prometteuse. Une autre technique de lutte chimique utilisée contre *R. solanacearum* est la bacterisation des semences. Quatre techniques de bacterisation des semences peuvent être appliquées, à savoir le trempage, le pelliculage, l'enrobage et l'encapsulation (DIGAT, 1992). Le principe de base de ces différentes méthodes est de parvenir à immobiliser temporairement les bactéries sur les semences, tout en conservant un taux convenable de survie bactérienne et de germination de la graine.

II.6.2. Lutte basée sur l'utilisation des plantes de services

L'utilisation d'extraits de plantes a fait l'objet de nombreuses études visant à contrôler de façon écologique les bio-agresseurs des cultures et d'améliorer les propriétés agrochimiques des sols agricoles. Parmi ces travaux, on peut citer ceux de LEBAS (2010) où l'intérêt des plantes de service dans la gestion agro écologique du flétrissement bactérien de la tomate a été mis en évidence. De cette étude, il ressort que certaines plantes de service telles que le *Mucuna deeringiana*, le Radis fourrager (*Raphanus sativus*) et l'oignon péyi (*Allium fistulosum*) utilisées en association, en rotation ou sous forme d'engrais vert favoriseraient la suppression d'agents phytopathogènes nuisibles notamment *R. solanacearum*.

II.6.3. Lutte culturale

Certaines pratiques culturales notamment la rotation des cultures avec des plantes non-hôtes (maïs et le mil par exemple) se sont avérées efficaces dans la lutte contre *R. solanacearum* (LEBEAU, 2010).

II.6.4. Lutte génétique

Cela reste le moyen de lutte le plus efficace à ce jour. Les nouvelles techniques de sélection et la découverte de sources de résistances permettent de progresser dans ce sens (HAYWARD, 1991).

La bibliographie a permis de faire un état des lieux sur les méthodes de gestion du flétrissement bactérien de la tomate de façon générale dans le monde entier et de manière particulière en Afrique et plus précisément au Burkina Faso.

De cette bibliographie, il ressort que de nombreuses méthodes de lutte ont été expérimentées contre le flétrissement bactérien de la tomate avec plus ou moins de succès. Il s'agit entre autres de la méthode thermique (utilisation de la vapeur d'eau à plus de 100° C), l'utilisation de biofumigants à base de plantes de service, les techniques d'amendement organique et d'amendement organique associée à la solarisation, enfin la rotation à base de plantes non-hôtes de la bactérie responsable.

Pour le cas de l'Afrique et plus précisément du Burkina Faso, seuls la rotation culturale et l'amendement organique sont généralement utilisés avec des résultats très peu satisfaisants. Compte tenu de la faible efficacité des méthodes de lutte et de la persistance du flétrissement bactérien de la tomate au Burkina Faso, nous avons envisagé de nouvelles stratégies en vue de contrôler de manière efficace cette bactériose d'où la thématique choisie.

DEUXIEME PARTIE :
ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE III : Matériels et Méthodes

III.1. COLLECTE DE DONNEES SUR LE TERRAIN

III.1.1. Matériels

III.1.1.1. Choix et localisation géographique du site d'étude

L'essai a eu lieu dans le périmètre maraîcher de la Vallée du Kou, dans la commune rurale de Bama située à une trentaine de kilomètre de Bobo-Dioulasso. Ce site a été choisi pour plusieurs raisons. En effet, il faut noter que la commune de Bama est traversée du Nord au Sud par le Kou affluent du Mouhoun et possède une plaine rizicole et maraîchère aménagée, ce qui garantit une disponibilité permanente des ressources en eau et en terre principaux facteurs de production maraîchère. Au-delà de cette disponibilité de ressources principales de production, le périmètre maraîcher de la Vallée du Kou a fait l'objet de l'abandon de la culture de certaines spéculations maraîchères notamment la tomate (SOME, 2001), du fait des attaques liées aux agents phytopathogènes en occurrence *Ralstonia solanacearum*, vecteur du flétrissement bactérien de la tomate dont le contrôle fait l'objet de notre étude.

Bama est une commune rurale de la région des Hauts-Bassins. Située dans la province du Houet, elle est limitée à l'est par la commune de Satiri, à l'ouest par les communes de Kourouma et Karangasso-Sambla, au nord par les communes de Koundougou, Padéma et Dandé, et au sud par la commune de Bobo-Dioulasso (Figure 1). Les coordonnées géographiques de Bama sont les suivantes: 11°22 latitude Nord et 4°22 longitude Ouest. Le climat est du type sud-soudanien avec deux saisons distinctes, une saison pluvieuse (Avril - Octobre) et une saison sèche (Novembre -Avril) (figure 2). La saison pluvieuse débute en Avril avec une pluviométrie d'environ 25 mm. Les mois de juillet, août et septembre sont des périodes de forte pluviosité avec des pluviométries respectives de 220 mm, 250 mm et 260 mm d'eau respectivement. A partir du mois d'octobre la saison sèche s'installe. On assiste à une baisse de la pluviométrie de 260 mm à 100 mm d'eau. Cette saison sèche se poursuit jusqu'en fin mars. A partir du mois d'avril un nouveau reprend et ainsi de suite. D'après le découpage phytogéographique, Bama est du secteur soudanien méridional (FONTES et GUNGO, 1995 cité par TOE, 2014). La commune de Bama compte vingt (20) villages dont la vallée du Kou où la présente étude a été effectuée.

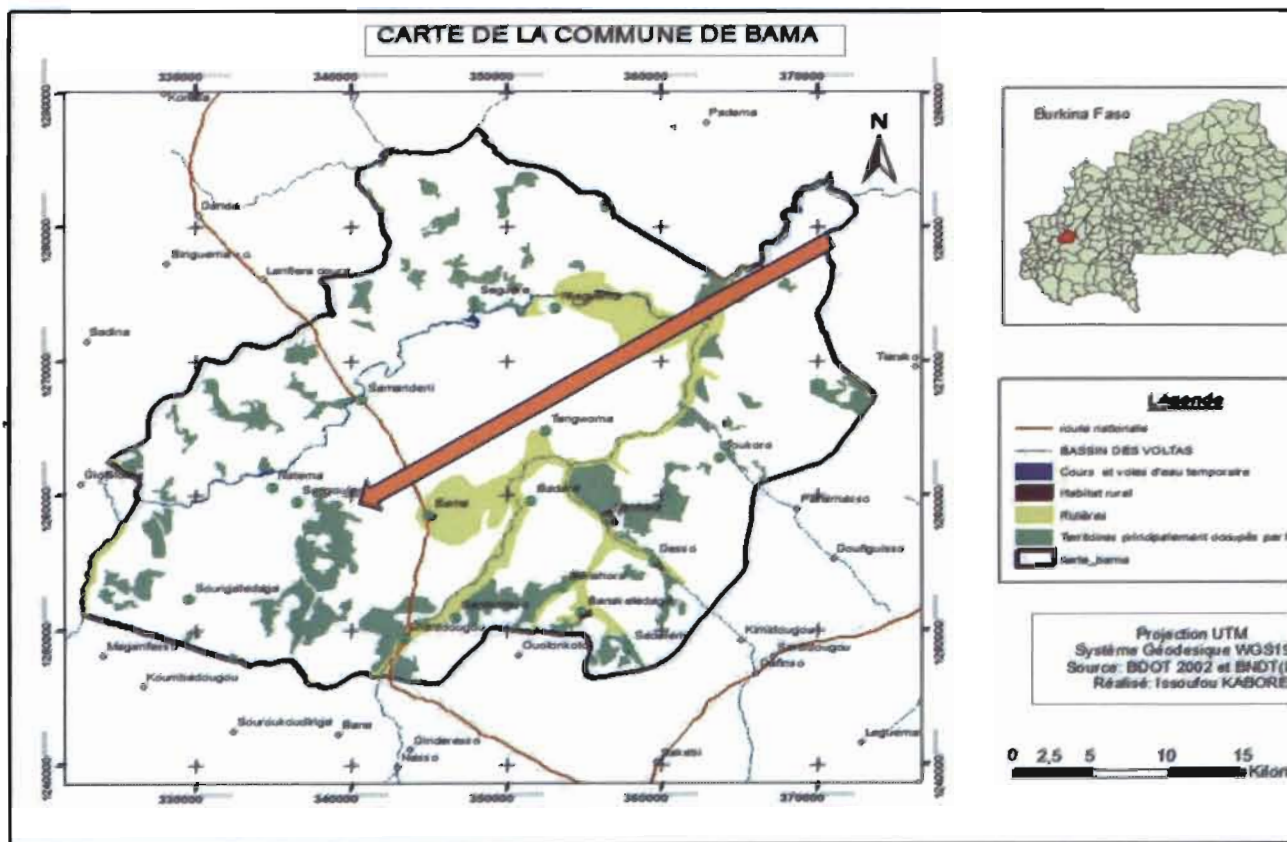


Figure 1 : Localisation de la commune rurale de Bama

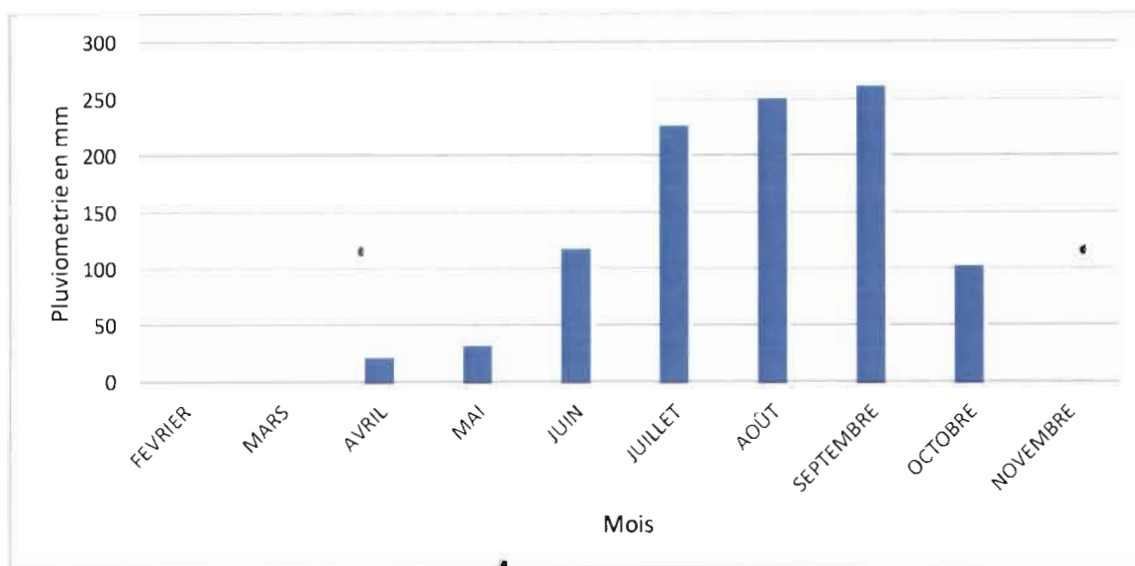


Figure 2: Répartition mensuelle de la pluviométrie de Bama en 2015 (DRARHASA / Hauts-Bassins).

III.1.1.2. Sol

Selon la classification française (en vigueur au Burkina Faso), six (06) types de sol peuvent être identifiés à la Vallée du Kou : les sols argileux, limoneux, argilo-limoneux, sablo-argilo-limoneux, sablo-argileux et sablo-limoneux (WELLENS *et al.*, 2008). Le pH est compris entre 5,5 et 6,5 et une concentration élevée en bases échangeables (WELLENS *et al.*, 2008).

III.1.1.3. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé au cours de notre expérimentation, est la variété PETOMECH de tomate (Annexe 10). C'est une variété importée et distribuée au Burkina Faso par NANKOSEM (une société de commercialisation de semences maraîchères). Elle est adoptée aux conditions pédoclimatiques de la zone d'étude et très sensible à *Ralstonia solanacearum*. Au cours de nos travaux, ce matériel végétal a été utilisé en plein champs.

III.1.2. Méthodes

III.1.2.1. Mise en place et suivi de la pépinière

La pépinière a été réalisée à la station de la protection des végétaux (P V) un démembrement de l'INERA/Farako-bâ. Le choix du compartiment de la pépinière est essentiel, celui-ci doit être bien aéré, installé de préférence dans un lieu isolé des autres cultures et de toute source de contamination, désinfecté et désherbé. Pour la préparation de notre pépinière, du fumier bien décomposé a été mélangé au sol à 50% de chaque composant. Le mélange obtenu a été stérilisé à l'eau chaude et introduit dans des bacs surélevés à 1m du sol. Le semis a été effectué en ligne le 03 novembre 2015. Une boîte de 100g de semences a été utilisé.

Pour le suivi de la pépinière, un nettoyage et un désherbage ont été régulièrement effectués ainsi qu'un entourage voisin afin d'assurer un développement normal et sain des plantules de tomate. L'arrosage est effectué au besoin. Après la levée, les plantules ont été traitées avec du Mancozèbe en raison de 800 g/kg (fongicide à large spectre) en vue de les protéger contre les microorganismes pathogènes et les ravageurs. Cela permet d'obtenir des plants sains depuis la pépinière.

III.1.2.2. Mise en place de l'essai

III.1.2.2.1. Dispositif expérimental adopté

Le dispositif expérimental utilisé au cours de cet essai, est un Bloc Fisher complètement randomisé avec six (06) traitements en quatre (04) répétitions (annexe 1). Les parcelles élémentaires dans chaque bloc sont de 32 m² (8 m² x 4 m). Chaque parcelle élémentaire comporte six (06) lignes. L'écartement entre deux lignes successives dans une parcelle élémentaire est de 80 cm. Sur une ligne, l'écartement entre les plantes de tomate est de 40 cm.

Par bloc les traitements appliqués étaient :

- Traitement 1 (T1) : témoin non traité
- Traitement 2 (T2) : fumure organique (20T/ ha)
- Traitement 3 (T3) : fumure organique (20T/ha) + IDEFIX (2 kg / ha en pulvérisation)
- Traitement 4 (T4) ; fumure organique (20T/ha) + solarisation toile blanche
- Traitement 5 (T5) : fumure organique (20T/ha) + solarisation toile noire
- Traitement 6 (T6) : fumure organique (20T/ha) + IDEFIX (18,09 ml / plante)



PHOTO 1: Solarisation toile noire



PHOTO 2: Solarisation toile blanche

III.1.2.2.2. Le repiquage

Pour le repiquage, les plantules de tomate ont été sélectionnées en fonction de leur taux de croissance et de leur état de santé. Après le parcellage, un labour profond a été effectué quinze (15) jours avant le repiquage des plants de tomate. Cela permet de mieux aérer le sol et d'éliminer les chrysalides des ravageurs de culture. Trois (03) jours avant le repiquage, la fumure organique a été incorporée au niveau des parcelles élémentaires concernées en raison de 20T/ha. Le dispositif de solarisation a également été mis en place (couverture des parcelles élémentaires cibles soit avec du polyéthylène blanc ou noir après apport de la fumure organique). Des trous servant de points de repiquage ont été faits au niveau des polyéthylènes noir et blanc couvrant les billons des parcelles cibles tout en respectant les écartements entre les plants. Après ce travail, la parcelle expérimentale a été irriguée par gravitation.

III.1.2.2.3. Entretien de la parcelle expérimentale

Deux (02) semaines après le repiquage, un amendement d'engrais pour la culture de tomate à base de N PK (15, 15, 15) a été effectué en raison de 300 kg/ha. A la fin de la montaison, un mélange de N P K et d'Urée à proportions égales a été apporté. Un désherbage manuel régulier est effectué.

Dans le cadre de la protection de nos plantes de tomate repiquées, nous avons utilisé un insecticide à base de 15 g/L de lambda cyhalothrine et 20 g/L d'acétamipride à la dose 1 L/ha est effectué contre les ravageurs notamment la mouche-blanche (*Bemisia tabacci*), et ce au besoin.

III.1.2.2.4. Préparation et utilisation du produit chimique

(IDEFIX)

IDEFIX (2 kg / ha) est un fongicide-bactéricide de contact, existant sous forme de poudre et ayant un large spectre pour les cultures maraîchères et fruitières. La matière active de ce produit est l'ion cuivre (Cu^{2+}) libéré sous forme d'hydroxyde de cuivre. Ce produit a été utilisé en deux (02) modalités en association avec la fumure organique. En effet, le fongicide-bactéricide IDEFIX a été apporté par pulvérisation à l'aide d'un pulvérisateur dans une parcelle élémentaire préalablement traitée à la fumure organique ; l'ensemble constitue le traitement fumure organique+fongicide. La deuxième modalité d'usage du produit a consisté à apporter de façon localisée le produit chimique au pied des plantules de tomate repiquées à

l'aide d'une seringue stérilisée dans une parcelle élémentaire antérieurement traitée à la fumure organique, d'où le traitement fumure organique + injection fongicide.

Une masse de 6,4 g du produit chimique a été diluée dans 2,28 l d'eau. Pour l'apport par pulvérisation, ce volume de produit a été introduit dans un pulvérisateur pour traitement. Pour l'apport localisé, la même masse du produit et le même volume d'eau ont été utilisés. A l'aide d'une seringue, un volume de 18,09 ml a été prélevé et apporté au pied de chaque plantule de la parcelle cible.

III.1.3. Suivi de l'évolution du flétrissement bactérien au champ

III.1.3.1. Technique d'échantillonnage

Au cours de nos travaux, l'échantillonnage a été effectué dans une parcelle utile de superficie 17,28 m² (7,2 m x 2,4 m) contenant 76 plantes de tomate. Sur les 76 plantes de tomate, nous avons choisi 20 plantes suivant la diagonale en raison de cinq (05) plantes de tomate pour chaque ligne de la parcelle utile en tenant compte des effets de bordure et des poquets manquants. Dans chaque parcelle utile, on s'est intéressé au nombre de plantes de tomate présentant des symptômes du flétrissement bactérien de la tomate (nombre de plantes attaquées). Sur chaque plante de tomate attaquée, on a évalué la sévérité d'attaque et le taux de développement de la maladie.

III.1.3.2. Evaluation de la sévérité d'attaque de la maladie au champ

Au cours de notre expérimentation, la sévérité d'attaque du flétrissement bactérien de la tomate a été évaluée dans la parcelle utile en utilisant l'échelle de notation de COUPAT-GOUTALAND *et al.*, (2011) (annexe 2). La démarche a consisté à observer cinq plantes de tomate par ligne de la parcelle utile en suivant la diagonale et en omettant les plantes de bordure de la ligne, ce qui donne un total de 20 plantes observées dans chaque parcelle utile. A chaque observation on change de diagonale. L'effet moyen des différentes méthodes de lutte sur la sévérité d'attaque a été évalué par une sommation des différentes moyennes des parcelles élémentaires ; la somme obtenue est divisée par le nombre de traitements mis en expérimentation. Après division, la valeur obtenue constitue l'effet moyen. A travers la valeur de l'effet moyen, un calcul de proportionnalité est effectué pour trouver le pourcentage par

rapport au témoin non traité auquel la valeur 100% est affectée. Le même principe de calcul est utilisé pour les résultats présentés sous forme de tableau.

III.1.3.3. Evaluation du taux de développement de la maladie

Le taux de développement du flétrissement bactérien de la tomate a été évalué suivant la procédure d'observation que celle utilisée pour la sévérité d'attaque. Le taux de développement de la maladie que nous avons noté **R** a été évalué à l'aide de la formule d'AFANASSEVA *et al.*, (1983).

$$R(\%) = \frac{(a \times b)}{(N \times K)} \times 100$$

R : le taux de développement de la maladie (%)

K : Note la plus élevée de l'échelle

N: nombre total de plantes échantillonnées par parcelle utile.

(a × b) : Somme des produits de la sévérité d'attaque (a) par la note correspondante (b)

III.1.4. Test du verre d'eau

C'est un test présomptif, ce test a consisté à prélever des segments de tiges d'environ 7 à 12 cm de plantes flétries à l'aide d'un scalpel stérilisé en base de tige au champ et à les laver proprement à l'eau de robinet. Après lavage, les tiges ont été taillées obliquement et plongées dans des verres transparents ou dans des tubes transparents contenant de l'eau propre (eau minérale). Dans un intervalle de temps variant entre 30 secondes et 3 minutes, l'on peut observer la présence d'un filament blanc laiteux diffusant dans l'eau, confirmant ainsi l'hypothèse d'une infection bactérienne (photo 1). Il faut noter que les tiges prélevées sur les plantes flétries ont été mises à l'abri de l'air pendant leur transport au laboratoire. Cela permet d'éviter les éventuelles contaminations.



Photo 3 : Test d'exsudation de tiges (HEMA. S.A, 2016)

III.1.5. Tests biochimiques

III.1.5.1. Réaction de GRAM (ou test de solubilité dans KOH)

Une culture pure des colonies bactériennes obtenues dans le milieu SMSA a été prélevée à l'aide d'une anse et déposée dans une goutte de KOH à 3% sur une lame en verre. La prise d'anse déposée est frottée dans la solution pendant 20 secondes puis l'anse est soulevée à quelques centimètres de la lame. La formation d'un filament visqueux prouve que la bactérie est GRAM négatif. Si la culture bactérienne se dissout dans la solution de KOH, alors la bactérie est GRAM positif.

III.1.5.2. Test d'oxydase de Kovac's

Il a consisté à prélever une culture pure bactérienne de 24 heures et à la déposer sur du papier WATTMAN. Une goutte d'une solution aqueuse de dihydrochlorure de tétraméthylparaphénylène diamine à 1% préalablement préparée est ensuite déposée sur la pâte bactérienne. Si le pâté bactérien vire au violet ou au pourpre de façon instantanée ou après les dix secondes qui suivent le dépôt de la goutte, alors la réaction est positive. Au cas contraire, la souche bactérienne est négative.

III.1.6. Analyses statistiques

Les données récoltées ont été soumises à une analyse de variance au seuil de 5% suivie d'un test de Newman-Keuls à l'aide du logiciel **STAT-ITCF Version5-copyright-1987-1988-1991** et ce, après une transformation de celles-ci en $\sqrt{x + 1}$. Pour la construction des graphiques, c'est le logiciel Microsoft Excel (office 2010) qui a été utilisé. Les corrélations entre les facteurs ont été établies à l'aide du logiciel **ORIGIN3.0**.

III.2. TRAVAUX DE LABORATOIRE

Nos travaux au laboratoire ont consisté en la préparatoire des milieux de cultures spécifiques à certains groupes de microorganismes telluriques à savoir les bactéries nitrifiantes, les bactéries ammonifiantes, les champignons microscopiques, les bactéries cellulolytiques ayant un rôle important dans la fertilisation des sols. Nous nous sommes également intéressés à la culture, et à l'isolement des colonies de *R. solanacearum* à partir d'échantillons de sol prélevés dans la zone racinaire des plantes de tomate attaquées. Ces travaux ont pour but d'étudier l'impact des différentes méthodes de lutte utilisées sur la dynamique des populations de ces groupes de microorganismes et celles de la bactérie incriminée (*Ralstonia solanacearum*).

III.2.1. Matériels biologiques

Il s'agit des échantillons de sol prélevés avant l'application de nos différents traitements et à différents stades phénologiques (montaison, floraison, et maturation). Ces échantillons ont été prélevés à la proximité des racines des plantes de tomate attaquées à l'aide d'une tarière sur une profondeur de 20 à 25 cm. Pour chaque traitement, les échantillons de sol sont prélevés une seule fois au niveau de deux blocs. Ces échantillons sont mélangés et une masse de 10g est prélevé et diluée dans un volume de 90 ml d'eau distille pour ensemencement.

III.2.2. Préparation des différents milieux de cultures spécifiques

Les différents milieux de cultures spécifiques (AAA, MPA, TD, et G) et semi-sélectif (SMSA) (annexes 5 ; 6 ; 7 ; 8 et 9 respectivement) ont été préparés selon leurs compositions chimiques puis stérilisés à l'autoclave pendant 30 minutes sous une température de 120°C et une pression d'un 1bar. Après préparation, les milieux de culture ont été laissés au refroidissement avant d'être coulés dans des boîtes de Pétri de diamètre 90 mm et ensemencés.

III.2.3. Ensemencement des milieux de culture

Des échantillons de sol ont été prélevés dans deux (02) blocs à savoir les blocs I et III sur l'ensemble des quatre (04) blocs. Ces échantillons ont été conservés dans un congélateur. Pour l'ensemencement, les échantillons de sol du même traitement ont été mélangés. Une masse de dix grammes (10 g) du mélange est prélevée et dissoute dans 90 ml d'eau distillée stérilisée à l'autoclave pendant 30 minutes sous une température de 120°C et une pression d'un bar. Le mélange obtenu après dissolution a été agité à l'aide d'un agitateur mécanique pendant 15 minutes. Une dilution de 10^{-3} ou 10^{-4} a été effectuée en fonction de la nature du

milieu de culture à ensemercer. Nous avonsensemencé les différents milieux de culture solidifiés avec la solution diluée par prélèvement de quelques gouttes de cette dernière à l'aide d'une pipette graduée. L'ensemencement a été fait sous une hotte à flux laminaire, ce qui permet de travailler en conditions stériles.

L'ensemencement a été effectué en fonction de la nature du milieu de culture. En effet, selon la nature du milieu de culture, la quantité (nombre de gouttes) et la concentration de la solution utilisée ont varié.

Les milieux de cultures AAA et MPA ont étéensemencés avec une goutte de la solution diluée à 10^{-4} . Pour le milieu G, l'ensemencement a été effectué à l'aide de deux gouttes de la solution diluée de concentration 10^{-3} et du papier WHATMAN a été placé au dessus puis étalé à l'aide d'un étaloir. L'ensemencement du milieu TD a été effectué en versant 10ml de la solution diluée de concentration 10^{-4} dans chaque boîte de Pétri avant de couler le milieu de culture. Quant au milieu SMSA, deux gouttes de la solution de concentration 10^{-4} ont été utilisées.

Pour plus de représentativité, chaque traitement a été répété trois (03) au cours de l'ensemencement. Après ensemencement, les milieux de culture ont été mis en incubation sous une température de 20°C. Les colonies développées sur les milieux incubés ont été journalièrement comptées jusqu'à la fin de la durée de l'incubation qui est de 7 à 8 jours, 3 à 5 jours, 4 jours, 10 à 12 jours et 4 jours respectivement pour les bactéries nitrifiantes, les bactéries ammonifiantes, les champignons microscopiques, les bactéries cellulolytiques et pour *R. solanacearum*.

III.2.4. Evaluation du nombre de microorganismes

Après le comptage des colonies au niveau de chaque groupe de microorganisme, nous avons procédé à une évaluation de leur nombre en fonction des différents stades phénologiques. Les données sur les nombres de colonies et sur le coefficient d'humidité du sol à différents stades phénologiques nous ont permis d'évaluer le nombre de microorganismes à ces mêmes périodes. La formule suivante a permis le calcul du nombre de microorganismes :

$$N_m = \frac{N_c \times K}{H_c} \quad (\text{TEPPER } et \text{ al., } 1987)$$

Avec :

N_m : nombre de microorganismes par g de sol sec

N_c : nombre de colonies

H_c : coefficient d'humidité du sol

$K = 2 \cdot 10^5$ pour les milieux **MPA** et **AAA** et **$2 \cdot 10^4$** pour **G** et **TD**

CHAPITRE IV: RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1. RESULTATS

IV.1.1. Effets des différentes méthodes de lutte sur la dynamique de *Ralstonia solanacearum* dans le sol.

Avant application des traitements, il n'y a aucune différence significative entre les différentes parcelles élémentaires sur le nombre de bactéries (*R. solanacearum*) (Tableau I).

Au stade de la montaison (14^{ième} jour après traitement), l'effet moyen des différentes méthodes de lutte ($79,26.10^3$ bactéries / 1 g de sol sec) sur la dynamique d'évolution de *R. solanacearum* est une baisse de 24,51% par rapport au témoin non traité. Le traitement témoin présente plus de colonies de *R. solanacearum* (105.10^3 bactéries / 1 g de sol sec). Entre les différentes méthodes de lutte, la fumure organique associée à IDEFIX (injection) affiche plus de colonies ($91,30.10^3$ bactéries / 1 g de sol sec) ; soit une baisse de 13,04% par rapport au témoin non traité. Par contre, le plus faible nombre de colonies s'observe au niveau du traitement fumure organique+solarisation toile blanche ($68,70.10^3$ bactéries/ 1 g de sol sec) ; soit un déficit de 34,57% par rapport au témoin non traité.

Au stade de floraison (42^{ième} jour après traitement), l'effet moyen des différentes méthodes de lutte ($69,2.10^3$ bactéries / 1 g de sol sec) sur la dynamique des colonies de *R. solanacearum*, est une baisse de 32,16% par rapport au témoin non traité. Le traitement témoin affiche plus de colonies (102.10^3 bactéries / 1g de sol sec) par rapport aux autres traitements. Entre les différentes méthodes de lutte, le traitement fumure organique+ solarisation toile blanche affiche moins de colonies de *R. solanacearum* (60.10^3 bactéries / 1g de sol sec) soit une baisse de 41,20% vis-à-vis du traitement témoin ; tandis que la fumure organique associée à IDEFIX (injection) enregistre le maximum de colonies de *R. solanacearum* ($81,70.10^3$ bactéries / 1 g de sol sec) soit une baisse de 19,90% par rapport au témoin non traité. Les traitements fumure organique unique et la fumure organique associée à la solarisation toile noire ne diffèrent pas significativement et présentent une baisse de 35,30% et 37,25% respectivement par rapport au témoin non traité.

A la maturation complète (70^{ième} jour après traitement), l'effet moyen des différentes méthodes de lutte ($63,62.10^3$ bactéries / 1 g de sol sec) sur la dynamique de *R. solanacearum*,

est une baisse de 38,82% par rapport au témoin non traité. Le traitement témoin présente plus de bactéries (104.10^3 bactéries / 1 g de sol sec) par rapport aux autres traitements. Parmi les différentes méthodes de lutte, la fumure organique + IDEFIX (injection) affiche plus de colonies de *R. solanacearum* (73.10^3 bactéries / 1 g de sol sec) ; soit une baisse de 29,80% par rapport au traitement témoin. La fumure organique associée à la solarisation toile blanche enregistre le plus faible nombre de colonies (52.10^3 bactéries / 1 g de sol sec), soit une baisse de 50% par rapport au traitement témoin. Les traitements fumure organique unique et celle associée à la solarisation toile noire ne sont pas significativement différents et présentent une baisse de 40,38% et 41,35% respectivement par rapport au traitement témoin.

TABLEAU I : Variation de la population de *Ralstonia solanacearum* en fonction des différentes méthodes de lutte (1000 bactéries / 1 g sol sec).

Traitements	Stades phénologiques			
	Avant Application	Montaison (14 ^e JAT)	Floraison (42 ^e JAT)	Maturation complète (70 ^e JAT)
Témoin non traité	109,30	105,00a	102,00a	104,00a
Fumure organique (20T/ha)	109,70	79,00d	66,00 d	62,00d
Fumure organique (20T/ha) + IDEFIX (2 kg/ha)	110,38	83,30c	74,30 c	70,12c
Fumure organique (20T/ha) + solarisation toile blanche	110,00	68,70 f	60,00e	52,00e
Fumure organique (20T/ha) + solarisation toile noire	109,00	74,00e	64,00 d	61,00d
Fumure organique (20T/ha) + IDEFIX (18,09ml /plante)	109,30	91,30b	81,70 b	73,00b
Moyenne	110,11	83,56	74,67	70,39
Effet moyen		76,26	69,20	63,62
CV (%)	1,4	1,9	2,00	1,7
ETR (ddl=15)	1,58	1,57	1,53	1,18
ETM (Sx)	0,78	0,78	0,76	0,59
P (Probabilité)	0,07	0,03	0,006	0,007
Significativité	NS	S	HS	HS

NB : les moyennes d'une colonne affectées des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Newman-Keuls. S : Significatif (P< 5%) NS: Non Significatif (P> 5%). HS : Hautement Significatif (P< 0,01)

IV.1.2. Variation du nombre de plantes de tomate attaquées en fonction des différentes méthodes de lutte

La dynamique d'attaque des plantes de tomate par le flétrissement bactérien se caractérise par une augmentation jusqu'au 70^{ième} jour après application des différents traitements (tableau II).

L'analyse de variance effectuée au seuil de 5% selon le test de Newman-Keuls ne montre aucune différence significative entre les différents traitements, sur le nombre de plantes attaquées à la première semaine après traitement. Aucune infection n'a donc été observée.

Au 14^{ième} jour après traitement, l'effet moyen des différentes méthodes de lutte (1,09 plante / parcelle utile) est une augmentation de 9% par rapport au témoin non traité. Entre les différentes méthodes de lutte, la fumure organique et celle associée à IDEFIX (pulvérisation) ne se distinguent pas de manière significative entre eux et présentent un surplus de plants attaqués de 20% à 25% respectivement par rapport au témoin non traité.

Au 28^{ième} jour traitement, l'effet moyen des différentes méthodes de lutte (1,65 plantes / parcelle utile) est une augmentation de 65% par rapport au témoin non traité. Entre les différentes méthodes de lutte, la fumure organique et celle associée à la solarisation à l'aide de la toile blanche ne se distinguent pas significativement et présentent un surplus de plants attaqués de 65% et 53% respectivement par rapport au témoin non traité. La fumure organique associée à IDEFIX par pulvérisation et celle associée à IDEFIX par injection ne sont pas significativement différents. Ces deux (02) méthodes de lutte présentent un surplus de plants attaqués de 16,53% et 10% respectivement par rapport au témoin non traité.

Tableau II : Variation du nombre de plantes attaquées de tomates en fonction de la période d'observation (moyenne / par parcelle utile)

Traitements	Périodes d'observation (JAT= Jour Après Traitement)													
	7		14		28		42		56		63		70	
	Sans Transf.	après $\bar{x} + 1$	Sans Transf.	après $\bar{x} + 1$	Sans Transf.	après $\bar{x} + 1$	Sans Transf.	après $\bar{x} + 1$	Sans Transf.	après $\bar{x} + 1$	Sans Transf.	après $\bar{x} + 1$	Sans Transf.	après $\bar{x} + 1$
Témoin non traité	0,00	1,00	0,00	1,00c	5,76	2,60 a	13,74	3,84 a	19,70	4,50 a	19,97	4,58 a	31,5	5,70 a
Fumure organique (20T/ha)	0,00	1,00	0,44	1,20b	1,72	1,65 b	3,75	2,58 c	16,38	4,10 b	10,97	3,46 b	18,62	4,43 b
Fumure organique+IDEFIX (2 kg/ha)	0,00	1,00	0,56	1,25b	3,71	2,17 a	6,78	2,79 b	19,16	4,40 a	19,70	4,55 a	25,01	5,10 a
Fumure organique+ toile blanche	0,00	1,00	0,00	1,00c	0,44	1,20 c	1,56	1,60 d	8,61	3,10 c	7,76	2,96 c	9,50	3,24 e
Fumure organique+toile noire	0,00	1,00	0,00	1,00c	1,34	1,55 b	5,86	2,62 b	15,40	4,05 b	10,56	3,40 b	15,97	4,12 b
Fumure +IDEFIX (18,09ml/plante)	0,00	1,00	0,00	1,00c	4,47	2,34 a	9,89	3,30 a	19,70	4,50 a	19,43	4,52 a	18,80	4,15 b
Moyenne				1,07		1,92		2,79		4,15		3,92		4,67
Effet moyen				1,09		1,65		2,72		4,15		3,70		4,53
CV (%)				5,9		9,1		7,2		4,7		4,1		5,2
ETR (ddl=15)				0,7		0,18		0,19		0,19		0,17		0,23
ETM (Sx)				0,35		0,09		0,09		0,09		0,08		0,11
P (Probabilité)				0,03		0,01		0,03		0,01		0,001		0,01
Significativité				S		S		S		S		HS		S

Au 42^{ième} jour après traitement, l'effet moyen des différentes méthodes de lutte (2,72 plantes / parcelle utile) est en baisse de 29,20% par rapport au témoin non traité. Entre les différentes méthodes de lutte, la fumure organique + IDEFIX (pulvérisation) ainsi que celle associée à la solarisation à l'aide de la toile noire ne sont pas significativement différents. Ces deux méthodes de lutte présentent un déficit de plants attaqués respectivement de 27,34% et 31,80% par rapport au témoin non traité. Le traitement fumure organique + injection IDEFIX ne se distingue pas significativement du témoin non traité.

Au 56^{ième} jour après traitement, l'effet moyen des différentes méthodes de lutte (4,15 plantes / parcelle utile) est en baisse de 8,75% par rapport au témoin non traité. Entre les différentes méthodes de lutte, la fumure organique et celle associée au traitement thermosolaire à l'aide de la toile noire ne se distinguent pas significativement. Ces deux méthodes de lutte présentent un déficit de plants attaqués de 8,35% et 10,98% respectivement par rapport au témoin non traité. La fumure organique associée à la solarisation effectuée à l'aide de la toile blanche présente moins de plants attaqués (3,10 plants / parcelle utile), soit un déficit de 31,86% par rapport au témoin non traité. La fumure organique associée à IDEFIX (pulvérisation) et celle associée à IDEFIX (injection) ne diffèrent pas significativement du témoin non traité.

Au 63^{ième} jour après traitement, l'effet moyen des différentes méthodes de lutte (3,7 plantes / parcelle utile) est une baisse de 17,90% par rapport au témoin non traité. Entre les différentes méthodes de lutte ; la fumure organique unique et celle associée à la solarisation à l'aide du polyéthylène noir ne sont pas significativement différents et présentent un déficit de plants attaqués respectivement de 24,45% et 25,76% comparativement au traitement témoin. Les traitements fumure organique associée à IDEFIX (pulvérisation) et celle associée à IDEFIX (injection) ne diffèrent pas significativement du témoin non traité.

Au 70^{ième} jour après traitement, l'effet moyen des différentes méthodes de lutte (4,53 plantes / parcelle utile) sur le nombre de plants attaqués est une baisse de 20,52% par rapport au témoin non traité. Parmi les différentes méthodes de lutte ; la fumure organique et celle associée au traitement thermosolaire à l'aide de la toile noire ne sont pas significativement différents. Ces deux méthodes de lutte présentent un déficit de plants attaqués respectivement de 22,30% et 27,72% par rapport au traitement témoin. La fumure organique associée à la solarisation à l'aide de la toile blanche enregistre le plus faible taux de plants attaqués soit une baisse de 43,16% vis-à-vis du témoin non traité. Les traitements fumure organique associée à IDEFIX

(pulvérisation) et celle associée à IDEFIX (injection) ne diffèrent pas significativement du traitement témoin.

IV.1.3. Variation de la sévérité d'attaque de la bactériose en fonction des différentes méthodes de lutte

Le tableau III illustre l'évolution de la moyenne de la sévérité d'attaque de la bactériose en fonction des différentes méthodes de lutte du 7^{ième} jusqu'au 70^{ième} jour après traitement.

L'analyse de variance effectuée au seuil de 5% selon le test de Newman Keuls ne montre aucune différence significative entre les différents traitements au 7^{ième} jour après application des traitements.

Au 14^{ième} jour après traitement, l'effet moyen des différentes méthodes de lutte (1,13 / plante) sur la sévérité d'attaque est une augmentation de 13% par rapport au témoin non traité. Entre les différentes méthodes de lutte ; la fumure organique associée à IDEFIX (injection) présente la plus forte valeur de la sévérité (1,28 / plante), soit une augmentation de 28% par rapport au traitement témoin. Les traitements fumure organique associée à la solarisation effectuée à l'aide de la toile blanche et la fumure organique associée à la solarisation toile noire ne diffèrent pas significativement du témoin non traité.

Au 28^{ième} jour après traitement, l'effet moyen des différentes méthodes de lutte (1,40 / plante) sur la sévérité d'attaque est une augmentation de 18,64% comparativement au témoin non traité. Entre les différentes méthodes de lutte ; la fumure organique unique et celle associée à IDEFIX (pulvérisation) ne diffèrent pas significativement et présentent une baisse de la sévérité d'attaque de 8% par rapport au témoin non traité. La fumure organique associée à la solarisation toile blanche et celle associée à la solarisation toile noire ne diffèrent pas significativement. Ces deux méthodes de lutte présentent une baisse de la sévérité d'attaque de 18% vis-à-vis du traitement témoin. Le traitement fumure organique + IDEFIX (injection) ne diffère pas du témoin non traité.

TABLEAU III : Variation de la sévérité d'attaque de la bactériose (par plante) en fonction des différentes méthodes de lutte

Traitements	Périodes d'observation (JAT= Jour Après Traitement)													
	7		14		28		42		56		63		70	
	Sans Transf	après $\overline{x+1}$	Sans Transf	après $\overline{x+1}$	Sans Transf	après $\overline{x+1}$	Sans Transf	après $\overline{x+1}$	Sans Transf	après $\overline{x+1}$	Sans Transf	après $\overline{x+1}$	Sans Transf	après $\overline{x+1}$
Témoin non traité	0,00	1,00	0,00	1,00 c	0,40	1,18 a	0,86	1,40 a	2,27	1,80 a	2,67	1,92 a	3,91	2,22 a
Fumure organique (20T/ha)	0,00	1,00	0,02	1,14 bc	0,06	1,1 b	0,31	1,14 c	1,70	1,64 bc	2,00	1,73 b	2,40	1,84 b
Fumure organique+IDEFIX (2 kg/ha)	0,00	1,00	0,04	1,2 b	0,20	1,10 b	0,60	1,26 b	1,89	1,70 ab	2,50	1,87 a	2,86	1,96 b
Fumure organique+ toile blanche	0,00	1,00	0,00	1,00 c	0,02	1,00 c	0,16	1,10 d	1,10	1,45 d	1,77	1,66 c	2,12	1,76 e
Fumure organique+toile noire	0,00	1,00	0,01	1,01c	0,08	1,01 c	0,30	1,14 c	1,51	1,58 c	2,05	1,75 b	2,64	1,90 b
Fumure +IDEFIX (18,09 ml/plante)	0,00	1,00	0,08	1,28 a	0,40	1,18 a	0,81	1,34 a	2,14	1,77a	2,58	1,89 a	3,79	2,18 a
Moyenne				1,10		2,10		1,23		1,65		1,80		1,98
Effet moyen				1,13		1,40		1,20		1,63		1,78		1,93
CV (%)				9,1		9,2		8,4		5,7		3,2		4,2
ETR (ddl=15)				0,11		0,28		0,27		0,34		0,21		0,16
ETM (Sx)				0,05		0,14		0,13		0,17		0,10		0,08
P (Probabilité)				0,01		0,007		0,02		0,008		0,03		0,04
Significativité				S		HS		S		HS		S		S

Au 42^{ème} jour après traitement, l'effet moyen des différentes méthodes de lutte (1,20 / plante) sur la sévérité d'attaque est une hausse de 14,30% par rapport au témoin non traité. Parmi les différentes méthodes de lutte utilisées, la fumure organique associée à la solarisation toile blanche enregistre la plus faible valeur de la sévérité d'attaque (1,1 / plante) soit une baisse de 21,43% par rapport au témoin non traité. La fumure organique unique et celle associée à la solarisation toile noire ne diffèrent pas significativement et présentent une baisse de la sévérité d'attaque de 18,57% comparativement au témoin non traité. Le traitement fumure organique + IDEFIX (injection) ne sont pas significativement différents.

Au 56^{ème} jour après traitement ; l'effet moyen des différentes méthodes de lutte sur la sévérité d'attaque est de 1,63 / plante, soit une baisse de 9,45% par rapport au témoin non traité. Entre les différentes méthodes de lutte, la fumure organique associée à la solarisation toile blanche affiche la plus faible valeur de la sévérité d'attaque (1,45 / plante) soit une baisse de 19,44% par rapport au traitement témoin ; contre une plus forte valeur observée au niveau de la fumure+ IDEFIX (injection) (1,77 / plante), soit une baisse de 1,67% par rapport au traitement témoin. Ce traitement ne diffère pas significativement du traitement témoin.

Au 63^{ème} jour après traitement, l'effet moyen des différentes méthodes de lutte sur la sévérité d'attaque est de 1,78 / plante soit une baisse de 7,30% par rapport témoin non traité. Entre les différentes méthodes de lutte ; la fumure organique unique et celle associée à la solarisation toile noire ne sont pas significativement différents et présentent une baisse de la sévérité d'attaque de 9,89% et 8,85% respectivement par rapport au témoin non traité. La plus faible valeur de la sévérité d'attaque est observée au niveau de la fumure organique+solarisation toile blanche (1,66 / plante) soit une baisse de 13,54% vis-à-vis du témoin non traité. La fumure organique+ IDEFIX (injection) ne diffère pas significativement du témoin non traité. Ce traitement présente la sévérité d'attaque la plus élevée (1,89 / plante) soit une baisse de 1,56% par rapport au traitement témoin.

Au 70^{ème} jour après traitement, l'effet moyen des différentes méthodes de lutte sur la sévérité d'attaque est de 1,93 / plante, soit une baisse de 13,15 % par rapport au traitement témoin. Entre les différentes méthodes de lutte, la fumure organique+solarisation toile blanche enregistre la plus faible valeur de la sévérité d'attaque.

(1,76 / plante) soit une baisse de 20,72% par rapport au témoin non traité. Les traitements fumure organique unique et celle associée à la solarisation toile noire ne sont pas significativement différents. Ces deux méthodes de lutte présentent une baisse de la sévérité d'attaque de 17,12% et 14,41% respectivement par rapport au témoin non traité. La plus forte valeur de la sévérité d'attaque est observée au niveau du traitement fumure+IDEFIX (injection) (2,18 / plante) soit une baisse de 1,80% par rapport au témoin non traité. Ce traitement n'est pas significativement différent du témoin non traité.

IV.1.4. Variation du taux de développement de la maladie en fonction des différentes méthodes de lutte

Au 7^{ième} jour après traitement ; l'analyse de variance effectuée au seuil de 5% selon le test de Newman-Keuls ne montre aucune différence significative entre les différents traitements sur le niveau de développement de la maladie (Tableau IV).

Au 14^{ième} jour après traitement, l'effet moyen des différentes méthodes de lutte sur le niveau de développement de la bactériose est de 0,04% / parcelle utile. Le plus faible niveau de développement est observé au niveau du traitement fumure organique (0,03% / parcelle utile) ; tandis que le traitement fumure organique+ IDEFIX (injection) affiche le niveau de développement le plus élevé (0,1 % / parcelle utile).

Au 28^{ième} jour après traitement, l'effet moyen des différentes méthodes de lutte sur le niveau de développement de la maladie est de 0,4% / parcelle utile, soit une baisse de 72,43% par rapport au témoin non traité. Entre les différentes méthodes de lutte ; la fumure organique associée à IDEFIX (pulvérisation), la fumure organique associée à la solarisation toile noire et la fumure organique unique ne sont pas significativement différentes et présentent une baisse du taux de développement respectivement de 79,31% ; 71,03% et 81,40% par rapport au témoin non traité. La fumure organique associée à la solarisation toile blanche présente le plus faible niveau de développement (0,03% / parcelle utile) soit une baisse de 97,93% par rapport au témoin non traité. Le traitement fumure organique + IDEFIX (injection) affiche le niveau de développement le plus élevé (0,82% / parcelle utile) soit une baisse de 43,45% comparativement au témoin non traité.

Au 42^{ième} jour après traitement, l'effet moyen des différentes méthodes de lutte sur le niveau de développement de la bactériose est de 0,82% / parcelle utile soit une baisse de 66,70% par rapport au témoin non traité. Entre les différentes méthodes de lutte ; la fumure organique

associée à la solarisation toile blanche enregistre le plus faible niveau de développement (0,16% / parcelle utile) soit une baisse de 93,50% par rapport au témoin non traité. Le niveau de développement le plus élevé s'observe au niveau du traitement fumure organique+ IDEFIX (injection) (1,55% / parcelle utile) soit une baisse de 34,00% par rapport au témoin non traité. Les traitements fumure organique unique et celle associée à la solarisation toile noire ne sont pas significativement différents et présentent une baisse du niveau de développement de la maladie de 70,73% et 73,60% respectivement par rapport au témoin non traité.

Au 56^{ième} jour après traitement, l'effet moyen des différentes méthodes de lutte sur le taux de développement de la bactériose est de 5,00 % / parcelle utile, soit une baisse de 33,86% par rapport au traitement témoin. Parmi les différentes méthodes de lutte utilisées ; la fumure organique + solarisation toile blanche réduit mieux le niveau de développement de la bactériose (2,48% / parcelle utile) soit une baisse de 67,20% par rapport au témoin non traité. Le traitement fumure organique associée à IDEFIX (injection) affiche le niveau de développement le plus élevé (7,40% / parcelle utile) soit une baisse de 2,12% par rapport au traitement témoin. Ce traitement ne diffère pas significativement du témoin non traité.

TABLEAU IV : Effets des différentes méthodes de lutte sur le niveau de développement de la bactériose (%).

Traitements	Périodes d'observation (Jour Après Traitement)						
	7	14	28	42	56	63	70
Témoin non traité	0,00	0,00 c	1,45 a	2,46 a	7,56 a	9,78 a	14,43a
Fumure organique (20T/ha)	0,00	0,03 b	0,30 c	0,72 d	4,60 b	7,92 d	11,40cd
Fumure organique+IDEFIX (2 kg/ha)	0,00	0,06 b	0,42 c	1,01 c	6,24 ab	8,88 a	12,31bc
Fumure organique+ toile blanche	0,00	0,00 c	0,03 d	0,16 e	2,48 c	5,56 b	8,10e
Fumure organique+toile noire	0,00	0,00 c	0,27 c	0,65 d	3,94 bc	6,45 c	9,46d
Fumure +IDEFIX (18,09 ml/plante)	0,00	0,10 a	0,82 b	1,55 b	7,40 a	8,46 a	10,44ab
Moyenne		1,18	3,18	4,51	10,25	12,67	15,26
Effet moyen		0,04	0,4	0,82	5,00	7,45	10,34
CV (%)		9,3	8,7	7,0	4,8	5,6	3,4
ETR (ddl=15)		0,13	0,4	0,32	1,31	0,71	0,51
ETM (Sx)		0,005	0,02	0,16	0,65	0,35	0,25
P (Probabilité)		0,02	0,04	0,001	0,04	0,01	0,007
Significativité		S	S	HS	S	S	S

Au 63^{ème} jour après traitement, l'effet moyen des différentes méthodes de lutte sur le niveau de développement de la bactériose est de 7,45% / parcelle utile soit, une baisse de 23,82% comparativement au traitement témoin. Parmi les différentes méthodes de lutte ; la fumure organique associée à IDEFIX (pulvérisation) et celle associée à IDEFIX (injection) ne se distinguent pas significativement et présentent une baisse du niveau de développement de la maladie de 9,20% et 13,50% respectivement par rapport au témoin non traité. Le traitement fumure organique + IDEFIX (pulvérisation) enregistre le taux de développement le plus élevé (8,88% / parcelle utile) soit une baisse de 9,20% par rapport au témoin non traité.

Au 70^{ème} jour après traitement, l'effet moyen des différentes méthodes de lutte sur le niveau de développement de la maladie est 10,34% / parcelle utile soit, une baisse de 28,34% par rapport au témoin non traité. Entre les différentes méthodes de lutte, la fumure organique + solarisation toile blanche enregistre le niveau de développement le plus faible (8,10%/parcelle utile) soit une baisse de 43,87% par rapport au traitement témoin. Le niveau de développement le plus élevé s'observe au niveau du traitement fumure organique+ IDEFIX (pulvérisation) (12,31% / parcelle utile) soit une baisse de 14,70% par rapport au témoin non traité.

IV.1.5. Variation du nombre de bactéries cellulolytiques en fonction des différentes méthodes de lutte

Avant application des différents traitements, l'analyse de variance ne montre aucune différence significative entre les différentes parcelles sur le nombre de bactéries cellulolytiques (Tableau V).

A la montaison (14^{ème} jour après traitement), l'effet moyen des différentes méthodes de lutte sur la dynamique des bactéries cellulolytiques est de $331,32 \cdot 10^3$ bactéries / 1 g de sol sec, soit un surplus de 26,60% par rapport au témoin non traité. Entre les différents traitements, la fumure organique associée à la solarisation toile noire enregistre plus de bactéries ($378,30 \cdot 10^3$ bactéries / 1 g de sol sec) ; par contre la plus faible valeur s'affiche au niveau du traitement fumure organique + IDEFIX (injection) ($286 \cdot 10^3$ bactéries / 1g de sol sec). Les traitements fumure organique associée à la solarisation toile blanche et celle associée à la solarisation toile noire ne diffèrent pas significativement.

Au stade floraison (42^{ème} jour après traitement), l'effet moyen des différentes méthodes de lutte sur la dynamique des bactéries cellulolytiques est de $757,37 \cdot 10^3$ bactéries/ 1 g de sol sec,

soit une augmentation de 71,58% par rapport au témoin non traité. Parmi les différentes méthodes de lutte, la fumure organique + IDEFIX (injection) affiche le plus faible nombre de bactéries ($688,50 \cdot 10^3$ bactéries / 1 g de sol sec) ; à l'opposé le nombre le plus élevé s'observe au niveau de la fumure organique unique. Les traitements, fumure organique + IDEFIX (pulvérisation) et la fumure organique associée à la solarisation toile noire ne sont pas significativement différents.

TABLEAU V : Effets des différentes méthodes de lutte sur la dynamique des bactéries cellulolytiques (1000 bactéries / 1 g de sol sec)

Traitements	Stades phénologiques			
	Avant Application	Montaison (14 ^e JAT)	Floraison (42 ^e JAT)	Maturation complète (70 ^e JAT)
Témoin non traité	269,70	261,70 f	441,40 e	462,00 f
Fumure organique (20T/ha)	268,70	3 16,00 b	871,20 a	888,32 a
Fumure organique (20T/ha) + IDEFIX (2 kg/ha)	267,70	301,00 c	724,30 c	789,34 c
Fumure organique (20T/ha) + solarisation toile blanche	268,30	375,30 a	787,40 b	816,70 b
Fumure organique (20T/ha) + solarisation toile noire	266,70	378,30 a	715,45 c	761,45 d
Fumure organique (20T/ha) + IDEFIX (18,09 ml / plante)	268,70	286,00 e	688,50 d	728,37 e
Moyenne	268,28	319,70	704,79	741,03
Effet moyen		331,32	757,37	796,84
CV (%)	1,5	7,3	1,6	7,1
ETR (ddl=15)	1,39	9,45	11,58	5,51
ETM (Sx)	0,69	4,72	5,79	2,75
P (Probabilité)	0,07	0,005	0,007	0,03
Significativité	NS	HS	HS	S

A la maturation (70^{ième} jour après traitement), l'effet moyen des différentes méthodes de lutte sur la dynamique des bactéries cellulolytiques est de $796,84.1.10^3$ bactéries / 1 g de sol sec soit, une hausse de 72,50% par rapport au témoin non traité. Entre les différents traitements, la fumure organique affiche le nombre le plus élevé de bactéries ($888,32.10^3$ bactéries / 1 g de sol sec), soit une augmentation de 92,30% par rapport au traitement témoin. Par contre, la plus faible valeur s'observe au niveau de la fumure organique + IDEFIX (injection) ($728,37.10^3$ bactéries / 1 g de sol sec) ; ce qui correspond à une hausse de 57,65% par rapport au témoin non traité.

IV.1.6. Variation du nombre de champignons microscopiques du sol en fonction des différentes méthodes de lutte

Avant application des différents traitements, l'analyse de variance ne révèle aucune différence significative entre les différentes parcelles élémentaires sur le nombre de champignons microscopiques (Tableau VI).

Au stade de la montaison (14^{ième} jour après traitement), l'effet moyen des différentes méthodes de lutte sur la dynamique des champignons microscopiques ($373,92.10^3$ champignons / 1 g de sol sec) est une augmentation de 63,5% par rapport au traitement témoin. Entre les différentes méthodes de lutte, la fumure organique associée à la solarisation toile blanche présente le nombre le plus élevé de champignons microscopiques (396.10^3 champignons / 1 g de sol sec), soit une hausse de 73,15% par rapport au témoin non traité. Le plus faible nombre de champignons microscopiques s'observe au niveau de la fumure organique associée à IDEFIX (injection) ($349,30.10^3$ champignons / 1 g de sol sec), soit un surplus de 52,73% vis-à-vis du traitement témoin.

TABLEAU VI : Effets des différentes méthodes de lutte sur la dynamique des champignons microscopiques (1000 champignons / 1 g de sol sec)

Traitements	Stades phénologiques			
	Avant Application	Montaison (14° JAT)	Floraison (42° JAT)	Maturation complète (70° JAT)
Témoin non traité	370,00	228,70 f	224,72 f	244,82 f
Fumure organique (20T/ha)	371,30	383,00 b	643,5 d	660,30 d
Fumure organique (20T/ha) + IDEFIX (2 kg/ha)	365,00	361,70 d	474,68 e	490,40 e
Fumure organique (20T/ha) +solarisation toile blanche	368,00	396,00 a	833,70 a	875,20 a
Fumure organique (20T/ha) + solarisation toile noire	369,30	380,30 c	809,75b	843,60 b
Fumure organique (20T/ha) + IDEFIX (18,09 ml/plante)	370,00	349,30 e	715,00c	764,23 c
Moyenne	368,94	349,72	615,22	646,43
Effet moyen		373,92	224,72	244,82
CV(%)	1,3	4,8	1,4	3,1
ETR (ddl=15)	1,09	6,34	8,44	9,20
ETM (Sx)	0,54	3,17	4,22	4,60
P (Probabilité)	0,06	0,01	0,004	0,002
Significativité	NS	S	HS	HS

A la floraison (42^{ième} jour après traitement), le témoin non traité enregistre le nombre le plus faible de champignons microscopiques ($224,72 \cdot 10^3$ champignons /1 g de sol sec). Au sein des différentes méthodes de lutte, la fumure organique associée à la solarisation toile blanche présente le nombre le plus élevé de champignons ($833,70 \cdot 10^3$ champignons /1 g de sol sec) ; tandis la plus faible valeur s'observe au niveau du traitement fumure organique + IDEFIX (pulvérisation) ($474,68 \cdot 10^3$ champignons /1 g de sol sec).

A la maturation complète (70^{ième} jour après traitement), le témoin non traité affiche le plus faible nombre de champignons microscopiques ($244,82 \cdot 10^3$ champignons /1 g de sol sec). Parmi les différentes méthodes de lutte mises en place, la fumure associée à la solarisation toile blanche montre plus de champignons ($875,20 \cdot 10^3$ champignons /1 g de sol sec) ; contre une plus faible valeur au niveau du traitement fumure organique + IDEFIX (pulvérisation) ($490,30 \cdot 10^3$ champignons/1 g de sol sec).

IV.1.7. Variation du nombre de bactéries ammonifiantes du sol en fonction des différentes méthodes de lutte

Avant application des différents traitements ; l'analyse de variance ne montre aucune différence significative entre les différentes parcelles sur le nombre de bactéries ammonifiantes (Tableau VII).

A la montaison, l'effet moyen des différentes méthodes de lutte sur la dynamique des bactéries ammonifiantes est de $3349,74 \cdot 10^3$ bactéries / 1 g de sol sec, soit un surplus de 1,96% par rapport au témoin non traité. Entre les différentes méthodes de lutte, le traitement fumure organique affiche le nombre le plus élevé de bactéries ammonifiantes ($3371 \cdot 10^3$ bactéries/1 g de sol sec) ; tandis que la plus faible valeur s'observe au niveau du traitement fumure organique + IDEFIX (injection) ($3287,70 \cdot 10^3$ bactéries / 1 g de sol sec). Les traitements fumure organique+ IDEFIX (pulvérisation), celle associée à la solarisation toile blanche et celle associée à la solarisation toile noire ne sont pas significativement différents.

A la floraison, l'effet moyen des différentes méthodes de lutte sur la dynamique des bactéries ammonifiantes est de $7142,88 \cdot 10^3$ bactéries/ 1 g de sol sec, soit une hausse de 48,33% par rapport au traitement témoin. Parmi les différentes méthodes de lutte, la fumure organique associée à la solarisation toile blanche est la plus riche en bactéries ammonifiantes ($9031,80 \cdot 10^3$ bactéries / 1 g de sol sec)

TABLEAU VII : Effets des différentes méthodes de lutte sur la dynamique des bactéries ammonifiantes (1000 bactéries/ 1 g de sol sec)

Traitements	Stades phénologiques			
	Avant Application	Montaison (14 ^e JAT)	Floraison (42 ^e JAT)	Maturation complète (70 ^e JAT)
Témoin non traité	3355,67	3285,30 c	4815,40 e	4895,63 e
Fumure organique (20T/ha)	3353,00	3371,00 a	7728,90 c	8434,52 b
Fumure organique (20T/ha) +IDEFIX (2 kg/ha)	3354,00	3362,00 b	4570,98 f	4975,14 d
Fumure organique (20T/ha) + (solarisation toile blanche	3353,70	3365,30 b	9031,80 a	9345,00 a
Fumure organique (20T/ha) +solarisation toile noire	3354,30	3363,70 b	8325,20 b	8429,30 b
Fumure organique (20T/ha) + IDEFIX (18,09 ml /plante)	3353,30	3287,70 c	6057,60 d	6455,37 c
Moyenne	3354,00	3339,20	6754,98	7089,06
Effet moyen		3349,74	7142,88	7527,86
CV (%)	1,1	3,2	1,6	1,8
ETR (ddl= 15)	1,83	101,20	106,39	103,63
E T M (Sx)	0,91	50,6	53,20	51,81
P (Probabilité)	0,08	0,01	0,004	0,001
Significativité	NS	S	HS	HS

A la maturation complète, l'effet moyen des différentes méthodes de lutte sur la dynamique des bactéries ammonifiantes est de $7527,86.10^3$ bactéries / 1 g de sol sec, soit une augmentation de 53,77% vis-à-vis du traitement témoin. En considérant les différentes méthodes de lutte, la fumure organique associée à la solarisation toile blanche affiche le plus grand nombre de bactéries ammonifiantes (9345.10^3 bactéries / 1 g de sol sec) ; tandis que le plus nombre de bactéries ammonifiantes s'observe au niveau du traitement fumure organique+ IDEFIX (pulvérisation) ($4975,14.10^3$ bactéries / 1 g de sol sec). Les traitements fumure organique unique et celle associée à la solarisation toile noire ne sont pas significativement différents.

IV.1.8. Variation du nombre de bactéries nitrifiantes en fonction des différentes méthodes de lutte

Avant application des différents traitements, l'analyse statistique ne révèle aucune différence significative entre les différentes parcelles sur le nombre de champignons microscopiques (Tableau VIII).

Au stade de la montaison (14^{ème} jour après traitement), l'effet moyen des différentes méthodes de lutte ($9463,14.10^3$ bactéries / 1 g de sol sec) est une baisse de 0,58% par rapport au témoin non traité. Entre les différentes méthodes de lutte, la fumure organique associée à IDEFIX (injection) affiche le plus faible nombre de bactéries nitrifiantes ($9008,30.10^3$ bactéries / 1 g de sol sec) ; soit une baisse de 5,36 % par rapport au témoin non traité. Par contre celle associée à la solarisation toile blanche enregistre plus de bactéries nitrifiantes ($9928,70.10^3$ bactéries / 1 g de sol sec), soit une hausse de 4,30% par rapport au traitement témoin.

TABLEAU VIII : Effets des différentes méthodes de lutte sur la dynamique des bactéries nitrifiantes (1000 bactéries / 1 g de sol sec)

Traitements	Stades phénologiques			
	Avant Application	Montaison (14° JAT)	Floraison (42° JAT)	Maturation complète (70° JAT)
Témoin non traité	9570,00	9518,70 c	1899,40 f	2009,00 f
Fumure organique (20T/ha)	9566,70	9495,70 d	5481,70 b	5815,10 c
Fumure organique (20T/ha) + IDDEFIX (2 kg/ha)	9562,30	9573,30 b	4008,5 e	4208,46 e
Fumure organique (20T/ha) +solarisation toile blanche	9568,30	9928,70 a	5036,88 c	5938,22 b
Fumure org (20T/ha) + solarisation toile noire	9570,00	9309,70 e	7512,20a	7612,52 a
Fumure org (20T/ha) + IDEFIX (18,09 ml/plante)	9572,70	9008,30 f	4402,50d	4669,20 d
Moyenne	9568,33	9472,40	4723,40	5042,15
Effet moyen		9463,14	5288,36	5648,70
CV (%)	1,1	7,3	3,30	1,1
ETR (ddl= 15)	4,45	178,43	154,44	173, 3
ETM (Sx)	2,22	89,22	72,22	86,65
P (Probabilité)	0,09	0,04	0,001	0,006
Significativité	NS	S	HS	HS

A la floraison (42^{ème} jour après traitement), l'effet moyen des différentes méthodes de lutte (5288,36.10³ bactéries / 1 g de sol sec) est une hausse de 178,42% par rapport au traitement témoin. Le témoin non traité enregistre le nombre le plus faible nombre de bactéries nitrifiantes (1899,40.10³ bactéries / 1 g de sol sec). Au sein des différentes méthodes de lutte, la fumure organique associée à la solarisation toile noire présente le nombre le plus élevé de bactéries (7512,20.10³ bactéries/1 g de sol sec) ; tandis la plus faible valeur s'observe au niveau du traitement fumure organique + IDEFIX (pulvérisation) (4008,50.10³ bactéries /1 g de sol sec).

A la maturation complète (70^{ème} jour après traitement), l'effet moyen des différentes méthodes de lutte (5648,70.10³ bactéries / 1 g de sol sec) est une hausse de 181,2% par rapport au témoin non traité. Le traitement témoin affiche le plus faible nombre de bactéries nitrifiantes (2009.10³ bactéries / 1 g de sol sec). Parmi les différentes méthodes de lutte mises en place ; la fumure associée à la solarisation toile noire montre plus de bactéries nitrifiantes (7612,52.10³ bactéries / 1 g de sol sec) ; contre une plus faible valeur au niveau du traitement fumure organique + IDEFIX (pulvérisation) (4208,46.10³ bactéries/1 g de sol sec).

IV.1.9. Variation des composantes du rendement et du rendement en fonction des différentes méthodes de lutte

L'analyse de variance effectuée au seuil de 5% sur le nombre de tomate montre que ; le traitement témoin affiche le plus faible nombre de tomate (605,5 tomates / parcelle utile). Parmi les différentes méthodes de lutte, le traitement fumure organique associée à la solarisation toile noire enregistre le nombre le plus élevé de tomate (1030 tomates / parcelle utile), soit une augmentation de 69% par rapport au témoin non traité. Ce traitement ne se distingue pas significativement du traitement fumure organique + solarisation toile blanche qui affiche un nombre de 1006 tomates / parcelle utile ; soit un surplus de 65,05% par rapport au témoin non traité. Quant au traitement fumure organique + IDEFIX (injection), il présente le plus faible nombre de tomates (744,5 tomates / parcelle utile) parmi les différentes méthodes de lutte ; soit une hausse de 22,15% vis-à-vis du traitement témoin. (Tableau IX).

TABLEAU IX : Effets des différentes méthodes de lutte sur les composantes du rendement et sur le rendement de la tomate (par parcelle utile).

Traitements	Nombre de tomate Par parcelle utile	Rendements (tonnes / hectare)	Pourcentage (%) par rapport témoin
Témoin non traité	609,50 e	12,16 d	
Fumure organique (20T/ha)	772,50 c	18,56 c	152,63
Fumure organique (20T/ha) + IDEFIX (2 kg/ha)	882,75 b	18,14 c	149,20
Fumure organique (20T/ha) + solarisation toile blanche	1006,00 a	26,07 a	214,40
Fumure organique (20T/ha) + solarisation toile noire	1030,00 a	25,80 a	212,10
Fumure organique (20T/ha) + IDEFIX (18,09 ml /plante)	744,50 d	22,50 b	185,03
Moyenne	840,88	20,55	
CV (%)	2,20	5,3	
ETR (ddl=15)	18,31	1,09	
ETM (Sx)	9,15	0,05	
P (Probabilité)	0,04	0,02	
Significativité	S	S	

En ce qui concerne les poids de tomates, le traitement témoin affiche le plus faible rendement (12,16 T/ ha / parcelle utile). En considérant les différentes méthodes de lutte mises en place, le traitement fumure organique associée à la solarisation toile blanche présente le rendement le plus élevé (26,07 T / ha / parcelle utile), soit un surplus de rendement de 114,40 % par rapport au traitement témoin. Ce traitement n'est pas significativement différent du traitement fumure organique associée à la solarisation toile noire qui affiche un rendement de 25,80 T / ha / parcelle utile, soit une augmentation de 112,10 % par rapport au témoin non traité. Le plus faible des rendements s'observe au niveau du traitement fumure organique + IDEFIX (pulvérisation) (18,14 T / ha / parcelle utile) soit une augmentation de 49,20% par rapport au traitement témoin. Ce traitement ne diffère pas significativement du traitement fumure organique unique qui enregistre un rendement de 18,56 T / ha / parcelle utile ; soit un surplus de 53,63% vis-à-vis du traitement de référence.

IV.1.10. Corrélations entre les différents facteurs étudiés

La corrélation étudiée entre les rendements et le niveau de développement du flétrissement bactérien au 63^{ème} jour après traitement a pour équation de régression $y=-2x+46,39$ avec un coefficient de corrélation $r=-0,98$ (Figure 3) et une précision expérimentale $p=0,001$. Pour celle établie entre le rendement et le niveau de développement du flétrissement au 70^{ème} jour après traitement, l'équation de régression est $y= -2,34x + 46,43$, $r= -0,98$ et $p= 0,001$. (Figure.4).

La corrélation établie entre le nombre de tomate et le rendement a pour équation de régression $y=-0,03x-3,02$ avec un coefficient de corrélation $r= 0,85$ (Figure 5) et une précision expérimentale $p= 0,03$.

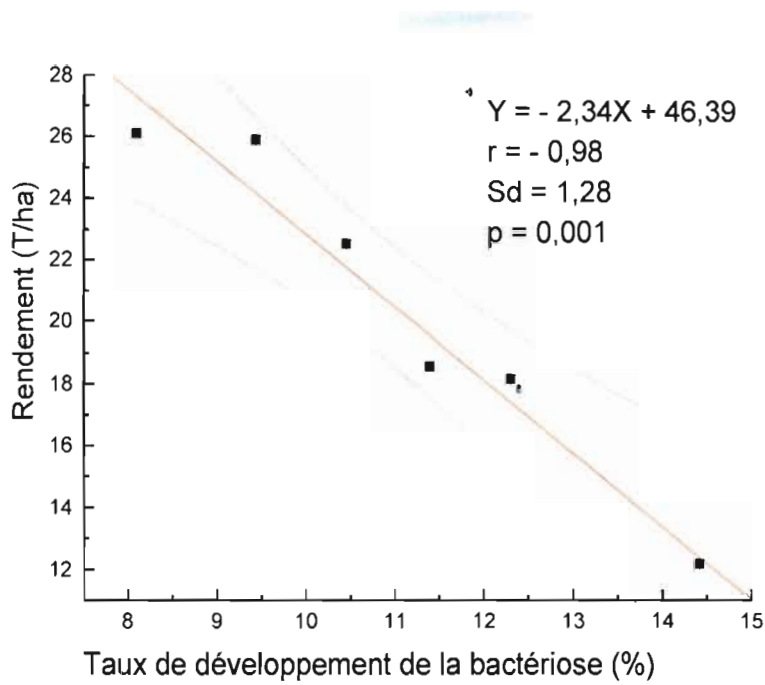


Figure 3: Corrélation entre le taux de développement de la bactériose et les rendements de la tomate au 63^{ème} jour après traitement

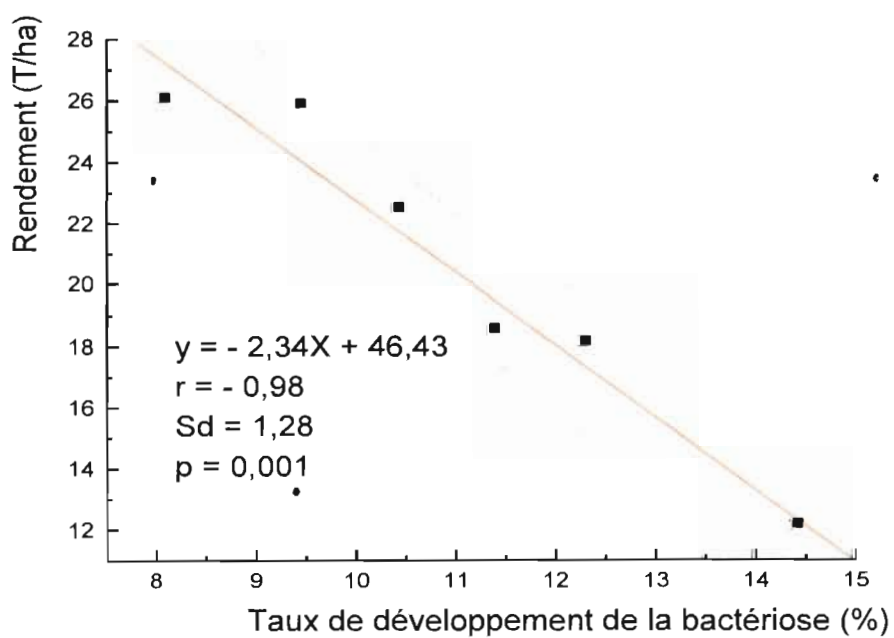


Figure 4: Corrélation entre les rendements et le niveau de développement de la bactériose au 70^{ème} jour après traitement.

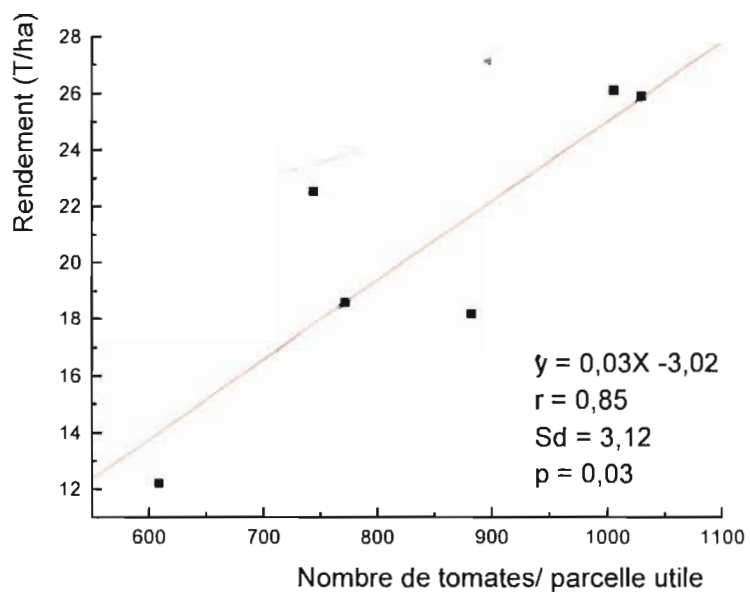


Figure 5 : Corrélation entre le nombre de tomates et le rendement de la tomate.

IV.2. DISCUSSION

L'objectif de la présente étude est d'accroître la production de la tomate par une réduction de l'incidence du flétrissement bactérien à travers des méthodes de lutttes durables et respectueuses de l'environnement.

Les résultats obtenus sur les effets des différentes méthodes de lutte sur la dynamique d'évolution de *R. solanacearum* dans le sol, montrent que le traitement fumure organique associée à la solarisation toile blanche a considérablement réduit la prolifération des populations de cette bactérie surtout entre le 63^{ième} et le 70^{ième} jour après traitement. En effet, une réduction des populations de *R. solanacearum* de 41,20% et 50,00% respectivement au 63^{ième} et 70^{ième} jour après traitement a été observée au niveau du traitement fumure organique + solarisation toile blanche par rapport au témoin non traité. Ce résultat s'expliquerait en partie par le fait que le film plastique blanc, capable de capter les rayons ultraviolets du soleil et de les transmettre en profondeur du sol sous l'action de l'humidité du sol, a permis une augmentation de la température dans le sol ; ce qui aurait inhibé la pullulation des populations de *R. solanacearum*. Ce résultat corrobore ceux obtenus par SENEVIRATINE (1988) sur l'influence de la température sur les souches de *R. solanacearum*. En effet, cet auteur a montré que la pullulation de *R. solanacearum* est inhibée à des températures supérieures à 43°C et que l'optimum de température pour le développement de cette bactérie se situe entre 30 et 35°C. La seconde explication pouvant être donnée à ce résultat est que la fumure organique apportée, a permis une amélioration de l'activité microbienne totale ; donc une prolifération des microorganismes antagonistes ; créant ainsi une compétition entre ces derniers et les agents pathogènes telluriques notamment *R. solanacearum*. Cette compétition se traduit soit, par un parasitisme des populations de *R. solanacearum* par les microorganismes, soit par une inhibition de leur activité. De plus ces microorganismes colonisent le système racinaire des plantes de tomates et empêchent l'installation ultérieure de la bactérie. Ce résultat est conforme à ceux de SOME (2001) où il a été établi que la fertilisation organique à des doses de 24 à 32 T/ha réduit l'incidence du flétrissement bactérien de 23% à 32% respectivement par rapport au témoin non traité. Par ailleurs, PRIOR *et al* (1993) ont montré que les amendements organiques réduisent l'incidence du flétrissement. Cette baisse de la prolifération de *R. solanacearum* pourrait s'expliquer aussi par l'action combinée de l'amendement organique à la solarisation toile blanche. Des résultats similaires ont été trouvés au Japon par OOSHIRO *et al.* (2004) sur des cultures de tomate et de pomme de terre en plein champ. Ces auteurs ont montré la combinaison d'un traitement du sol par

enfouissement des résidus de *Géranium carolinianum* mélangés à la fumure organique et mis en association avec la solarisation s'avère efficace dans le contrôle de *R. solanacearum*.

La solarisation toile noire associée à la fumure organique ainsi que la fumure organique unique ont donné des résultats satisfaisants vis-à-vis de la réduction des colonies de *R. solanacearum* dans le sol. Ces deux traitements ont entraîné une réduction de la population de *R. solanacearum* de 37,25% et 35,29% respectivement au 63^{ième} jour ; et de 40,20% et 39,22% respectivement au 70^{ième} jour après traitement par rapport au témoin non traité. Ces résultats pourraient s'expliquer par l'efficacité de l'action combinée de la fumure organique à la solarisation et de la fumure organique unique contre le flétrissement bactérien, comme décrit précédemment. Cependant il faut noter que la fumure organique utilisée seule réduit moins la prolifération de *R. solanacearum* par rapport à celle combinée à la solarisation. Cette différence d'efficacité pourrait s'expliquer par le fait que, dans le cas de l'usage de la fumure organique unique, les populations de *R. solanacearum* sont soumises à la seule action inhibitrice de certains microorganismes intervenant dans la dégradation de la matière organique dans le sol notamment les actinomycètes. Ce résultat est conforme à ceux de TURNER (2009) qui a montré que *R. solanacearum* n'est pas un compétiteur efficace par rapport à la microflore du sol. Par contre, dans le cas d'une association de la fumure organique et de la solarisation, les populations bactériennes sont soumises à l'action de la chaleur et de celle de la compétition avec les microorganismes intervenant dans la dégradation de la matière organique. Ce résultat s'apparente avec ceux de LEBAS obtenus en (2010) sur la gestion agro-écologique du flétrissement bactérien à travers des plantes de services en association avec la fumure organique et la solarisation.

Le fongicide-bactéricide (IDEFIX), utilisé par pulvérisation en association avec la fumure organique et par injection en association avec la fumure organique, a réduit moins la pullulation des populations de *R. solanacearum* par rapport aux traitements fumure organique et fumure organique combinée à la solarisation. Cette situation pourrait s'expliquer soit par le fait que, le produit IDEFIX renferme des produits chimiques dont l'action sur la bactérie est antagoniste à celle des microorganismes conférant à la fumure organique son efficacité contre la bactérie et vice versa ; soit la dose d'IDEFIX utilisée en association avec la fumure organique n'est pas suffisante pour provoquer une synergie d'action contre la bactérie.

Les résultats obtenus vis-à-vis de l'effet des différentes méthodes de lutte sur la dynamique d'évolution des microorganismes intervenant dans la fertilisation du sol (bactéries

cellulolytiques, champignons microscopiques, bactéries ammonifiantes et bactéries nitrifiantes), montrent que nos différents traitements n'ont pas perturbé l'évolution de ces êtres vivants. En effet une augmentation du nombre de chaque groupe de ces microorganismes par rapport au traitement témoin a été observée au niveau de nos différents traitements pendant tout le cycle de développement de la tomate. Ces résultats pourraient s'expliquer par l'addition de la fumure organique aux différents traitements. En effet, lorsque la fumure organique est apportée au sol, un ensemble de réactions chimiques faisant intervenir les microorganismes étudiés, se déroulent pour la transformation de cette dernière en éléments minéraux utilisables par la plante. Les bactéries cellulolytiques et les champignons microscopiques assurent la dégradation de la cellulose, tandis que les bactéries ammonifiantes et nitrifiantes assurent respectivement l'ammonification (transformation de l'azote en ammoniac) et la nitrification (transformation de l'ammoniac en nitrate assimilable par la plante). Ces résultats sont en concordance avec ceux de LEBEAU (2010) qui a montré que, l'apport de la fumure organique stimule l'activité microbienne totale du sol et favorise la dynamique d'évolution des microorganismes intervenant dans l'évolution de la matière organique dans le sol. Cependant il faut souligner que tous les traitements n'ont pas amélioré au même degré la dynamique des microorganismes. Les traitements fumure organique associée à la solarisation toile blanche, et celle associée à la solarisation toile noire ont plus favorisé la pullulation des microorganismes dans le sol. Ce résultat pourrait s'expliquer par la pression que ces traitements exercent sur les populations de *R. solanacearum* qui sont en compétition avec les microorganismes du sol. Les microorganismes se trouvent alors dans un milieu où l'action de leur antagoniste est faible, d'où leur prolifération. Ce résultat s'inscrit en concordance avec ceux obtenus par NAIMA et MAHJOUR (2001). Ces auteurs ont montré que la solarisation entraîne une augmentation de la faune bactérienne et favorise une absorption des éléments minéraux au niveau du sol solarisé.

Les effets induits par les différentes méthodes de lutte sur la dynamique d'évolution de *R. solanacearum* et sur celle des microorganismes ont eu des répercussions sur le nombre de plantes de tomate attaquées par le flétrissement bactérien, sur la sévérité d'attaque et le niveau de développement du flétrissement bactérien, ainsi que sur les composantes du rendement et sur le rendement de la tomate.

Par rapport au nombre de plantes attaquées, les traitements fumure organique + toile blanche, fumure organique + toile noire, et la fumure organique unique ont présenté moins de plantes attaquées à partir du 28^{ième} jour après traitement. En effet, au niveau de ces traitements le

nombre de plantes attaquées a été réduit de 35,37%, 25,76% et 24,45% respectivement au 63^{ème} jour par rapport au témoin non traité. Au 70^{ème} jour après traitement, la réduction du nombre de plantes attaquées au niveau de ces traitements est de 43,15%, 27,72% et 22,30% respectivement par rapport au traitement témoin. La réduction du nombre de plantes attaquées par ces différentes méthodes de lutte pourrait s'expliquer par la pression exercée par ces technologies sur la dynamique de *R.solanacearum*. En effet la bactérie étant tellurique, toute action engendrée ou subie par la bactérie dans le sol se manifeste au niveau des parties aériennes de la plante- hôte. Les traitements fumure organique+ solarisation et la fumure organique unique ont réduit la pullulation de *R. solanacearum* dans le sol entraînant ainsi une réduction de la maladie au niveau de ces traitements. Ces mêmes phénomènes d'inhibition de la pullulation des populations de *R. solanacearum* dans le sol par ces technologies expliqueraient la faiblesse de la sévérité d'attaque et celle du niveau de développement du flétrissement bactérien.

En ce qui concerne les composantes du rendement et le rendement, les meilleurs résultats ont été observés au niveau de la fumure organique associée à la toile blanche et la fumure organique associée à la toile noire. En effet, le nombre moyen de tomates par parcelle utile est de 1006 et 1030 tomates respectivement pour la fumure organique + toile blanche et la fumure organique + toile noire, avec un rendement de 26,07 T/ ha et 25,80 T/ha respectivement. Cette augmentation substantielle du rendement au niveau de ces deux traitements pourrait s'expliquer par une augmentation de la température du sol induite par les films plastiques et par conséquent une stimulation de l'activité microbienne du sol ; il s'en suit une bonne minéralisation de la fumure organique et donc la libération d'éléments minéraux nutritifs au profit de la plante de tomate. Ces résultats corroborent avec ceux obtenus par NAIMA et MAHJOUR (2001) sur l'influence de la solarisation sur les composantes du rendement et sur le rendement. Ces auteurs ont établi que la solarisation associée à l'amendement organique induit une bonne croissance végétative par une stimulation de l'activité microbienne totale du sol, ce qui favorise la libération et l'absorption des éléments minéraux par la plante ; et par conséquent une augmentation des rendements.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La tomate (*Lycopersicon esculentum*), appartenant à la famille des Solanacées est l'un des légumes les plus consommés au monde. En Afrique subsaharienne en générale, et au Burkina Faso en particulier ; c'est l'une des spéculations maraîchères les plus produites pendant les longues saisons sèches. La présente investigation scientifique avait pour objectif d'accroître la production de la tomate à travers une réduction de l'incidence du flétrissement bactérien causé par *Ralstonia solanacearum* par des méthodes de lutte durables et respectueuses de l'environnement. La fumure organique associée à la solarisation toile blanche, celle associée à la solarisation toile noire et la fumure organique unique ont considérablement réduit l'incidence du flétrissement et augmenté les rendements de la tomate par rapport au témoin non traité. Cependant, ces trois méthodes de lutte n'ont pas eu les mêmes degrés de réduction de l'incidence du flétrissement bactérien. En effet, la fumure organique associée à la solarisation toile blanche et celle associée à la solarisation toile noire ont réduit plus l'incidence du flétrissement bactérien par rapport à la fumure organique unique.

Le fongicide-bactéricide IDEFIX utilisé en association avec la fumure organique par pulvérisation et par injection a également réduit l'incidence du flétrissement bactérien et augmenté les rendements de la tomate par rapport au témoin non traité. Cependant l'utilisation de ce fongicide-bactéricide en association avec la fumure organique s'avère moins efficace que celle de la fumure organique unique et la fumure organique combinée à la solarisation.

Les différentes méthodes de lutte n'ont pas engendré d'impact négatif sur la dynamique d'évolution des microorganismes du sol notamment les bactéries cellulolytiques, les champignons microscopiques, les bactéries ammonifiantes et les bactéries nitrifiantes. Une pullulation de la population de ces microorganismes a été observée au cours du cycle de développement de la tomate.

L'efficacité avérée de nos technologies de lutte contre le flétrissement bactérien de la tomate pourrait permettre aux producteurs maraichers de récupérer les sites maraichers auparavant abandonnés à cause des attaques bactériennes dues à *R. solanacearum* ; ce qui constitue un progrès majeur pour la recherche scientifique.

En termes de perspectives, une étude doit être réalisée sur la rentabilité économique de nos différentes méthodes de lutte. Il faut également effectuer des tests biochimiques notamment le

test de pathogénie à partir des échantillons de plantes infectées pour confirmer davantage une attaque due à *R. solanacearum* ; enfin évaluer l'impact de ces méthodes de lutte sur les propriétés chimiques du sol notamment sur la disponibilité et l'assimilation des éléments minéraux majeurs à savoir l'azote, le phosphore et le potassium.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AFANASSEVA. A. I., GROUZDIEV. G.C., DIMITRIEV. L.B., ZINTCHENKO. I.K., KALININ. V.A., et SLOTSOV. R.I., 1983. Guide pratique de chimie de défense des cultures. M. KOLOS, 272p.

BALASUNDRAM N., SUNDRAM K. et SAMMAN S., 2006. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by products: antioxydant activity, occurrence and potential uses food chemistry (99): 191-203.

BARGUINI R. et TORRES E., 2009. Tomatoes and tomato products as dietary sources of antioxydants. *Food Rev. Int.* 25: 313-325.

BLANCARD D., 2009. Les maladies de la tomate: identifier, connaitre et maitriser. Edition Quae, France 679p.

BORO H., 2014. Gestion du flétrissement bactérien des solanacées causé par *Ralstonia solanacearum* par l'utilisation des variétés résistantes adaptées aux pathogènes du Burkina Faso. Mémoire d'ingénieur d'agriculture. Centre Agricole Polyvalent de Matourkou. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 74p.

BOURAS A., 2013. Impact de deux extraits végétaux: le basilic (*Ocimum basilicum*) et l'ail (*Allium sativum*) dans la lutte contre la mineuse de la tomate (*Tuta absoluta*) sur six variétés de tomate (*Lycopersicum esculentum*) sous abris plastique à l'I.T.D.A.S de Hassi Ben Adellah-Ouargla. Mémoire de Master en agronomie. Option: phytoprotection et environnement. Université KASDI MERBAH OUARGLA, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers, Ouargla, Algérie, 93p.

BUDDENHOGEN I., et KELMAN A., 1964. Aspects biologiques et physiologiques du flétrissement bactérien de la tomate causé par *Ralstonia solanacearum*. *Ann Rev. Phythopathol* (2): 203-230.

CARGLIA A., 2007. Lutte préventive contre le flétrissement bactérien en culture de tomate hors-sol. Etat des connaissances et conseils. Recueil de fiches techniques. Edit. Quae, France 79p.

CELLIER G., 2010. Deciphering phenotypic diversity of *Ralstonia solanacearum* strains pathogenic to potato. 100 (10), 1250-1261.

CHANG J., RIES S.M. et PATAKY J.K., 1992. Les sources locales de *Clavibacter michiganensis subsp. michiganensis* dans le développement du chancre bactérien sur tomates. *Phytopathol* (82): 553-560.

CIRAD (Organisme, France Ministère des affaires étrangères, cirad, centre de coopération Internationale en recherche agronomique pour le développement France) et **GRET** (groupe de recherche et d'échange technologique, ministère des affaires étrangères). **2002.** Mémento de l'agronomie. (Ed). Quae. P.1045-1046.

COOK D., BARLOW E. et SEQUIRA L., 1989. Genetic diversity of *Ralstonia solanacearum*. Detection of restriction fragment length polymorphism with DNA probes that specify virulence and hypersensitive response. *Mol Plant-Microbe Interaction* vol (2): 113-121.

COUPAT-GOUTALAND B., BERNILLON D., GUIDOT A., PRIOR P., NESME X., BERTOLLA F., 2011. *Ralstonia solanacearum* virulence increased following large inter strain gene transfers by natural transformation. *Molecular plant-microbe interactions* 24:497-505.

DIGAT B. et ESCUDIE A., 1967. Reconnaissance du flétrissement bactérien des solanacées aux Antilles françaises. *Phytiatrie-phytopharmacie*, Vol (16), 408-414.

DIGAT B., 1992. Contrôle biologique et de stimulation de la germination par bacterisation. *Phytoma. La défense des végétaux* (441): 35-38.

DUMORTIER P., EVRAD M. MAICHE M., NICOLAS A., DE RIDDERIC. et COSTA SANTOS BALTAZZAR S., 2010. Biodiversité chez la tomate, stratégie de conservation et de collection« Luc fichot ». Rapport final. Phytotechnie et horticulture. Gembloux agro bio tech, 105p.

DUPONT F. et GUIGNARD J.L., 2012. Botanique des familles de plantes. Edition Elsevier Masson, France, 300p.

FAOSTAT (2009). World tomatoes, all production by country 1990-2005.

FAOSTAT. 2013. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. [Http:// faostat.fao.org/site/567/Desktop Default.aspx? Page ID=567# ancor](http://faostat.fao.org/site/567/Desktop%20Default.aspx?PageID=567#ancor) (consulté le 21/09/2015 à 9h35mns).

FAO, 2014. La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture. Ouvrir l'agriculture familiale à l'innovation. ISBN 978-92-5-208536-2 (print). E-ISBN 978-92-5-108537-9 (PDF). 109 p.

FAVIER J., IRELAND-RIPERT J., TOQUE C. et FEINBERG A., 2003. Répertoire général des aliments. Ed Ciqual: 40-48p.

FEGAN M., and PRIOR P., 2005. How complex is the *Ralstonia solanacearum*. Species complex In: Bacterial wilt disease and the *Ralstonia solanacearum* species complex. APS Press: St PAUL, USA, PP449-461.

GALLAIS A. et BANNEROT H.,1992. Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection. Paris, INRA, 77p.

HAYWARD A.C., 1991. Biologie et épidémiologie du flétrissement bactérien causé par *Ralstonia solanacearum*. *Ann.rev Phythopathol* (29): 67-87.

IDRENMOUCHE S., 2011. Biologie et écologie de la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* (Lepidoptera: *Gelechiidae*) dans la région de Boumerdes. Mémoire de Master2 en Sciences Agronomiques E.N.S.A. El, Harrach, 103 p.

KELMAN A., 1953. Le flétrissement bactérien de la tomate causé par *Ralstonia solanacearum*. Une revue de littérature et bibliographie. Station expérimentale agricole de Caroline du Nord. Tech bull N°99, 194pp.

KOLEV N., 1976. Les cultures maraichères en Algérie Tomel. Légumes et fruits. Edition Elsevier. Ministère de l'agriculture et reformes agricoles: 52p.

LEBAS A., 2010. Evaluation du potentiel assainissant de six (06) espèces végétales vis-à-vis du flétrissement bactérien de la tomate en conditions semi-contrôlées (serre). Rapport de stage d'année intrestielle au sein de du PRAM: Septembre-Décembre. 90p.

LEBEAU A., 2010. Resistance de la tomate, de l'aubergine et du piment à *Ralstonia solanacearum*. Interactions entre les géniteurs de résistance et la diversité bactérienne, caractérisation et la cartographie des facteurs génétiques impliqués chez l'aubergine. Thèse de Doctorat, option: Phytopathologie. Faculté des Sciences et Technologies, Université de la Réunion, Saint Denis de la Réunion, 178p.

M A H., 2011. Rapport d'analyse du module maraichage, rapport d'étude phase 2: RGA 2006-2010. 214 p.

MAHBOU S.T., 2009. Diversité de *Ralstonia solanacearum* au Cameroun et bases génétiques de la résistance chez le piment (*Capsicum annum*) et les Solanacées. Institut des Sciences et des Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech), Paris, France, 181p.

MAHRH., 2005. Programme de développements de la petite irrigation villageoise. Rapport d'étude phase 2: RGA 2006-2010. 214p.

MAHRH (Ministère de l'agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques) et la **DGPSA**. (Direction Générale des Prévisions et des Statistiques Agricoles). Analyse des résultats de l'enquête maraichère, campagne **2004-2005**. Cadre stratégique de lutte contre la pauvreté.

MENZIES J.G. et JARVIS W.R., 1994. Chancre bactérien: (Eds). Diseases and plants of vegetables crops in Canada. Société canadienne de phytopathologie et la société d'entomologie du Canada, Ottawa, pp 341-342.

N'GUESSAN.C.A., AKO K., FONDIO L., CHIROLEU F., LEBEAU A., POUSSIER S., WICKER E., et KONE D., 2012. So near and yet so far: the specific case of *Ralstonia solanacearum* from Cote d'Ivoire in Africa. *Phytopathology* 733-740.

NAIMA B et MAHJOUB M., 2001. Effet de la solarisation sur *Phytophthora nicotianae* Breda de haan var. *parasitica* (Dastur) G. M. Waterhouse responsable d'un syndrome associant nécroses racinaires et flétrissement sur piment (*Capsicum annum*) en Tunisie. *TROPICULTURA*, 233:169-178.

NAIKA S., LIDJI J., GOFFAU M., HILMI M. et DAM B., 2005. La culture de la tomate – production, transformation et commercialisation. Edition Fondation Agromisa et C.T.A, 105p

NICOLE J F., 1995. Influence des facteurs biotiques et abiotiques sur la dynamique des populations de *Ralstonia solanacearum*, sur l'infection et sur le développement de la maladie. Thèse de doctorat, option phytopathologie. Université de Nantes, France, 253p.

OOSHIRO A., TAKAEZU K., NATSUME M., TABA S., NASU K., UCHARA M., et MURAMOTO Y., 2004. Identification and use of a Wild plant with antimicrobial activity

against *Ralstonia solanacearum*, the cause of bacterial wilt of potato, *Weed Biology* (4): 187-194

POLESE J.M., 2007. La culture des tomates. Amazon. Paris, France. Edition N°1, Volartemis. 95p

POUSSIER S., 2000. Exploration de la diversité génétique de *Ralstonia solanacearum*, agent du flétrissement bactérien de la tomate. Détection et dynamique des populations dans les réservoirs d'inoculum. Thèse de doctorat, option phytopathologie. Université de Rennes, Rennes, France, 209p.

PRIOR P., 2003. Informations nécessaires à l'analyse du risque phytosanitaire de *Ralstonia solanacearum* race 2 pour les zones Antilles, Guyanes et Réunion. Analyse du risque phytosanitaire. INRA. Juillet : 1-31.

PRIOR P., BERAMICA M., QUIQAMPOIX H., ROBERT C. et SCHMIT J., 1993. Contribution au contrôle intégré contre le flétrissement bactérien de la tomate dans différentes situations pédoclimatiques. CAB International Wallingford, UK, pp 209-223.

SENEVIRATINE S N., 1988. Soil survival of *Ralstonia solanacearum*, bacterial diseases of the planning conference on bacterial diseases of the tomato, March 16-20, 1987, Lima, Peru, pp 85-91.

SEQUEIRA L., HARTMAN G. L. et HAYWARD A C., 1993. Past, present and futur. Bacterial wilt proceeding of an international conference held at Kaohsiung, Taiwan, 28-31 October 1992 ACIAR proceeding Num 45, ACIAR, Australia, pp 12-21.

SHANKARA N., 2005. La culture de la tomate: production, transformation et commercialisation. 5^{ième} (Ed) foundation Agromisa et CTA, Wageningen. 209p.

SCHIMIT J. J., OFFORD L. C., HOLDERNESS M., et SADDLER G.S., 1990. Genetic diversity of *Burkholderia solanacearum* (*Pseudomonas solanacearum*) race 3 in Kenya. *Applied and Environmental Microbiology* 61: 4263-4268.

SENAN.S., MAMADOU D., DAOUDA.D., ANDRE.T. et OLIVIER.G.2007. Performance de six (06) cultivars de tomate contre la jaunisse en cuillère des feuilles, le flétrissement bactérien et les nématodes à galles. *Sciences & Nature* Vol 4. N°2: 123-130.

SNOUSSI S.A., 2010. Etude de base sur la tomate en Algérie. Rapport de Mission du Programme Régional de Gestion Intégrée des ravageurs pour le Proche-Orient. 213p.

SOME P.S., 2001. Influence de la fertilisation organique de la tomate sur le développement du flétrissement bactérien de la tomate causé par *Ralstonia solanacearum*. Mémoire d'ingénieur du développement rural. Option: Agronomie. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Institut du Développement Rural. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 62p.

TEPPER E. Z., CHILNIKOVA V. K., et PIRIVIERZEVA G. I., 1987. Guide pratique de microbiologie. M. Agropromizdat. 239p.

TOE. C. L., 2014. Perception des variations climatiques et stratégies d'adaptation des populations de Bobo-Dioulasso et de sa banlieue en vue d'une gestion durable des ressources édaphiques et hydriques. Diplôme de Master en gestion et management des écosystèmes forestiers, option Eaux et forêts. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. Institut de Développement Rural, Burkina Faso, 65p.

TRAORE F., 2007. Méthodes d'estimation de l'évapotranspiration réelle à l'échelle du bassin versant du Kou au Burkina Faso, Mémoire de fin d'étude de Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA) en Sciences et Gestion de l'Environnement, Université de Liège, Faculté des Sciences, Département des Sciences et Gestion de l'Environnement. Liège, Belgique 133 p.

TOUFOUTI Z H., 2013. Contribution à l'étude des maladies bactériennes de la tomate (*Lycopersicon esculentum*) cultivée en serre dans l'Est algérien. Diplôme de Magister en Biologie Appliquée. Option: microbiologie appliquée. Université de Constantine1. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Alger, Algérie, 89p.

TURNER M., 2009. Plusieurs niveaux de contrôle sont mis en jeu lors du flétrissement bactérien chez les légumineuses modèle *Medicago truncatula*. Thèse de doctorat. Option: Génétique et physiologie moléculaire des plantes et microorganismes associés. Université de Toulouse. Laboratoire de symbiose et pathologie des plants. Toulouse, France, 194p.

WELLENS, J., F. TRAORE, M. DIALLO, D. DAKOURE et N. F. COMPAORE, 2008. Renforcement structurel de la capacité de gestion des ressources en eau pour l'agriculture dans le bassin du Kou. Rapport Technique 2. APEFE-DRI/CGRI. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

WICKER E., GRASSARLT L., CORANSON-BEAUDU R., MIAN D. et PRIOR P., 2009. Evidence épidémiologique pour l'émergence d'un nouveau variant pathogénique de *Ralstonia solanacearum* en Martinique. *Plant Pathol* (158): 853-861.

YAO J., et ALLEN C., 2006. Chemotactism is required for virulence and competitive fitness of the bacterial wilt pathogen *Ralstonia solanacearum*. *Journal of Bacteriology* (188): 3697-3708.

ZIDANI S., 2009. Valorisation des pelures de tomate séchées et de leur incorporation dans la margarine. Thèse de magister, option: Technologie alimentaire. Laboratoire de Recherche Technologique et Alimentaire (L R T A), Université M'hamed Bougara, Boumerdes, 74 p.

WEBGRAPHIES

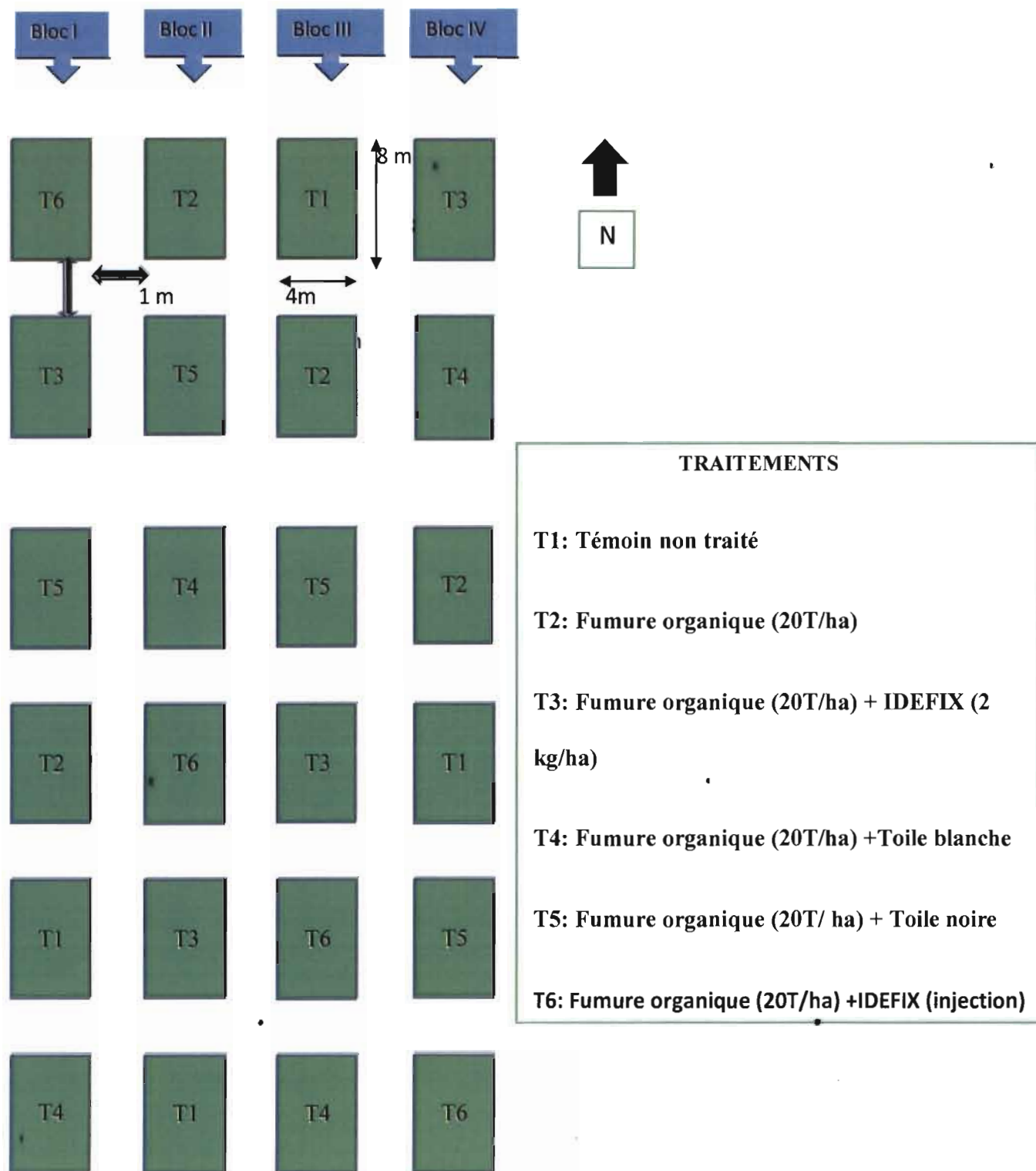
http://www.echangetv.levantin.free.fr/Cours/Agronomie/cours_agro/E..Chapitre.3.Chimie.du.sol.pdf. (Consulté le 07/12/2015 10h55mn)

http://www.proprietes_agrochimique_du_sol/Nutrition_végétale_-_Wikipédia.htm(consulté le 28/04/2016 09h 40mn)

http://www.projetpram.Canal_blog.com/archives/2014/07/27/30316854.html (consulté le 02/09/2015 11h 26 mn)

ANNEXES

ANNEXE 1 : Dispositif expérimental



ANNEXE 2 : Echelle de notation de la sévérité d'attaque du flétrissement bactérien de la tomate (COUPAT-GOUTANLAND *et al* 2011)

Note de la maladie	Sensibilité	Types de symptôme
0	Résistant	Aucun symptôme
1	Moyennement résistant	une feuille flétrie
2		Deux feuilles flétries
3	Sensible	Quatre ou plusieurs feuilles flétries
4		Plante morte

Annexe 3 : Valeur nutritionnelle par 100g de tomate crue (FAVIER *et al.*, 2003)

Eau		93,8g
Éléments énergétiques	Protides	0,8g
	Lipides	3,5g
	Glucides	0,3g
Vitamines	Provitamine A	0,6mg
	Vitamine B1	0,06mg
	Vitamine B2	0,05mg
	Vitamine B6	0,08mg
	Vitamine C	18mg
	Vitamine PP	0,6mg
Minéraux	Fer	0,4mg
	Calcium	9mg
	Magnésium	11mg
	Phosphore	24mg
	Potassium	226mg
	Sodium	5mg
Fibres		1,2g

Annexe 4 : Fiche d'observation de la sévérité d'attaque

ESSAI: Tomate (Petomech)

Campagne

Stade phénologique.....

Produit.....

Date.....

Répétition.....

JAT.....

N°	Sévérité d'attaque							
Traitements								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
Total								
Moyenne								

NB : Cette fiche d'observation est identique à celle du niveau de développement du flétrissement bactérien

Annexe 5 : Composition chimique du milieu de culture AAA pour bactéries nitrifiantes (7-8 jours)

(NH ₄) ₂ SO ₄	K ₂ HPO ₄	MgSO ₄ .7H ₂ O	NaCl	CaCO ₃	Amidon	Agar
2g	1g	1g	1g	3g	10g	20g

Annexe 6 : Composition chimique du milieu de culture MPA pour bactéries ammonifiantes (3-5 jours)

Extrait de viande	Peptone	NaCl	Agar
5g	10g	5g	20g

Annexe 7 : Composition chimique du milieu de culture TD pour champignons microscopiques (4 jours)

NaNO ₃	KH ₂ PO ₄	MgSO ₄ .7H ₂ O	Kcl	FeSO ₄	Saccharose	Agar
3g	1g	0,5g	0,5g	0,1g	30g	20g

Annexe 8 : Composition chimique du milieu G pour bactéries cellulolytiques (10-12 jours)

NaNO ₃	K ₂ HPO ₄	CaCl ₂	MgSO ₄	NaCl	Agar
2,5g	1g	0,1g	0,3g	0,1g	20g

(TEPPER *et al.*, 1987)

Annexe 9: Composition chimique du milieu SMSA pour *Ralstonia solanacearum* (3-4jours)

Caséine	Peptone	Glycérine	Agar	Bacitracine	Chloramphénicol	Pénicilline	T TC	Eau distillée
1g/L	10g/L	5ml/L	18g/L	25ml/L	5mg/L	0,5mg/L	0,5mg/l	1L

Annexe 10 : Fiche technique de la variété PETOMECH de tomate

Pureté : 99% mini

Germ : 85%

Précocité (jours) : 70 à 80 jours

Variété de type « SQUARE ». Fruit de 80 à 90 g en moyenne

Collet légèrement vert clair. Destiné au marché de frais et/ou à la transformation

Particularité : excellente fermeté

Rendement : 45 à 55 T/ha

Adaptations climatiques : très bien adaptée à la saison chaude et humide

Annexe 11 : Colonies de bactéries et champignons sur milieu de culture.



Photo 4 : Colonies de champignons microscopiques sur milieu (TD) (HEMA. S. A, 2016).

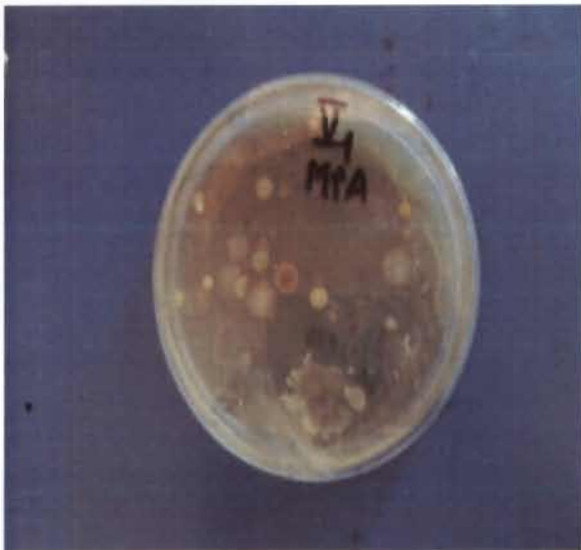


Photo 5 : Bactéries Ammonifiantes sur Milieu MPA (HEMA. S. A, 2016).



Photo 6 : colonies de bactéries nitrifiantes sur milieu AAA (HEMA. S. A, 2016).



Photo 7 : Colonies de bactéries Cellulolytiques sur milieu G (HEMA. S. A, 2016).

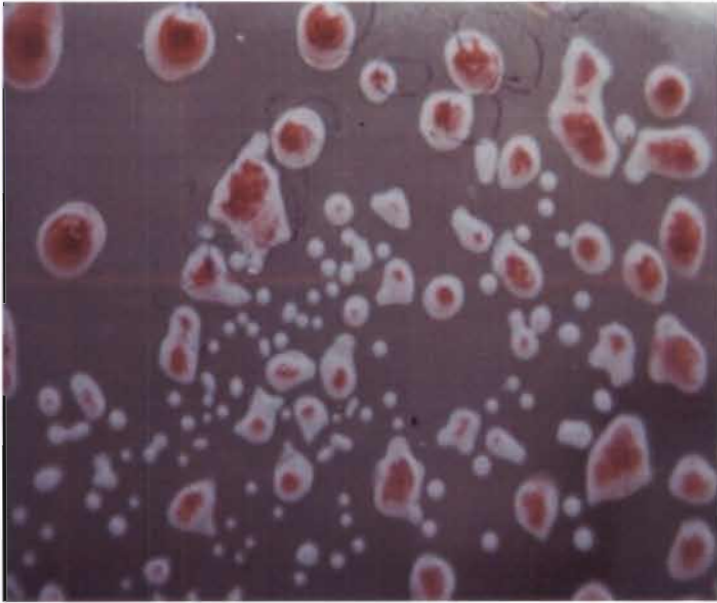


Photo 8 : Colonies de *Ralstonia solanacearum* sur milieu de culture SMSA.

(CELLIER, 2010)