

BURKINA FASO
UNITE-PROGRES-JUSTICE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR, DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET DE L'INNOVATION

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

En vue de l'obtention du

DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

Option: Agronomie

THEME

Evaluation des effets de la fiente de volaille, du fumier de vache et du fumier de porc sur le flétrissement bactérien de la tomate

Présenté par :

OUEDRAOGO Rasmané

Directeur de mémoire : Pr Irénée SOMDA

Maître de stage : Dr S. Léonard OUEDRAOGO

N° d'ordre 2016 /Agronomie

Juin 2016

Table des matières	Pages
DEDICACE	iii
REMERCIEMENTS	iv
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES PHOTOGRAPHIES	ix
RESUME	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	3
1.1 Généralités sur les Solanacées	4
1.2 Importance des Solanacées	4
1.3 Cas spécifique de la tomate	5
1.3.1 Origine	5
1.3.2 Classification	6
1.3.3 Caractéristiques et culture	6
1.3.4 Production et importance économique de la tomate.....	7
1.3.5 Utilisation de la tomate.....	7
1.3.5 Contraintes liées à la culture de la tomate	8
1.3.6 Contraintes biotiques	8
1.4. Etats des connaissances du flétrissement bactérien causé par <i>Ralstonia solanacearum</i>	9
1.4.1 Flétrissement bactérien dans le monde et en Afrique.....	9
1.4.2 Flétrissement bactérien au Burkina Faso.....	9
1.4.3. Agent causal de la maladie	10
1.4.4. Moyens lutte contre la maladie.....	18
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	21
2.1 Présentation du site de travail	22

2.2 Matériel	22
2.2.1 Matériel biologique.....	22
2.2.2 Matériel organique et minéral.....	23
2.2.3 Matériel chimique.....	23
2.3 Méthodes	23
2.3.1 Collecte des déjections d'animaux et mise en décomposition	23
2.3.2 Mise en place de la pépinière	24
2.3.3 Préparation des pots et repiquage	24
2.4 Caractéristiques physico-chimiques des différents types de fumures organiques	28
2.4.1 Analyses au laboratoire	28
2.5 Collecte des données	29
2.5.1 Effet des différentes fumures sur le flétrissement bactérien.....	30
2.6 Analyse statistique	31
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	32
3.1. Résultats	33
3.1.1 Caractéristiques physico-chimiques des fumures organiques	33
3.1.2 Effet des différents types de fumures organiques sur l'incidence de flétrissement causé par la souche RUN 1743 du phylotype I	35
3.1.3 Effet des différents types de fumures organiques sur l'incidence du flétrissement causé par la souche RUN 1793 du phylotype III.....	36
3.1.4 Effet des différents types de fumures organiques sur la cinétique de progression de la maladie causée par la souche RUN 1743	37
3.1.5 Effet des différents types de fumures organiques sur la cinétique de progression de la maladie (souche RUN 1793)	38
3.1.6 Effet des différents types de fumures organiques sur la croissance des plantes de tomate	39
3.2 Discussion	39
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	41
Références bibliographiques	42
ANNEXES	A

DEDICACE

Je dédie ce document à ma famille, notamment :

-à ma mère KIEMTORE Asseta pour son amour maternel et ses bénédictions;

-à mon père, feu OUEDRAOGO Abdoulaye pour m'avoir enseigné le respect d'autrui et de la nature;

-à tous mes frères et sœurs qui m'ont toujours apporté leur soutien inconditionnel durant mes études;

-à mon épouse OUEDRAOGO Salamata pour tout son aide, son soutien et sa patience;

-à tous ceux qui tendent une main fraternelle aux orphelins démunis.

REMERCIEMENTS

Le déroulement de la formation, du stage et l'élaboration du présent mémoire ont été possibles grâce aux efforts conjugués de plusieurs personnes. À cet effet, permettez-moi d'exprimer ma gratitude et mes sincères remerciements à leur endroit.

Nous remercions particulièrement:

-Pr Irénée SOMDA notre Directeur de mémoire qui, nonobstant son emploi de temps chargé, s'est investi dans la réalisation de ce mémoire ;

-Dr Léonard S. OUEDRAOGO, Maître de Recherche, notre Maître de stage. Il a suivi de bout en bout l'exécution des travaux de terrain et nous a fourni de précieuses informations et des conseils pour la rédaction de ce mémoire ;

-Dr SANOU Jacob, Directeur Régional de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles de l'Ouest (INERA, DRREA de l'Ouest), qui nous a autorisé à mener nos travaux au sein du laboratoire de phytopathologie ;

-M. Fabékouré KAMBIRE, coordonnateur scientifique du projet PARADE, pour le soutien matériel et financier, ainsi que ses multiples conseils dans l'élaboration de notre travail.

-Dr Issa WONNI, chargé de Recherche et Dr Schémaéza BONZI, assistant, nous leur témoignons notre reconnaissance pour leur collaboration, soutien et encouragement durant notre stage ;

-MM Oumarou TRAORE et Fousseni BORO pour leurs franches implications, soutiens et conseils multiformes dans la mise en place de l'essai, la collecte des données et la rédaction du document ;

-M. Sié Amoro OUATTARA pour les différentes analyses physico-chimiques des différents fumiers ;

-Tous les techniciens et stagiaires du laboratoire de phytopathologie, nous leur disons merci pour leurs soutiens multiformes lors de nos travaux ;

-Mme KERE/KANDO Christine, Directrice Régionale de l'Ouest de l'IRSAT, ainsi que tous ces collaborateurs pour leurs soutiens multiformes ;

-L'ensemble du corps professoral de l'Institut du Développement Rural pour leur professionnalisme dans l'encadrement des étudiants ;

-Tous les camarades de la promotion pour la convivialité, la solidarité, le soutien, les conseils et l'amour tout au long de cette formation;

Nous ne saurons terminer cette liste sans toutefois mentionner le projet PARADE à travers son promoteur national, Dr Roger H. NEBIE, Délégué Général du CNRST dont l'appui matériel et financier nous a permis la réalisation de cette étude. Nous remercions très sincèrement tous les partenaires dudit projet pour les efforts consentis en matière de formation ;

Nos remerciements vont aussi à l'endroit du Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (PPAAO) pour son soutien financier qui a joué un grand rôle dans la réalisation de nos activités.

LISTE DES ABREVIATIONS

ANOVA : Analyse de variance

PARADE : Participative Agro-Developpement Ecology

WAAP/PPAO : West African Agricultural Productivity Programme /Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest

INERA : Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles

IRSAT : Institut de Recherche en Sciences Appliquées et de Technologies

VBNC : (Viable But non culturales)

ADN : Acide désoxyribonucléique

FAO: Food and Agriculture Organization

V.F.N : *Verticillium*, *Fusarium verticillioides*, Nématodes

OEPP : Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes

QTLs : Quantitative Trait Locus

AUDPC : Area Under the Disease Progress Curve

IF: indice de flétrissement

CFU: colony forming unit

FM : fumure minérale

FiV : fiente de volaille

FO : fumure organique

MAHRH : Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques

UPB : Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso.

LISTE DES TABLEAUX

Pages

Tableau 1: Correspondance entre phylotypes, clades, séquévars et anciennes classifications de <i>R. solanacearum</i> (Fegan et Prior, 2005)	15
Tableau 2: Souches de référence de <i>R. solanacearum</i> utilisées dans notre étude.....	22
Tableau 3 : Quantité de fumure organique par dose et par pot.....	25
Tableau 4 : Caractéristiques physico-chimiques du sol de Farako-Bâ (Source : Bado, 2002)..	26
Tableau 5 : Echelle de notation des symptômes de la maladie.....	30
Tableau 6 : Résultats d'analyse physico-chimique des différents types de fumures organiques .	34
Tableau 7: Résultats de ANOVA sur les différents traitements.....	ANNEXE

LISTE DES FIGURES

Pages

Figure 1 : Dendrogramme des principales solanacées.....	4
Figure 2 : Cycle infectieux de <i>Ralstonia solanacearum</i> (Genin, 2010).....	16
Figure 3 : Dispositif expérimental	25
Figure 4 : Comparaison de la moyenne des IF de la souche RUN 1743 en fonction des doses des fertilisants	35
Figure 5 : Comparaison de la moyenne des IF de la souche RUN 1793 en fonction des doses des fertilisants	36
Figure 6 : AUDPC en fonction de la fréquence d'observation (souche RUN 1743).....	37
Figure 7 : AUDPC en fonction des fréquences d'observation (souche RUN 1793)	38
Figure 8 : Hauteurs moyennes des plantes de tomate infectées par la souche RUN 1743	39
Figure 9 : Hauteurs moyennes des plantes de tomate infectées par la souche RUN 1793.....	39

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Pages

Photo 1 : Colonies de <i>R. Solanacearum</i> sur milieu de Kelman (Cellier, 2010)	11
Photo 2 : Electrophorégramme type de diagnostic de <i>R. solanacearum</i> par Pmx-PCR, avec sites d'hybridation des amorces (Fegan et Prior, 2005).	14
Photo 3 : Flétrissement des feuilles de tomate	17
Photo 4 : Brunissement des vaisseaux conducteurs.....	17
Photo 5 : Test de verre d'eau réalisé au champ	17
Photo 6 : Séchage du fumier de porc	23
Photo 7 : Fumier de porc après tamisage.....	23
Photo 8 : Résidus issus du tamisage du fumier de porc.....	23
Photo 9 : Disposition des pots avant inoculation.....	27

RESUME

La présente étude s'inscrit dans le cadre de la recherche des méthodes de lutte alternative aux dégâts causés par *Ralstonia solanacearum* (agent responsable du flétrissement bactérien des solanacées). Elle vise à l'augmentation de la production et de la productivité de la tomate au Burkina Faso. Ainsi l'efficacité de trois fumures organiques (fiente de volaille, fumier de vache et fumier de porc) ont été évalué pour le contrôle du flétrissement bactérien causé par *Ralstonia solanacearum*. La fumure minérale (NPK 15-15-15) est utilisée comme témoin à la dose de 300 kg/ha. L'influence des doses croissantes de chaque type de fumure organique (10, 20, 30 et 40 t/ha soit 21, 42, 63 et 84 g/pot) sur l'incidence et la sévérité du flétrissement a été évaluée. Les essais ont été conduits dans des pots et le dispositif expérimental est un Split-Plot. L'inoculation artificielle des plants de tomate par *Ralstonia solanacearum* a consisté à scarifier les racines des jeunes plants et à déposer 2 ml de la suspension bactérienne obtenue d'une culture âgée de 48 h à la concentration de 10^8 CFU/ml sur les racines blessées. Les suspensions ont été préparées avec le phylotype I (RUN 1743) et le phylotype III (RUN 1793). Les résultats obtenus montrent que le fumier de porc et la fiente de volaille réduisent le flétrissement bactérien de l'ordre 40% à des doses comprises entre 30 et 40 tonnes/hectare. Le fumier de vache influence le flétrissement bactérien à des doses comprises entre 30 et 40 tonnes/ha mais son efficacité reste inférieure à la fiente de volaille et le fumier de porc. La poursuite des essais est suggérée avec la fiente de volaille et le fumier de porc à des doses comprises entre 10 et 30 t/ha.

Mots clés : Flétrissement bactérien, tomate, *R. solanacearum*, fertilisation organique, Burkina Faso

ABSTRACT

The present study appears in the setting of the research of the alternatives to the damages caused by *Ralstonia solanacearum* (agent responsible of the bacterial withering of the solanaceae). It aims to the increase of the production and the productivity of the tomato in Burkina. So the efficiency of three organic manures (droppings of poultry, manure of cow and manure of pork) valued for the control of the bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum*. The mineral manure (NPK 15-15-15) is used like witness to the dose of 300kg/ha. The influence of the increasing doses of every type of organic manure (10, 20, 30 and 40 t/ha or 21, 42, 63 and 84 g/pot) on the impact and the severity of the bacterial wilt has been noted. The tests have been driven in pots and the experimental device is a Split-Plot. The artificial inoculation of the tomato plantations by *Ralstonia solanacearum* consisted in scarifying the roots of the young plantations and to deposit 2 ml of the bacterial suspension aged of 48 hs to the concentration of 10^8 CFU/mls on the wounded roots. The suspensions have been prepared with the I phylotype (RUN 1743) and the III phylotype (RUN 1793). The gotten results show that the pig manure and the droppings of poultry reduce the bacterial withering of 40% to included doses between 30 and 40 tonnes/hectare. The cow manure influences the bacterial wilt to included doses between 30 and 40 tonnes/ha but its efficiency remains lower to the droppings of poultry and the pig manure. The pursuit of the tests is suggested with the poultry manure and the pig manure including doses between 10 and 30 t/ha.

Key words: bacterial wilt, tomato, *Ralstonia solanacearum*, organic fertilizer, Burkina Faso.

INTRODUCTION

L'économie du Burkina Faso repose sur l'agriculture qui occupe plus de 80 % de la population et contribue pour environ 33% au Produit Intérieur Brut (MAHRH, 2011). Parmi les filières agricoles, les cultures maraîchères occupent une place de choix (MAHRH, 2011). Elles constituent une importante source de devises pour l'économie nationale. En effet, sur la production maraîchère totale évaluée à 747 488 tonnes, la tomate occupe la deuxième place après l'oignon bulbe avec une production de 157 086 tonnes, soit 21 % de la production maraîchère totale (MAHRH, 2011). Elle reste la culture qui apporte plus de revenus au pays avec une marge brute qui s'élève à 5,5 milliards de FCFA environ (MAHRH, 2011). Elle demeure l'une des spéculations maraîchères la plus exportée dans les pays comme le Ghana, le Togo, le Benin, la Côte d'Ivoire et la Guinée Equatoriale (MAHRH 2011). L'importance de cette culture se traduit également par le fait que de nombreuses populations vulnérables vivent de la production et de la commercialisation des légumes en général et de la tomate en particulier (MAHRH, 2011). La tomate est l'une des spéculations maraîchères cultivées sur tout le territoire national. Mais le Nord, le Centre-Nord, les Hauts-Bassins et le Plateau Central en sont les grandes zones de production (MAHRH, 2011). En dépit des avantages qu'elle présente pour l'économie du pays et le bien-être des populations, cette culture fait face à de nombreuses contraintes biotiques qui peuvent réduire les rendements de 90 % (CORAF, 2010). En effet, les ravageurs, les champignons, les virus et les bactéries sont des contraintes biotiques majeures pour la production de la tomate. Parmi ces contraintes qui affectent la culture de la tomate figure le flétrissement bactérien causé par *Ralstonia solanacearum*. C'est l'une des maladies bactériennes la plus dévastatrice au monde (Coupat *et al.*, 2008). Le pathogène est d'origine tellurique avec un spectre d'hôtes assez large comprenant environ 200 espèces végétales appartenant à plus de 55 familles regroupant les monocotylédones et les dicotylédones (Cellier et Prior, 2010). La bactérie affecte beaucoup de cultures maraîchères dont les solanacées (tomate, pomme de terre, poivron, piment, aubergine etc.), les cucurbitacées (melon, concombre, etc.) et les cultures industrielles (banane, arachide, tabac, etc.). À celles-là s'ajoutent d'autres cultures comme le gingembre. Au Burkina Faso, l'incidence de la maladie atteint parfois 100 % sur les spéculations ci-dessus mentionnées (Ouédraogo et D'Arondel de Hayes, 1994 cité par Boro 2014). Cette bactériose a causé l'abandon de certaines cultures telles que la pomme de terre à Toussiana, la tomate à la Vallée du Kou, à Nakagouana et à Banakélédaga, l'aubergine au Bazèga (Somé, 2001). Face à cette contrainte biotique majeure, différentes stratégies de lutttes ont été

développées afin de réduire les dégâts. Il existe la méthode chimique en majorité basée sur l'utilisation des produits chimiques de synthèse, la lutte génétique par la création de variétés résistantes, l'utilisation des huiles essentielles comme des bio-fumigants (Pradhanang *et al.*, 2003), la lutte agronomique par la rotation des cultures avec les plantes non hôtes telles que le riz, le maïs, le soja, etc., les amendements organiques comme les boues de station d'épuration et la bagasse de canne à sucre (Getachew *et al.*, 2010).

La fertilisation organique est beaucoup appliquée par les maraîchers au Burkina Faso. Ils utilisent une gamme variée de fertilisants organiques (fumier de vaches, fiente de volaille, fumier de porc, déchets ménagers, etc.) pour l'amélioration de la productivité. Cependant, il existe peu d'informations scientifiques spécifiquement sur la question du contrôle du flétrissement bactérien à travers l'utilisation de la fumure organique. Il est impératif que des études soient menées afin de guider les producteurs dans le choix et l'utilisation de la fumure organique qui leur permettrait d'atténuer les effets du flétrissement bactérien sur la tomate. C'est dans cette optique que s'inscrit notre étude intitulée « **Evaluation des effets de fiente de volailles, du fumier de vache et du fumier de porc sur flétrissement bactérien de la tomate** ». Cette étude revêt un intérêt capital pour l'amélioration de la production et la productivité de la tomate au Burkina Faso. Il s'agit spécifiquement d'une part de déterminer le (s) meilleur (s) type (s) de fumure (s) organique (s) et d'autre part la dose optimale efficace dans la lutte contre le flétrissement bactérien de la tomate.

Le présent mémoire qui fait l'économie de nos travaux de recherche s'articule autour de trois chapitres. Le premier fait une synthèse bibliographique consacrée aux généralités sur les solanacées dont la tomate et *Ralstonia solanacearum*, le deuxième porte sur le matériel et les méthodes utilisés pendant l'expérimentation et le troisième traite des résultats et discussions des travaux. Enfin le travail s'achève par une conclusion générale assortie des perspectives.

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 Généralités sur les Solanacées

La famille des Solanacées est subdivisée en trois sous-familles, les *Solanoideae*, les *Cestroideae* et les *Nolanoideae*. La tribu des *Solaneae*, qui appartient à la sous famille des *Solanoideae* comprend plusieurs genres au nombre desquels *Capsicum* (piment), *Lycopersicon* (la tomate) et *Solanum* (pomme de terre et aubergine) (D'Arcy, 1991). Parmi les angiospermes, la famille des Solanacées est l'une des plus importantes dans l'alimentation humaine. En effet, cette famille renferme plus de 2500 espèces (Olmstead *et al.*, 2008) dont la moitié appartient au genre *Solanum* (Weese, Bohs 2007).

Des critères morphologiques comme la structure de la fleur, de la graine et de l'embryon ont d'abord été la base de leur classification qui a été complétée avec le progrès technique, par de nombreux autres critères comme le nombre et la forme des chromosomes, les métabolites secondaires, le polymorphisme des protéines, etc (Fegan et Prior, 2005 ; Daunay M. C. et Janick J., 2007). La classification des membres de la famille des Solanacées a été réorientée dans une logique phylogénétique avec l'avènement des marqueurs moléculaires révélateurs du polymorphisme de l'ADN (Olmstead *et al.*, 2008).

L'arbre phylogénétique est basé sur la variation des sites de restriction de l'ADN chloroplastique (Olmstead *et al.*, 2008). La longueur des branches est proportionnelle au nombre approximatif des changements des sites de restriction (Figure 1).

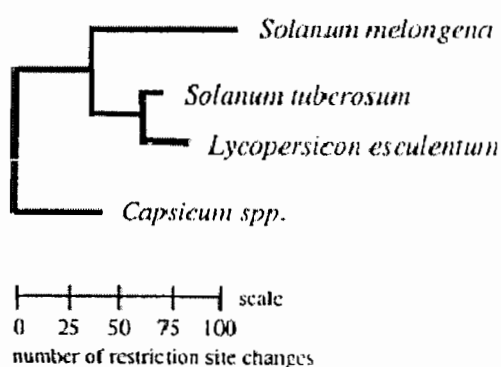


Figure 1 : Dendrogramme des principales solanacées (Olmstead *et al.*, 2008).

1.2 Importance des Solanacées

La famille des Solanacées comprend de nombreuses plantes utilisées dans la médecine et/ ou dans l'alimentation humaine. Des Solanacées comme la tomate, le piment, l'aubergine sont utilisées en nutrition ainsi qu'en médecine traditionnelle. En effet, le jus des feuilles de

l'aubergine africaine (*Solanum ethiopicum*) est utilisé en externe contre les piqûres d'insectes et de scorpions (Jouzier, 2005).

Les fruits des espèces du piment appartenant au genre *Capsicum* sont utilisés comme épice et en pharmacie pour leurs propriétés rubéfiantes (Jouzier, 2005). Les feuilles de tomate (*Lycopersicon esculentum*) sont riches en tomatine, douée de propriétés bactériostatiques et antifongiques qui intéressent la phytothérapie et la médecine vétérinaire (Jouzier, 2005). Selon Jouzier (2005), les feuilles et les graines de la Belladone (*Atropa belladonna*) et de la Stramoine (*Datura stramonium*) contiennent de l'hyoscyamine, de l'atropine et plus de scopolamine qui ont des propriétés antispasmodiques, antiasthmatique et sont utilisées dans la lutte contre la maladie de Parkinson. Le tabac (*Nicotiana tabacum*) est utilisé en industrie pour la fabrication de la cigarette (Jouzier, 2005).

1.3 Cas spécifique de la tomate

1.3.1 Origine

La tomate et les espèces qui lui sont apparentées sont originaires des Andes qui regroupent la Colombie, l'Équateur, le Pérou, la Bolivie et le Chili (Blancard *et al.*, 2009). La tomate cultivée est issue de la domestication de l'espèce sauvage *S. pimpineliform* d'Amérique du Sud (Peralta *et al.*, 2008). Elle fut introduite en Europe au XVI^{ème} siècle par les Espagnols avant même la pomme de terre et le tabac (Naika *et al.*, 2005).

1.3.2 Classification

Les noms de genre et d'espèce attribués à la tomate ont connu des modifications au fil du temps. Des dénominations comme *Solanum esculentum*, *S. lycopersicum*, *Lycopersicon lycopersicum* furent attribués à la tomate. Le nom finalement retenu jusqu'à très récemment est *Lycopersicon esculentum* Mill. (Miller, 1754 cité par Boro, 2014). Aussi, la classification retenue et rappelée par Gaussen *et al.* (1982) est la suivante :

Règne: végétal

Sous-règne: *Trachenobionta*

Division : *Magnoliophyta*

Classe: *Magnoliopsida*

Ordre: Solanales

Famille: *Solanaceae*

Genre: *Lycopersicon*

Espèce: *esculentum*

1.3.3 Caractéristiques et culture

La tomate est une plante pérenne généralement cultivée comme une plante annuelle. C'est une espèce végétative à croissance indéterminée (tige monopodiale) mais il existe certaines variétés à croissance déterminée (tige monopodiale puis sympodiale après 4 ou 5 feuilles (Blancard, *et al.*, 2009).

Les feuilles de la tomate sont alternes, composées, imparipennées et comprennent 5 à 7 folioles aux lobes découpés (Blancard *et al.*, 2009).

Le système racinaire de la tomate est de type fasciculé dont certaines peuvent atteindre 50 cm de profondeur (Naika, *et al.*, 2005).

L'appareil reproducteur est formé par des inflorescences de type déterminé. La tomate est généralement autogame mais des allofécondations sont possibles (Blancard *et al.*, 2009). La forme des fruits varie selon le cultivar.

La première cueillette peut avoir lieu 45 à 55 jours après la floraison, ou 90 à 120 jours après semis. La tomate a besoin d'un climat relativement frais et sec pour fournir une récolte

abondante et de qualité. Cependant la plante s'est adaptée à une diversité de conditions climatiques, allant du climat tempéré au climat tropical chaud et humide. La température optimale pour la plupart des variétés se situe entre 21 et 34 °C (Naika *et al.*, 2005).

La tomate pousse bien sur des sols riches en éléments minéraux et qui ont une bonne capacité de rétention en eau, une bonne aération et qui sont libres de sels (Naika *et al.*, 2005). Elle préfère les terres limoneuses profondes et bien drainées. Une profondeur de sol de 15 à 20 cm est favorable à la bonne croissance d'une culture saine. La tomate tolère modérément un large intervalle de valeurs du pH (niveau d'acidité), mais pousse le mieux sur des sols où la valeur du pH varie entre 5,5 et 6,8 (Naika *et al.*, 2005).

1.3.4 Production et importance économique de la tomate

La production mondiale de tomate a connu une croissance régulière au cours du XXe siècle et s'est accrue considérablement durant les trois dernières décennies. Elle est passée de 74 millions de tonnes en 1992 à 89 millions de tonnes en 1998, elle a atteint 124 millions de tonnes en 2006. Les grands pays producteurs de tomate sont la Chine, les Etats-Unis, la Turquie, l'Inde, l'Egypte et l'Italie (FAO, 2009). La consommation par individu, que ce soit en tomates fraîches ou transformées, ne cesse d'augmenter à l'échelle mondiale et continuera de grimper du fait de l'accroissement de la population humaine et les moyens de conservation qui permettent un transport sur de longues distances. La diversification des types variétaux et le changement des habitudes alimentaires qui orientent le consommateur vers les produits tels que ce légume (la tomate) (FAO, 2009).

Au Burkina Faso, la production totale de la tomate est estimée à 157 086 tonnes, soit 21 % de la production maraîchère totale (MAHRH, 2011).

1.3.5 Utilisation de la tomate

La tomate contient de précieux minéraux et des vitamines A et C. La tomate est cultivée pour ses fruits, charnus et juteux. Elle est consommée crue seule ou mélangée à d'autres légumes. Elle est aussi utilisée comme ingrédient dans la cuisson de nombreux plats et sauces. En industrie, elle sert à la préparation de concentré de tomate (Jouzier, 2005).

1.3.5 Contraintes liées à la culture de la tomate

1.3.5.1 Contraintes abiotiques

Ces contraintes regroupent les difficultés liées à la production, au financement et à la commercialisation. Au plan de la production, les producteurs maraîchers ont des difficultés d'accès aux intrants et aux équipements. De plus, la non maîtrise des techniques de production, l'insuffisance des terres et la rareté de l'eau sur les sites maraîchers sont une barrière à l'intensification de la culture. En fin le manque de moyens financiers des maraîchers et l'inaccessibilité au crédit agricole constituent les principales difficultés (MAHRH, 2011). Sur le plan de la commercialisation les difficultés rencontrées sont: la mévente, les bas prix des produits maraîchers, l'éloignement des centres de vente, le mauvais état des routes (MAHRH, 2011). À cela s'ajoute les contraintes climatiques et la pauvreté des sols qui concourent à un certain nombre de problèmes (Messiaen, 1979 ; Chaux et Foury, 1994). Parmi ces problèmes on a entre autres:

- la nécrose apicale** (maladie du cul noir) qui se manifeste par des plages de nécroses à la base du fruit. Elle est provoquée par une insuffisance en calcium ;
- les fentes de croissance** qui apparaissent généralement sur la moitié supérieure du fruit et sont de formes annulaires ou concentriques;
- la chlorose** qui se manifeste par une décoloration des feuilles. Les fruits sont souvent de petite taille par manque d'éléments nutritifs;
- le collet** qui verdit à cause de l'insuffisance en potassium et aussi l'excès de l'ensoleillement.

1.3.6 Contraintes biotiques

Les maladies et les ravageurs constituent un casse-tête pour les maraîchers en générale et les producteurs de tomate en particulier. En effet, les insectes ravageurs causent d'énormes dégâts aux cultures maraîchères notamment la tomate dans presque toutes les zones de production. Les principaux ravageurs de la tomate connus aujourd'hui sont *Helicoverpa armigera*, *Bemisia tabaci*, les *Thrips*, *Tuta absoluta*, les pucerons, etc. Les maladies parasitaires de la tomate sont causées par une gamme variée de bactéries et de champignons. Contrairement aux champignons, les bactéries n'infectent les plantes que par des ouvertures naturelles (les stomates, le tube pollinique, etc.) ou à travers les blessures. Ces parasites causent d'importants dégâts à la culture de la tomate. Parmi ces maladies parasitaires figurent le chancre bactérien, l'alternariose, l'anthracnose, la fusariose, le mildiou, le flétrissement

bactérien, etc. Le flétrissement bactérien constitue une menace sévère au développement de la culture de la tomate dans le monde (Gartemann *et al.*, 2003).

1.4. Etats des connaissances du flétrissement bactérien causé par *Ralstonia solanacearum*

1.4.1 Flétrissement bactérien dans le monde et en Afrique

Le flétrissement bactérien constitue une contrainte majeure des cultures maraichères dans le monde. *R. solanacearum* est largement répandu dans les zones à climat tropical et subtropical. Dans les régions OEPP, c'est surtout la race 3 qui est majoritaire, car cette souche dite "à faible température" est adaptée aux climats plus frais des zones d'altitude des tropiques et du bassin méditerranéen. Sa présence a maintenant été signalée dans des zones tempérées. La bactérie est présente dans 29 pays africains, 38 pays américains, 14 pays de l'Océanie (OEPP 2005).

Les travaux de thèse de Poussier (2000) furent les premiers dans le domaine de la recherche sur la diversité génétique des souches africaines de *R. solanacearum*. Ces travaux ont révélé que les souches originaires d'Afrique et de l'océan indien sont génétiquement différentes des souches originaires d'Asie, d'Amérique ou d'Indonésie. Les études de Fegan et Prior (2005) ont montré que ces souches appartiennent au phylotype III.

1.4.2 Flétrissement bactérien au Burkina Faso

Le flétrissement bactérien a été signalé pour la première fois au Burkina Faso à la station de Farako-Bâ par D'Arondel de Hayes (1964) cité par Somé (2001). Il a réalisé des isolements sur des fragments de tiges de tomate et d'aubergine flétris et a mis en évidence les souches de race 1, biovar I (phylotype I). Depuis cette période les travaux de recherche se sont poursuivis afin d'identifier les souches de *R. solanacearum* et de trouver des méthodes de lutte efficaces contre cette maladie. En effet, trois décennies après (octobre 1992), deux souches (race I, biovar I et III) de *Ralstonia* ont causé la mortalité de plus de 90% de la variété de tomate Rossol (Ouédraogo et D'Arondel de Hayes, 1994) cité par Somé (2001). Ouédraogo (1998) cité par Boro (2014) a signalé en plus des biovars I et III identifiés en 1994, l'existence du biovar IV de la race I.

En 2001, la maladie a été identifiée à la vallée de Kou. La totalité des souches isolées étaient de la race 1. La même année, une étude sur l'influence de la fertilité organique sur le développement du flétrissement bactérien de la tomate a montré que des doses de 24 à 32

tonnes de matières organiques induisent une baisse de l'incidence de la maladie de l'ordre de 23 à 30% (Somé 2001). Un criblage variétal mené par Boro (2014) a montré que la variété 17 F1 Panther est tolérante aux quatre phylotypes contrairement à la variété Rossol.

1.4.3. Agent causal de la maladie

Le flétrissement bactérien est une maladie provoquée par *R. solanacearum*. Chez les plantes infectées, les premiers symptômes sont le flétrissement des feuilles terminales, suivi, 2 à 3 jours après, d'un flétrissement soudain et permanent sans jaunissement. Cette bactérie est surtout commune dans les basses-terres des pays tropicaux où les températures sont relativement élevées (Naika *et al.*, 2005). L'agent pathogène (*R. Solanacearum*) affecte plus de 400 espèces végétales cultivées et sauvages (EPPO, 2005). Parmi les plantes cultivées on a entre autres, la pomme de terre, le tabac, la tomate, l'aubergine, le piment, le poivron, l'arachide, le bananier, etc. (Priou *et al.*, 2006). A celles-là s'ajoutent des Cucurbitacées (Mian *et al.*, 2003)

Ralstonia Solanacearum est une bactérie Gram négatif en forme de bacille ou bâtonnet, de 1,5 µm de long sur 0,55 µm de large en moyenne. Elle est asporulante, mobile par cils polaires. Cette mobilité confère à la bactérie son pouvoir pathogène au stade initial de l'infection (Tans-Kersten *et al.*, 2001).

Les souches les plus mobiles sont avirulentes. Elle est aérobie stricte et possède une oxydase mais ne synthétise pas de pigments fluorescents. Elle appartient à la famille des Pseudomonadacées. La plupart des souches oxydent généralement le glucose et accumulent des réserves énergétiques sous forme de granules lipidiques (poly-β-hydroxy butyrate) (Hayward, 1990).

Deux morphotypes de colonies peuvent être observés en culture sur milieu de Kelman enrichi au Triphenyltétraazolium. Il y a d'une part, les colonies présentant un aspect muqueux (dû à la production d'exopolysaccharides), de forme ovoïde et de couleur blanchâtre évoluant au rose au niveau du centre après 48h à 28°C (**photo 1**). Cette forme muqueuse est généralement virulente. D'autre part, des petites colonies rugueuses, rondes et de couleur rouge sombre, du fait de l'accumulation du Triphenylformazan peuvent être observées. Cette forme rugueuse est avirulente. La survie de l'agent pathogène est fonction des caractéristiques écologiques du milieu et de sa diversité génétique.

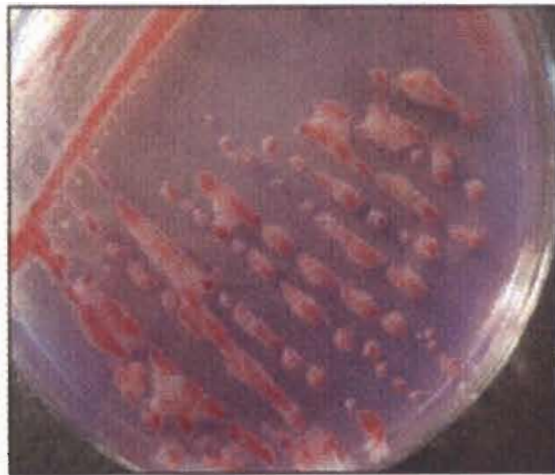


Photo 1: Colonies de *R. solanacearum* sur milieu de Kelman (Cellier, 2010)

1.4.3.1. Ecologie de *Ralstonia solanacearum*

R. solanacearum est une bactérie tellurique. De nombreux types de sols peuvent être contaminés par *R. solanacearum*. Toutefois, leurs propriétés physico-chimiques conditionnent la durée de survie de la bactérie (Hayward, 1991). La bactérie se maintient sans peine dans de nombreux sols jusqu'à 30 cm de profondeur durant plusieurs années, notamment à partir des débris organiques, si ces sols ont une capacité de rétention d'eau élevée (Blancard *et al.*, 2009). Certains sols sont propices au développement de la maladie, tandis que d'autres sont suppressifs. En effet, les oxisols (sols ferralitiques à argile de type halloysite ou kaolinite) sont favorables au développement de la maladie alors que les vertisols (à montmorillonites) ont un effet suppressif (Prior *et al.*, 1993). L'action suppressive des vertisols est en fait physique (séquestration des bactéries dans les feuillets

d'argile), et peut être annihilée par une irrigation inadaptée. Au niveau du sol, des réservoirs d'inoculum peuvent se constituer via les plantes flétries en décomposition, les débris organiques et les tubercules de pomme de terre porteurs d'infections latentes (Prior *et al.*, 1990).

Par ailleurs, la température et l'humidité sont les principaux facteurs qui interviennent dans la survie et le développement de la bactérie mais aussi dans l'expression de la maladie. En effet pour une température comprise entre 0 et 10°C, la bactérie est très peu virulente et la maladie ne se manifeste pas. L'optimum de température pour la manifestation de cette maladie se situe entre 30 et 35°C (Milling *et al.*, 2009). Certaines souches «émergentes» sont capables d'attaquer la tomate à 20°C (Lebeau *et al.*, 2010).

Selon Grey et Steck (2001), *R. solanacearum* peut survivre à des conditions de stress. En effet, la bactérie peut survivre dans un état viable mais non cultivable. Cet état peut être considéré comme un mécanisme de dormance et de survie pour des bactéries asporulentes. L'eau est aussi un milieu de conservation pour la bactérie. D'après les études de Poussier (2000), *R. solanacearum* se maintient dans l'eau mais sa survie est variable de deux semaines à quelques mois selon la qualité de l'eau, la température et le phylotype concerné.

1.4.3.2 Classification de *Ralstonia solanacearum*

La grande variabilité de *R. solanacearum* trouve son explication dans l'existence de plusieurs souches, qui diffèrent notamment par leur aptitude à métaboliser divers sucres et à dénitrifier les nitrates ainsi que par leur spectre d'hôtes distincts (Blancard *et al.*, 2009).

1.4.3.2.1 Classification des souches en biovars

R. solanacearum appartient à un groupe taxonomique complexe subdivisé de manière informelle en cinq (5) races sur la base du premier hôte affecté et en six (6) biovars sur la base du catabolisme de trois disaccharides notamment le Cellobiose, le Lactose et le Maltose et trois alcools de sucre à savoir le Dulcitol, le Mannitol et le Sorbitol (Hayward, 1964 ; Seal *et al.*, 1992)

1.4.3.2.2 Classification des souches en races

R. solanacearum est traditionnellement classée en 5 (cinq) races physiologiques.

Race 1 : race polyphage regroupant les souches pathogènes sur la plupart des solanacées et des bananiers diploïdes.

Race 2: race adaptée aux bananiers triploïdes dans la zone tropicale

Race 3: elle attaque de préférence à la pomme de terre, la tomate, les mauvaises herbes appartenant à la famille des solanacées, en conditions tempérées,

Race 4 : elle est pathogène du gingembre (Pegg ;Moffet, 1971)

Race 5 : Elle est inféodée au murier (He *et al.*, 1983)

1.4.3.2.3 Caractéristique des phylotypes et séquévars

La classification des souches de *R. solanacearum* en phylotype est encore appelée caractérisation hiérarchique selon Fegan et Prior (2005). Un phylotype se définit comme un cluster monophylétique de souches révélé par l'analyse phylogénétique des séquences. Ce regroupement doit être constitué indépendamment de la partie du génome séquencée. Ceci peut être le gène *mutS*, *hrp*, *egl*, l'ITS et autres. Il est caractérisé par le nombre et la position des amplicons (en paire de bases pb) sur le gel de migration des ADN des souches en question (Prior *et al.*, 1990) (Photo 2). Quatre phylotypes corrélés avec l'origine géographique ont été définis. Il s'agit des phylotypes I, II, III et IV originaires respectivement d'Asie, d'Amérique, d'Afrique et d'Indonésie (Photo 3). Le phylotype I est équivalent à la division 1 de Cook *et al.*, 1989. Il comprend toutes les souches appartenant aux biovars 3, 4 et 5 isolés pour la première fois en Asie. Le phylotype II équivaut à la division 2 et est constitué des souches appartenant aux biovars 1, 2 et 2T initialement isolés d'Amérique. Ce phylotype inclut aussi la race 3 de *R. solanacearum* pathogène de la pomme de terre et qui est disséminée à travers le monde ainsi que la race 2 pathogène du bananier plantain. Le phylotype III se compose de souches originaires d'Afrique et des îles environnantes. Il s'agit des souches appartenant aux biovars 1 et 2T. Le phylotype IV est constitué des souches indonésiennes appartenant aux biovars 1, 2 et 2T de *R. solanacearum* (Blancard *et al.*, 2009).

Le séquévar est un groupe de souches dont le profil sur la base du séquençage du gène codant l'endoglucanase (egl) diverge de moins de 1%. Plus d'une cinquantaine de séquévars ont été identifiés à ce jour (Fegan et Prior, 2005) (Tableau 1).

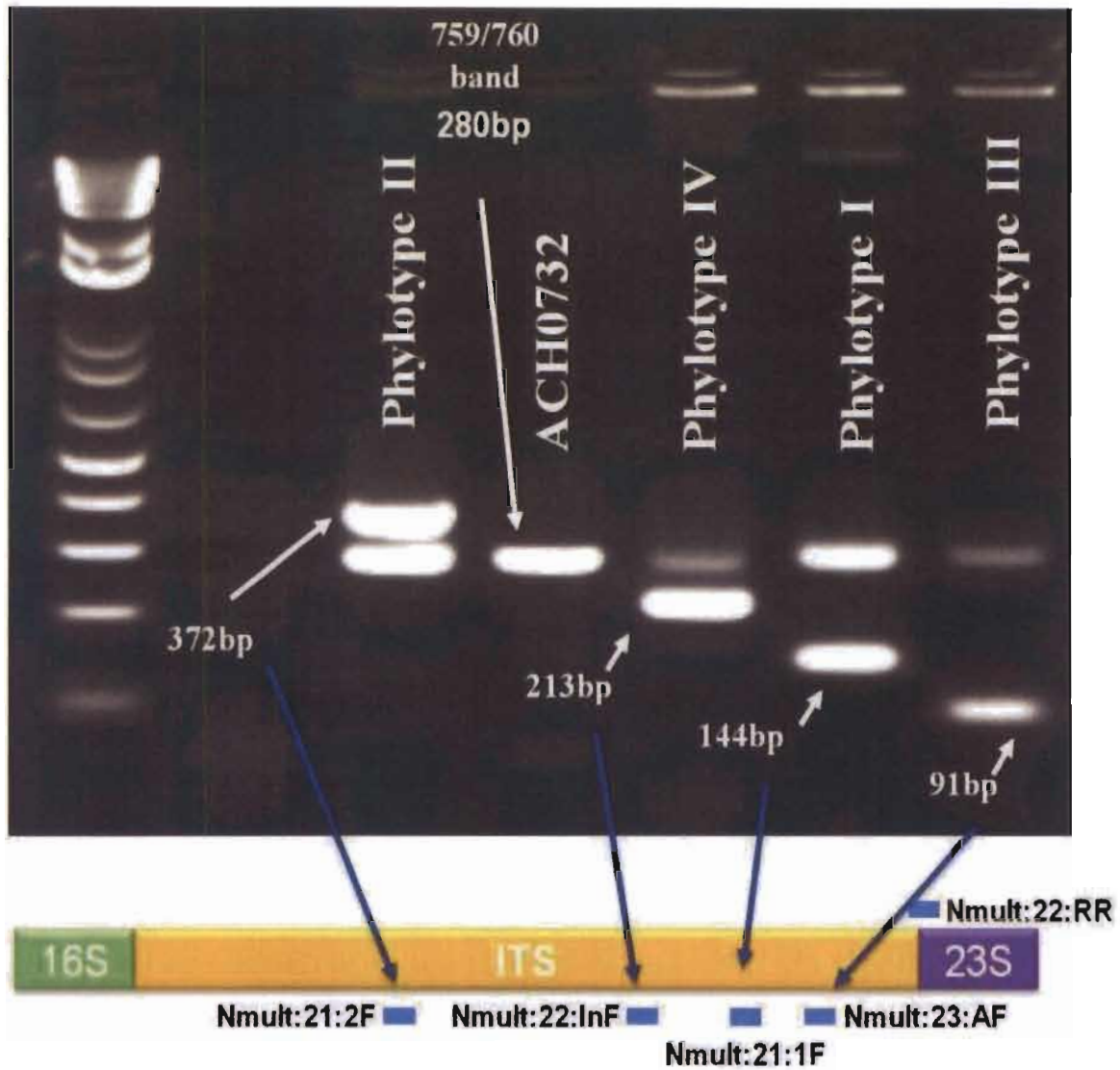


Photo 2 : Electrophorégramme type de diagnostic de *R. solanacearum* par Pmx-PCR, avec sites d'hybridation des amorces (Fegan et Prior, 2005).

1.4.3.2.4 Clades et espèces génomiques

Une étude mondiale basée sur un schéma MLSA (Wicker *et al.*, 2012) a montré que *R. solanacearum* est constitué de cinq (05) lignées évolutives (phylotypes I, IIA, IIB, III et IV) et huit (08) clades (**Tableau 1**). Cette étude a permis également de proposer un scénario d'histoire évolutive de *R. solanacearum* faisant du phylotype IV la lignée évolutive ancestrale, très diverse et recombino-gène (Wicker *et al.*, 2012).

Tableau 1: Correspondance entre phylotypes, clades, séquévars et anciennes classifications de *R. solanacearum* (Fegan et Prior., 2005)

Ralstonia solanacearum																														
Phylotype	I			III			IIA		IIB		IV																			
Clade	1			6			2	3	4	5	N D	7	8	N D																
Sequevar <i>egl</i>	13	18	45				19	42				6	35	41				25							9a					
	14	31	46	16	12		20	43					30	50	4A	ANP	8	1				3	28		8	10		11		
	15	34	47				21	44					38	52	MSFW	51	2					27						9b		
	17	44	48				22	48				24	39	52																
Biovar	3			4	5										1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Race	1			4	5							2	1		2															

Espèce génomique ?
(Remnant 2010, 2011)

1.4.3.3. Cycle infectieux de la maladie

Le mécanisme d'infection d'une plante hôte par *R. solanacearum* se réalise en cinq (05) étapes (**figure 2**) (Genin, 2010).

Étape 1 : au cours de cette étape la bactérie adhère à la surface de la racine. Les exsudats racinaires des plantes hôtes diffusent au niveau du sol et agissent comme stimuli en provoquant un chimiotactisme des bactéries vers les racines (Yao et Alen, 2006).

Étape 2 : la bactérie mobile va donc progresser jusqu'aux extrémités des racines et pénétrer dans la plante soit en profitant des blessures provoquées par des insectes, nématodes ou l'homme, soit par les ouvertures naturelles comme la zone d'élongation et les sites d'émergence des racines secondaires.

Étape 3 : la bactérie colonise le cortex racinaire. Cela se caractérise par la formation d'un cordon d'infection bactérien depuis la zone de colonisation des racines jusque dans le cortex interne en passant par les espaces intercellulaires (Vasse *et al.*, 1995).

Étape 4 : elle est caractérisée par la diffusion systémique de la bactérie et l'apparition des symptômes de la maladie.

Étape 5 : cette étape correspond au retour de la bactérie dans le sol après la mort de la plante hôte

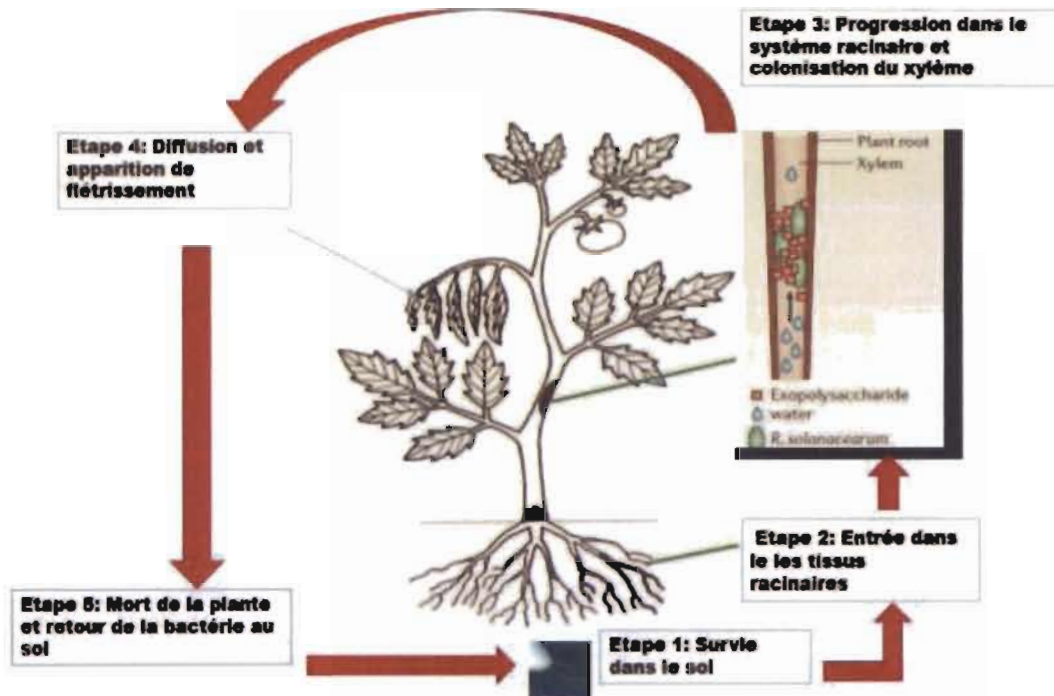


Figure 2 : Cycle infectieux de *Ralstonia solanacearum* (Genin, 2010).

1.4.3.4 Epidémiologie de la maladie

R. solanacearum étant capable de s'adapter à des milieux variés, les réservoirs d'inoculum et les formes de dissémination associées sont multiples. Le symptôme le plus caractéristique est le flétrissement soudain et irréversible de l'appareil végétatif aérien (Buddenhagen et Kelman, 1964). L'incidence des symptômes et leur vitesse d'apparition sont fonction de l'hôte (stade physiologique, espèce et cultivar), du potentiel d'inoculum (qualité, quantité) et des conditions environnementales (température, humidité, type de sol).

1.4.3.4.1. Symptômes sur les tomates

Chez la tomate, les jeunes feuilles sont touchées en premier et présentent un aspect flasque pendant la partie la plus chaude de la journée (Champoiseau *et al.*, 2009). Le flétrissement de la plante entière est accéléré lorsque les conditions environnementales sont favorables pour l'agent pathogène (Photo 3). En conditions défavorables, la maladie se développe très peu, un rabougrissement peut se produire et de nombreuses racines adventives sont produites par

la tige (Buddenhagen et Kelman, 1964). Les tissus vasculaires présentent une teinte brune (photo 4). Lorsque l'on plonge dans un verre d'eau un fragment d'une coupe d'une tige infectée, on observe l'apparition d'un filament blanc laiteux ou jaunâtre (Mc Carter, 1991) (photo 5). Cette technique appelée test de verre d'eau est généralement utilisée au champ lors de l'échantillonnage pour suspecter la présence de la bactérie.



Photo 3 : Flétrissement des feuilles de tomate MAHBOU 2010



Photo 4: Brunissement des vaisseaux conducteur (Photo :OUEDRAOGO R)



Photo 5: Test de verre d'eau réalisé au champ MAHBOU 2010

1.4.3.5 Mode de dissémination

La diversité des variétés phylogéniques de *R. solanacearum* et sa plasticité implique une multiplicité des réservoirs d'inoculum et les formes de dissémination associées. L'homme est le principal responsable de la dissémination au plan local mais aussi international (Poussier, 2000). En effet, le transport de matériel végétal (tubercule de pomme de terre, pieds de banane, rhizomes de gingembre, etc.) par l'homme est la principale cause de la dissémination de la bactérie d'un pays à l'autre. Les semences de tomate contaminées peuvent donc héberger des bactéries et la conservation de l'inoculum est alors possible (Poussier, 2000). Les souches de bactérie responsables de la maladie de Moko sur les Musacées sont transmises par les insectes (Buddenhagen et Elsasser, 1962).

1.4.4. Moyens lutte contre la maladie

1.4.4.1. Mesures prophylactiques et méthodes culturales

Les mesures prophylactiques ou préventives sont des mesures qui visent à réduire le potentiel d'inoculum, à éviter ou à limiter la dissémination du pathogène. Le principe est basé sur l'utilisation de semences saines, la désinfection du matériel agricole, l'arrachage et brûlage des plantes contaminées et des adventices hôtes, le désherbage régulier et un bon drainage des sols (Mian *et al.*, 2002).

En ce qui concerne les méthodes culturales on a la rotation des cultures avec des plantes non hôtes telles que le maïs, le riz, le soja. Cette méthode permet de réduire l'impact de la maladie. Aussi, dans une rotation de culture où le gombo est placé après une culture hôte, on obtient une baisse considérable de l'incidence de la maladie. Par ailleurs, certaines plantes suppressives ont montré leur efficacité dans la réduction des populations de *R. solanacearum*. En effet, des plantes de Brassicacées sélectionnées au Queensland (Australie) ont été utilisées avec succès pour contrôler cette bactérie (Akiew *et al.*, 1996). L'ajout de moutarde (*Brassica juncea*) et de canola (*Brassica napus*) dans un sol infecté par *R. solanacearum* a induit une réduction de l'incidence de la maladie respectivement de 59 % et 28 % sur une variété sensible de tomate. Des résultats similaires ont été observés avec des plants de tabac (Arthy *et al.*, 2005). La combinaison d'un traitement du sol par enfouissement de parties séchées de *Geranium carolinianum* en association avec la solarisation s'avère efficace dans le contrôle de *R. solanacearum* sur la pomme de terre en champ au Japon (Ooshiro *et al.*, 2004).

Les amendements de sol en substance organique (boue de station d'épuration, farine de soja, bagasse de canne à sucre) et oxyde de calcium constituent d'autres moyens de contrôle du flétrissement bactérien (Michel *et al.*, 1996)

1.4.4.2 Lutte chimique

La lutte chimique est basée sur l'utilisation des produits phytopharmaceutiques pour combattre un organisme nuisible. La chloropicrine, le formol, l'hypochlorite de calcium et le bromure de méthyle ont fait l'objet d'utilisation à grande échelle pour le contrôle de *R. solanacearum* sur plantules (Frank, 2003). Ces produits donnent des résultats satisfaisants en culture hors sol mais au champ, les résultats sont limités dans le temps. Par ailleurs, ils ont

des effets néfastes sur l'environnement et coûtent chers. Par conséquent, il est donc bénéfique d'envisager des méthodes alternatives respectueuses de l'environnement telle la lutte biologique (Frank, 2003).

1.4.4.3 Lutte biologique

Elle consiste à combattre un organisme nuisible par l'utilisation de mécanismes naturels appartenant soit au règne animal soit au règne végétal, ou qui en dérivent.

Les souches avirulentes de *R. solanacearum*, les espèces bactériennes antagonistes, l'utilisation de mycorhizes ou de plantes sauvages à effet inhibiteur sur les populations de *R. solanacearum*, sont entre autres des exemples (Mahbou, 2010). L'utilisation de mutants hrp qui devancent les souches pathogènes dans la colonisation du système racinaire et des tissus vasculaires empêchent l'invasion ultérieure de la plante par ces dernières (Smith *et al.*, 1995). Les souches de *Pseudomonas fluorescens* sont utilisées avec succès dans le contrôle du flétrissement bactérien sur les jeunes plants de *Eucalyptus urophylla* (Ran *et al.*, 2005 cités par Mahbou, 2010). Une étude similaire menée sur la tomate dans le sud de la Chine a donné des résultats concluants (Guo *et al.*, 2004).

Les travaux de Zhu et Yao (2004) ont établi l'efficacité *in vivo* de *Glomus versiforme* dans l'inhibition de *R. solanacearum*. Des travaux récents ont également démontré l'effet bactéricide des extraits aqueux de ciboule rouge (*Allium fistulosum*) qui diminuent très fortement l'incidence du flétrissement bactérien sur la tomate (Deberdt *et al.*, 2012). La lutte biologique, si elle donne des résultats prometteurs en conditions contrôlées, n'a pas une efficacité prouvée en milieu naturel. Sa pratique reste encore peu répandue et son efficacité est dépendante des conditions environnementales.

1.4.4.4. Lutte génétique

C'est la méthode est la plus utilisée et la plus efficace dans le contrôle du flétrissement bactérien (Hayward, 1991). Elle a permis l'amélioration de certaines espèces de Solanacées telles que le tabac, la tomate, la pomme de terre et l'aubergine (Prior *et al.*, 1993). Elle consiste à identifier des génotypes résistants à travers des tests d'évaluation des collectes de ressources génétiques.

Pour la tomate, s'il a été possible de développer des variétés ayant une résistance stable dans des conditions environnementales locales, cette stabilité est très souvent perdue dans le temps et dans l'espace (Prior *et al.*, 1993). L'instabilité de la résistance est due à la grande

variabilité phénotypique (virulence et agressivité) et génotypique des souches de *R. solanacearum* d'une part et les différences agro-pédo-climatiques qui influencent le développement de la maladie et aussi à l'interaction entre la plante et l'environnement d'autre part. Le greffage de variétés sensibles de tomate sur porte-greffe résistant (tomate ou aubergine) est une technique de contrôle. Elle peut être employée dans le cadre d'une solution de lutte à court terme. Son application à large échelle reste difficilement envisageable du fait de son coût élevé et la contrainte de sa mise en œuvre (Grimault et Prior, 1994).

En somme, la combinaison de mesures prophylactiques, de pratiques culturales adéquates, de lutte chimique et l'utilisation de variétés résistantes devraient permettre un contrôle durable de la maladie (Pradhanang *et al.*, 2003).

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

2.1 Présentation du site de travail

Les travaux se sont déroulés dans la ville de Bobo-Dioulasso plus précisément sur le site expérimental de l'ex laboratoire de la protection des végétaux.

2.2 Matériel

2.2.1 Matériel biologique

Matériel végétal : Le matériel végétal utilisé est la tomate (variété Rossol V.F.N) qui est une variété précoce (65 à 70 jours), à port déterminé. La tige principale et les ramifications latérales se terminent par une inflorescence et la croissance de la plante s'arrête.

Cette variété possède un fruit piriforme de couleur uniforme. C'est une variété cultivée en zone tropicale donc adaptée aux réalités climatiques du Burkina Faso. L'utilisation de cette variété s'explique par le fait qu'elle est sensible au flétrissement bactérien, mais tolérante à *Verticillium*, à *Fusarium oxysporum* et aux nématodes (V.F.N).

Souches de bactéries : Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé deux souches (RUN 1743 et RUN 1793) appartenant respectivement aux phylotypes I et III. Des études réalisées au Cameroun en 2010 et en Côte d'Ivoire en 2012 ont révélé la présence de plasmide pRSC35 dans ces souches. Ce plasmide est suspecté d'être responsable d'une agressivité plus élevée de la bactérie. En effet, notre choix s'explique par cette agressivité afin de trouver une lutte alternative efficace (Tableau 2).

Tableau 2 : Souches de référence de *R. solanacearum* utilisées (N'guessan *et al* 2012).

N d'enregistrement	Code	Phylotype	Sequevar	Pays	Hôte d'isolement	Localité	Continent
RUN 1743	CIV 22	I	31	RCI	Aubergine	Daloa (II)	Afrique
RUN 1793	CIV 56	III	48	RCI	Aubergine	Kondoukro (IV)	Afrique

2.2.2 Matériel organique et minéral

Trois types de fumures organiques bien décomposées ont été utilisées pour le contrôle du flétrissement bactérien. Il s'agit des fientes de volaille, du fumier de vache et du fumier de porc. L'engrais NPK (15-15-15) a été utilisé comme témoin.

2.2.3 Matériel chimique

L'insecticide DELTACAL a été utilisé pour lutter contre les attaques des insectes. Cet insecticide a pour matière active la deltaméthrine agissant comme un insecticide de contact à large spectre.

2.3 Méthodes

2.3.1 Collecte des déjections d'animaux et mise en décomposition

Les différents types de fumures organiques (fumier de vache, fientes de volailles et fumier de porc) ont été acquis respectivement d'un enclos, d'une ferme avicole et d'une porcherie situés aux abords du village de Paala. Elles ont d'abord été stockées, recouvertes avec des débris végétaux. Toutes les deux semaines, le tas de fumure organique est retourné puis arrosé. Après le deuxième retournement, la matière organique est séchée sur des bâches (Photo 6). Elles ont été ensuite tamisées (Photo 7) afin de débarrasser les impuretés (Photo 8) et conditionnées dans des sacs.



Photo 6 : Séchage du fumier porc



Photo 7 : Fumier de porc après tamisage



Photo 8 : Impureté du fumier de porc

(Photos : OUEDRAOGO R.)

2.3.2 Mise en place de la pépinière

Préparation du substrat de culture : Cette activité a consisté à la stérilisation du terreau. Le terreau préalablement tamisé et humidifié a été stérilisé à 120 °C pendant 30 mn. Il a été ensuite stocké dans un bac pendant dix jours afin de permettre la reprise des activités biologiques dans le substrat. Le substrat de la pépinière est composé de deux brouettées de terreau plus une brouettée de fumier de vache.

Réalisation du lit de semis : Cette activité est marquée par le planage du substrat de culture dans le bac pour permettre un bon drainage de l'eau d'irrigation. Ensuite, le traçage des lignes de semis espacées de 20 cm suivant la largeur du bac. La semence est déposée dans chaque sillon à raison d'une graine par centimètre.

Entretien de la pépinière : L'entretien de la pépinière a consisté à irriguer au besoin, biner pour débarrasser la pépinière des mauvaises herbes et permettre une bonne infiltration de l'eau d'irrigation.

Le DELTACAL (matière active deltaméthrine) est utilisé pour lutter contre les attaques d'insectes notamment la mouche blanche (*Bemisia tabaci*). La pulvérisation a été faite tous les sept jours et cela jusqu'au repiquage. La dose d'insecticides utilisée est de 1 ml pour 1 litre d'eau. La pépinière était protégée contre le rayonnement direct du soleil et l'eau de pluie avec des tôles translucides.

2.3.3 Préparation des pots et repiquage

La mise en place des essais en pots de 5 l est réalisée afin de mettre en évidence l'effet des différents types de fumures organiques et leurs doses respectives sur le développement du flétrissement bactérien causé par *R. solanacearum*. Différentes doses de chaque type de fumure organique ont été testés à cet effet.

2.3.3.1 Dispositif expérimental

Ce dispositif expérimental est un Split-Plot avec 5 traitements et 4 répétitions appliqués pour chacun des deux phylotypes (phylotype I et phylotype III) (Figure 3).

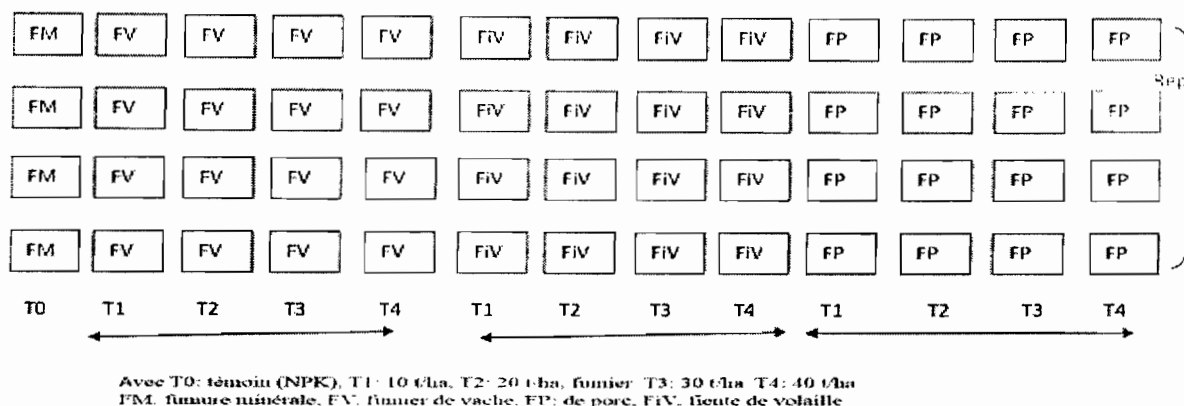


Figure 3 : Dispositif expérimental

2.3.3.2 Détermination de la dose de fumure appliquée en pots

La détermination de la quantité de fumure organique appliquée est faite en tenant compte de la profondeur d'enracinement de la tomate (en moyenne de 10 cm) de la densité apparente du sol (1,6 en moyenne) et de la dose moyenne de fumure organique appliquée par les maraîchers (10 t/ha) (Somé, 2001).

En effet, la prise en compte de ces variables a permis de déterminer dans un premier temps la masse totale de sol exploré par le système racinaire de la tomate pour une superficie d'un hectare par la formule $\text{densité} = \text{masse} / \text{volume}$. La connaissance de cette masse de terre nous a permis de calculer dans un second temps la quantité de fumier à mélanger avec un kilogramme de terre pour avoir une dose de 10 t/ha de fumure. Les différents traitements ont été définis à partir de cette valeur (Tableau 3).

Tableau 3 : Quantité de fumure organique par dose et par pot

Treatments	Doses (t/ha)	Quantité de fertilisant/ pot (g)
T0 NPK (15-15-15)	300 kg/ha	10
T1	10	21
T2	20	42
T3	30	63
T4	40	84

2.3.3.3 Remplissage des pots

Le remplissage des pots de 5 L est fait avec un substrat de culture formé par le mélange homogène du terreau et chacun des différents types de fumure organique selon les doses définies. Avant le mélange le terreau ainsi que chacun des fumures organiques ont reçu un traitement spécifique. Le terreau utilisé pour le mélange a été d'abord tamisé pour le débarrasser des impuretés. Ce terreau a été prélevé sur un sol à texture sablo-limoneuse de Farako-bâ dans l'horizon 0 à 20 cm. La partie meuble obtenue après tamisage a été stérilisée à 120°C pendant 30 mn.

Les sols de Farako-bâ sont pauvres en argile et en matière organique. Leur teneur en azote est faible et leur pH légèrement acide. La capacité d'échange cationique est faible et le taux de saturation en bases échangeables est supérieur à la moyenne (Tableau 4).

Tableau 4: Caractéristiques physico-chimiques du sol de Farako-Bâ (Source : Bado, 2002)

Caractéristiques	Teneurs	Caractéristiques	Teneurs
Argile (%)	7	N total (mg kg-1)	409
Sable (%)	74	P Bray I (mg kg-1)	5,6
Limon (%)	19	P total (mg kg-1)	69,8
pH eau	6,5	K total (mg kg-1)	531
pH KCl	5,6	Ca échangeable (Cmol/Kg Sol)	1,08
Carbone total (%)	0,61	K échangeable (Cmol/Kg Sol)	0,02
Matière organique totale (%)	1,1	Mg échangeable (Cmol/Kg Sol)	0,46
C/N	13,7	ECEC (Cmol/Kg Sol)	1,82
		Acidité d'échange (Cmol/Kg Sol)	0,08
		Saturation en bases(%)	96

2.3.3.4 Repiquage

Les plants âgés de 2 semaines ont été repiqués dans les pots préalablement préparés et déposés sur des bacs métalliques (3 m x 1 m x 0,2 m) surélevés du sol de 0,8 m (photo 9). Le repiquage a été fait à raison d'un plant par pot. Après le repiquage, les travaux d'entretien des plants en vase de végétation ont consisté à un arrosage des plants en pots avec de l'eau de robinet. Les plants de tomate sont traités chaque semaine à la deltaméthrine pour lutter contre la mouche blanche (*Bemisia tabaci*), vectrice de virus et autres insectes susceptibles peuvent véhiculer des germes dans les essais.



(Photo : OUEDRAOGO R)

Photo 9: Disposition des pots avant inoculation

2.3.3.5 Inoculation des plantes

Préparation de l'inoculum : Des cultures de *Ralsonia solanacearum* âgées de 48 heures ont été récupérées à l'aide d'une anse dans 5 ml d'eau distillée stérile sous une hotte à flux laminaire. Le contenu est agité au vortex de manière à bien dissoudre la souche. La densité optique (DO) à 600 nm a été mesurée en mettant 1 mL de la suspension bactérienne dans une cuve de spectrophotomètre puis ajustée à une densité de 0,2 avec une incertitude 10 % selon la formule ci-dessous:

$$\text{Volume d'eau distillée à ajouter} = \frac{\text{DO obtenue} - \text{DO voulue}}{\text{DO voulue}} \times V_r$$

Avec DO : densité optique et Vr : volume restant

Inoculation

Les plants ont été inoculés à la reprise. Avant l'inoculation, quelques racines des plants ont été scarifiées au scalpel et 2 ml de suspension bactérienne à 10^8 CFU mL⁻¹ ont été déposés au pied des plantes dans chaque pot selon la méthode décrite par Winstead et Kelman (1952).

2.4 Caractéristiques physico-chimiques des différents types de fumures organiques

Après séchage et tamisage, un échantillon a été prélevé dans chaque type de fumure organique et a servi pour les analyses au laboratoire.

2.4.1 Analyses au laboratoire

Pour cette étude, l'analyse des paramètres chimiques des substrats organiques a été réalisée dans le laboratoire Sol-Eau-Plante de Farako-bâ. les échantillons ont été tamisés à maille de 5 mm (pour les valeurs de pH, C et P) et ensuite de 2 mm (pour les valeurs de N et K). Les analyses ont porté sur les paramètres chimiques : pHeau, matière organique, carbone total, rapport C/N, azote total, K total et phosphore total.

Analyse des paramètres chimiques

La matière organique

La détermination de la matière organique dans les différents types de fumiers se fait après élimination de l'eau (séchage à 105°C) et des composés calcaires par calcination dans un four à moufle. La différence de poids après calcination représente la matière organique. Dans ce cas le pourcentage de carbone s'obtient en divisant le pourcentage de matière organique par le facteur 1,724.

Le carbone

Le carbone des différents types de fumures organiques est déterminé par la méthode WALKLEY-BLACK qui consiste à oxyder l'échantillon au bichromate de potassium en présence d'acide sulfurique. L'excès du bichromate est ensuite mesuré au spectrophotomètre à 650 nm.

L'azote et le phosphore total

Les échantillons sont soumis à une minéralisation avec de l'acide sulfurique et de l'acide salicylique en présence de peroxyde, le sélénium étant utilisé comme catalyseur, en le chauffant progressivement de 100 à 340°C jusqu'à minéralisation complète. L'azote comme le phosphore total est ensuite déterminé à l'aide d'un spectrophotomètre à UV visible en utilisant le nessler comme indicateur pour l'azote et le molybdate d'ammonium pour le phosphore.

Le potassium et le calcium

Ces éléments ont été déterminés pour les différents types de fumure organiques. Les échantillons ont été soumis à une minéralisation avec de l'acide sulfurique et de l'acide salicylique en présence de peroxyde, le sélénium étant utilisé comme catalyseur. Le potassium est déterminé ensuite au spectrophotomètre à flamme. mesuré au photomètre à flamme.

Le pH eau

La mesure du pH est faite par la méthode électronique au pH mètre à électrode en verre avec un rapport compost/solution de 1/5.

2.5 Collecte des données

La collecte des données a consisté à l'analyse des caractéristiques physico-chimiques des différents types de fumures organiques. Les effets des différents types de fumures sur la croissance des plantes, l'incidence et la sévérité du flétrissement bactérien ont été évalués.

2.5.1 Effet des différentes fumures sur le flétrissement bactérien

2.5.1.1 Incidence du flétrissement bactérien

Les symptômes ont été notés chaque jour à partir du troisième jour après inoculation sur trois semaines. La sévérité a été notée sur les plants selon l'échelle utilisée par Coupat *et al.* (2011) (tableau 5).

Tableau 5: Echelle de notation des symptômes de la maladie

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

L'évaluation de l'incidence de la maladie (IF) prend en compte les notes 3 et 4. Ainsi, IF est exprimé en fonction de la formule ci-dessous selon Jeger et Viljanen-Robinson (2001).

$$IF = \frac{N_3 + N_4}{N_t} \times 100$$

Avec : IF : incidence de flétrissement, N_3 : nombre de plants ayant la note 3, N_4 : nombre de plants ayant la note 4 et N_t : nombre total de plants observés.

2.5.1.2 Evaluation de la cinétique de progression de la maladie

Les valeurs des IF mesurés quotidiennement permettent d'évaluer la sévérité de la maladie et son évolution au cours du temps. La sévérité de la maladie est représentée par la courbe AUDPC (area under the disease progress curve). Selon Jeger et Viljanen-Robinson (2001), l'AUDPC est calculé selon la formule suivante :

$$AUDPC = \frac{IF_i - IF_{i-1}}{2} \times T_i - T_{i-1}$$

Avec : IF_i : Indice de flétrissement à la date i , IF_{i-1} : Indice de flétrissement à la date T_{i-1} , soit un jour avant i , T_i : date i de notation, T_{i-1} : date précédant T_i .

2.5.1.3. Paramètres morphologiques des plantes

Nous avons pris en compte l'effet des différents traitements sur la croissance en hauteur des plantes. Nous avons donc procédé à une mesure hebdomadaire de la taille des plantes. Cela nous a permis de faire une mesure comparative de la hauteur moyenne des plantes en fonction des traitements.

2.6 Analyse statistique

Le logiciel Excel 2013 a été utilisé pour la saisie et l'organisation des données ainsi que la réalisation des graphiques. Les totaux des données corrigées et mises en forme ont été analysés à l'aide du logiciel SPSS 20. Pour l'Analyse des Variance (ANOVA), la séparation des moyennes a été faite par le test de Newman Keuls au seuil de 5%.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats

3.1.1 Caractéristiques physico-chimiques des fumures organiques

Matière organique

Les résultats d'analyse montrent que la teneur en matière organique des substrats varie de 15,01 à 31,48%. L'analyse des variances indique des différences significatives entre les fumures organiques. Le fumier de vache a la teneur la plus élevée (31,48%). La plus faible teneur est observée au niveau de fiente de volaille 15,01% (Tableau 6).

Teneur en azote

Les teneurs en azote total des différents types de fumures varient entre 0,81 à 1,542 %. L'analyse des variances montrent des différences significatives entre les fumures organiques. La valeur la plus élevée est observée au niveau des fientes de volaille (1,542 %) et la valeur la plus faible valeur est observée au niveau du fumier de vache (0,810 %) (Tableau 6).

Rapport C/N

Le rapport C/N est caractéristique des substrats organiques. L'analyse statistique montre qu'il n'y'a pas de différence significative entre les différents substrats organiques utilisés. Les différentes fumures organiques utilisées ont un C/N faible (Tableau 6).

Phosphore total

La teneur en phosphore total dépend de l'origine et de la nature des substrats. Les résultats de l'analyse au laboratoire montrent que la fiente de volaille est plus riche en phosphore (4497 mg/kg) et le fumier de vache plus pauvre (2530 mg/kg) (Tableau 6).

Potassium total

Comme toutes les autres composantes, la teneur en potassium varie en fonction du type de fumure organique utilisé. La fiente de volaille possède la plus forte teneur en potassium (5541 m/kg). Le fumier de porc et le fumier de vache ont des teneurs respectives de 3559 et 4151 mg/kg nettement plus faibles par rapport à celle de la fiente de volaille (Tableau 6).

Tableau 6: Résultats d'analyse physico-chimique des différents types de fumures organiques

substrat organique	pHeau	Ca (%)	M.O (%)	N (%)	C/N	P_total mg/kg	K_total mg/kg
FiV	6,73	18,26c	15,01a	1,542c	11	4497c	5541c
FP	7,10	10,81b	18,63b	1,063a	10	3074b	4151b
FV	7,49	8,71a	31,48c	0,810b	12	2530a	3559a
Probab	0,7489	0,001	0,001	0,003	0,88	0,01	0,01
signif	NS	HS	THS	HS	NS	HS	HS

Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne sont statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test de Student-Newman-Keuls ; HS : hautement significatif ; THS : très hautement significatif ; probab = probabilité, signif = significatif ($a < b < c$).

3.1.2 Effet des différents types de fumures organiques sur l'incidence de flétrissement causé par la souche RUN 1743 du phylotype I

La figure 4 présente le taux de flétrissement moyen des plants pour chaque type de fertilisant. Durant les quatre semaines d'observation en fonction du fertilisant apporté certains plants ont été vulnérables au flétrissement. L'analyse de variance a révélé des différences très hautement significatives entre les traitements. Les moyennes des indices de flétrissement varient de 11 à 49,25 %. La fiente de volaille et le fumier de porc aux doses de 30 et 40 tonnes à l'hectare ont enregistré les plus faibles indices de flétrissement (11 à 18,25 %). Le fumier de vache à 10 et 20 tonnes à l'hectare et le fumier de porc à 10 tonnes à l'hectare sont équivalents au témoin (fumure minérale) et enregistrent les indices de flétrissement les plus élevés (42.5 à 49,25).

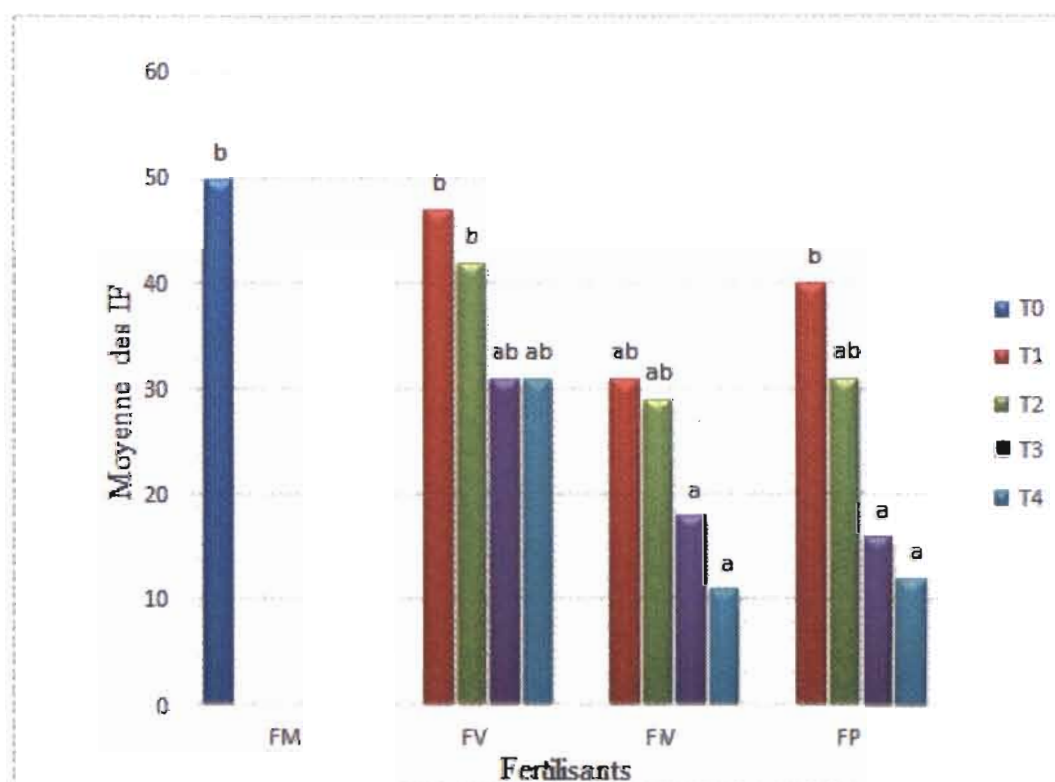


Figure 4: Comparaison de la moyenne des IF de la souche RUN 1743 en fonction des doses des fertilisants

T0= témoin; T1 : FO à 10 t/ha ; T2 : FO à 20 t/ha ; T3 FO à 30 t/ha ; T4 : FO à 40 t/ha

FM : fumure minérale (NPK 15-15-15), FiV : fiente de volaille, FV : fumier de vache, FP ; fumier de porc.

3.1.3 Effet des différents types de fumures organiques sur l'incidence du flétrissement causé par la souche RUN 1793 du phylotype III

L'effet des différents types de fertilisants sur l'indice de flétrissement est illustré dans la figure 5. L'analyse des variances a montré des différences très hautement significatives entre les traitements. La comparaison des moyennes des IF indique que le fumier de porc à 20, 30 et 40 t/ha et la fiente de volaille à 30, 40 t/ha enregistrent les plus faibles incidences de flétrissement. Par contre le fumier de vache et la fiente de volaille à 10 à l'hectare ne sont pas statistiquement différents du témoin avec des indices de flétrissement élevés.

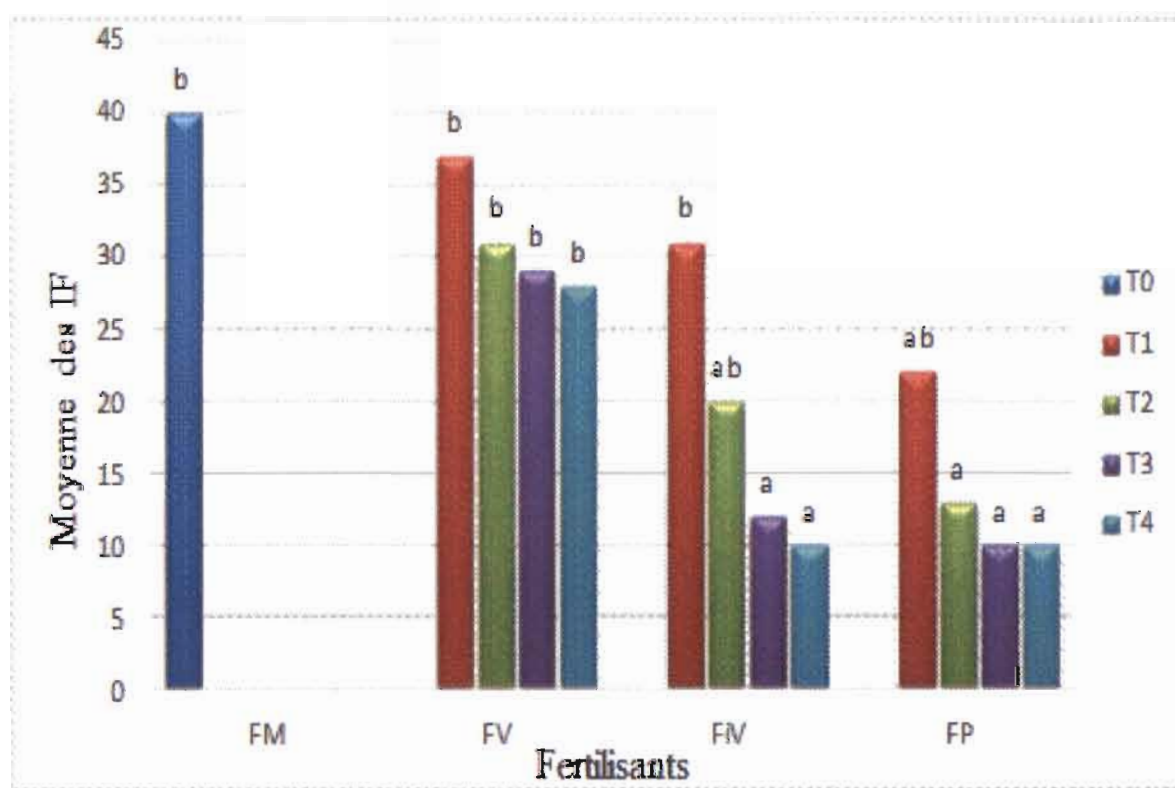


Figure 5: Comparaison de la moyenne des IF de la souche RUN 1793 en fonction des doses des fertilisants

T0= témoin; T1 : FO à 10 t/ha ; T2 : FO à 20 t/ha ; T3 FO à 30 t/ha ; T4 : FO à 40 t/ha

FM : fumure minérale (NPK 15-15-15), FiV : fiente de volaille, FV : fumier de vache, FP ; fumier de porc

3.1.4 Effet des différents types de fumures organiques sur la cinétique de progression de la maladie causée par la souche RUN 1743

L'analyse des variances des données de sévérité moyenne (AUDPC) a montré des différences très hautement significatives entre les traitements entre les périodes S1 et S4. Seul le témoin (fumure minérale) a enregistré une sévérité de flétrissement bactérien la plus élevée durant la période des observations. A partir de 20 tonnes à l'hectare le fumier de porc et la fiente de volaille enregistrent une sévérité plus faible de la maladie. Sauf le fumier de vache qui jusqu'à 30 tonnes à l'hectare enregistre toujours une sévérité forte (25%).

Cependant, durant toute la période des observations à partir de S1, l'indice de sévérité chez le témoin (fumure minérale) n'a cessé de croître jusqu'à (70%) (Figure 6).

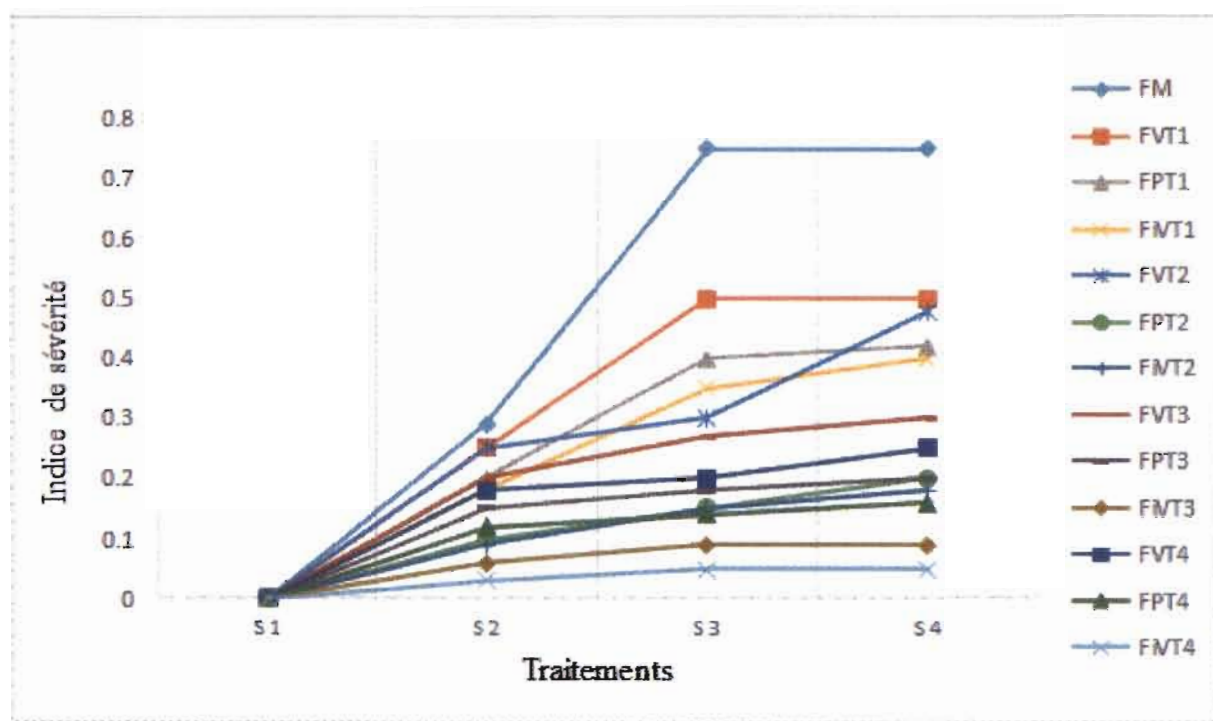


Figure 6: l'AUDPC en fonction de la fréquence d'observation (souche RUN 1743)

FM : fumure minérale (NPK 15-15-15), FiVT1 : fiente de volaille à 10 t/ha , FiVT2 : fiente de volaille à 20 t/ha, FiVT3 : fiente de volaille à 30 t/ha, FiVT4 : fiente de volaille à 40 t/ha
 FVT1 : fumier de vache à 10 t/ha , FVT2 : fumier de vache à 20 t/ha, FVT3 : fumier de vache à 30 t/ha, FVT4 : fumier de vache à 40 t/ha

FPT1 : fumier de porc à 10 t/ha, FPT2 :fumier de porc à 20 t/ha, FPT3 : fumier de porc à 30 t/ha, FPT4 ; fumier de porc à 40 t/ha.

3.1.5 Effet des différents types de fumures organiques sur la cinétique de progression de la maladie (souche RUN 1793)

La figure 7 illustre l'AUDPC moyen observé au cours des quatre semaines d'observation. L'analyse de variance montre une différence significative entre les traitements. L'indice de sévérité reste élevé chez le témoin (fumure minérale) le fumier de vache et au niveau des faibles doses de la fiente de volaille et du fumier de porc. A partir de la deuxième semaine l'AUDPC est resté relativement constant au niveau du fumier de porc et la fiente de volaille à 20, 30 et 40 tonnes à l'hectare.

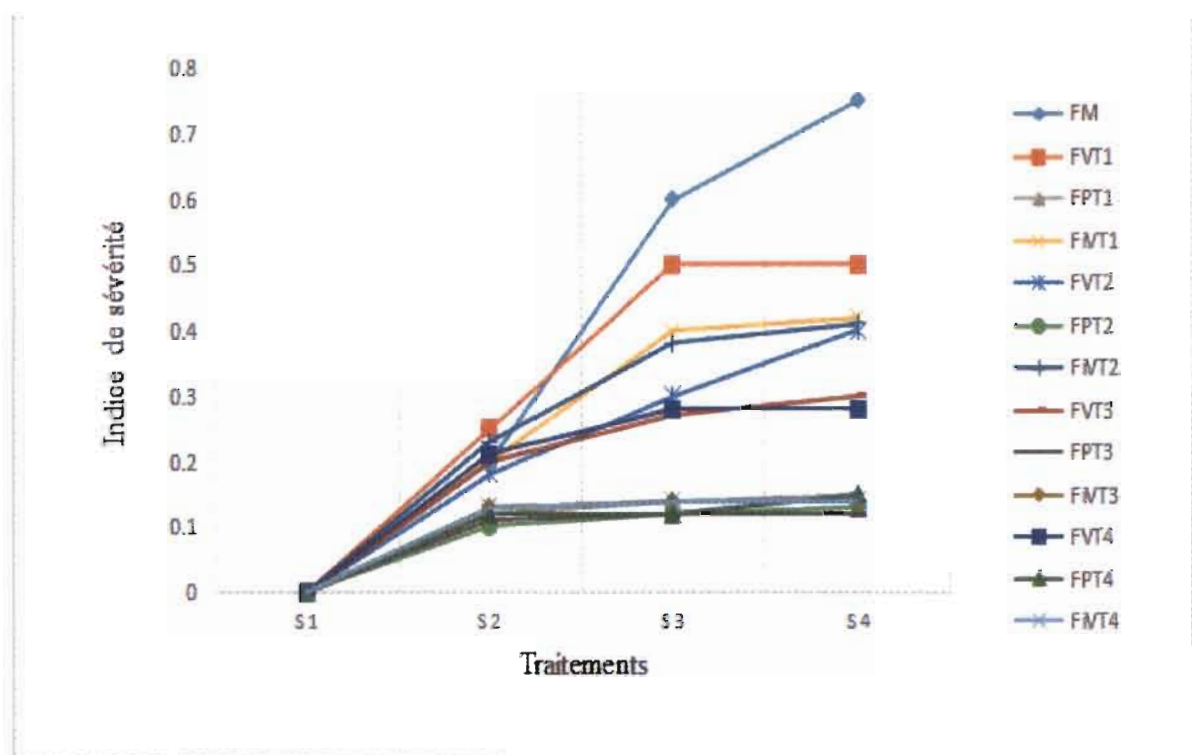


Figure 7: L'AUDPC en fonction des fréquences d'observation (souche RUN 1793) FM : fumure minérale (NPK 15-15-15), FiVT1 : fiente de volaille à 10 t/ha , FiVT2 : fiente de volaille à 20 t/ha, FiVT3 : fiente de volaille à 30 t/ha, FiVT4 : fiente de volaille à 40 t/ha FVT1 : fumier de vache à 10 t/ha , FVT2 : fumier de vache à 20 t/ha, FVT3 : fumier de vache à 30 t/ha, FVT4 : fumier de vache à 40 t/ha
FPT1 : fumier de porc à 10 t/ha, FPT2 : fumier de porc à 20 t/ha, FPT3 : fumier de porc à 30 t/ha, FPT4 ; fumier de porc à 40 t/ha.

3.1.6 Effet des différents types de fumures organiques sur la croissance des plantes de tomate

Les figures 8 et 9 illustrent la croissance moyenne des plants de tomate respectivement infectés par la souche RUN1743 et la souche RUN 1793. L'analyse des variances montre des différences significatives entre les traitements. Quelles que soit la souche de bactérie et la dose apportée, le fumier de vache enregistre les plus faibles hauteurs ; de même que le témoin. Un retard de croissance est de plus observé au niveau des doses 10 et 20 tonnes à l'hectare, du fumier de porc et de la fiente de volaille au niveau de la souche RUN1743. Cependant, ces dernières fumures enregistrent les plus fortes croissances à 30 et 40 tonnes à l'hectare en ce qui concerne les deux phylotypes.

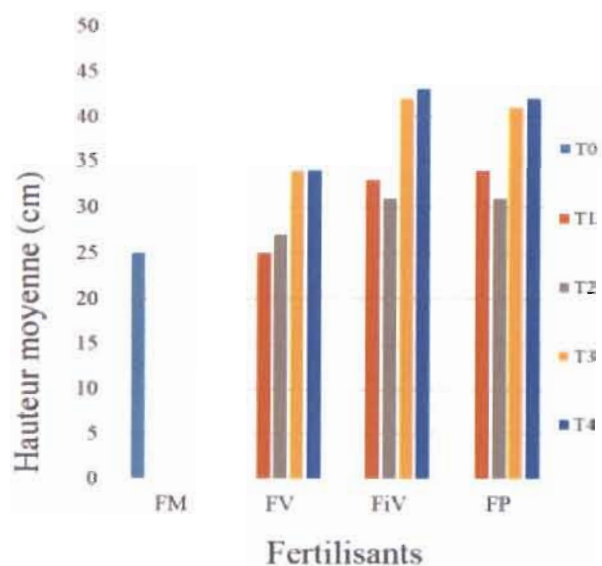


Figure 8 : Hauteurs moyennes des plantes de tomate infectées par la souche RUN 1743 du phylotype I

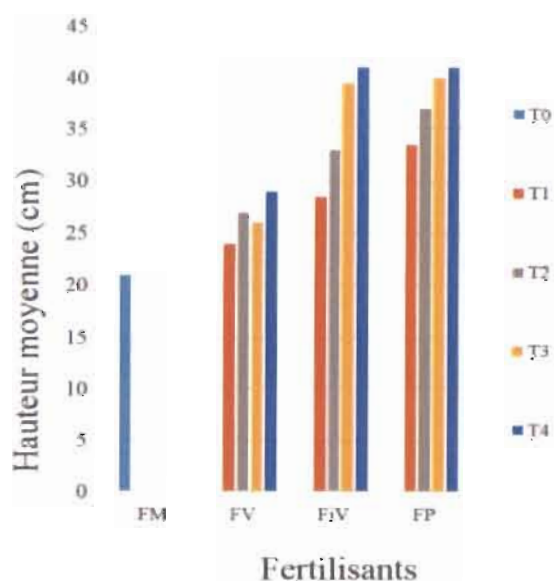


Figure 9 : Hauteurs moyennes des plantes de tomate infectées par la souche RUN 1793 du phylotype III

Avec T0= témoin; T1 : FO à 10 t/ha ; T2 : FO à 20 t/ha ; T3 FO à 30 t/ha ; T4 : FO à 40 t/ha
 IUUFM : fumure minérale, FiV : fiente de volaille, FV : fumier de vache, FP ; fumier de porc

3.2 Discussion

Les caractéristiques physico-chimiques des différents types de fumures organiques utilisées respectent la norme NF U44-051 d'avril 2006 selon laquelle les teneurs idéales en éléments d'un compost sont : MO 15 à 25%, N < 3%, P₂O₅ < 3%, K₂O < 3%, C/N > 8 et la somme

de l'azote, du phosphore et du potassium < 7%. Ainsi notre fumure organique répond bien aux normes internationales d'un bon compost pour ce qui concerne la matière organique, l'azote, le phosphore et le potassium sauf le fumier de vache avec 31,48 % de MO. Notre fumure organique est riche en éléments minéraux. Ces résultats sont conformes aux normes internationales (AFNOR) d'appréciation des résultats d'analyses chimiques qui fixent pour les amendements organiques qualifiés de très riches, des teneurs en éléments fertilisants suivants : matière organique total > 5 %, Phosphore total > 0,3 %, l'azote total > 0,25% et un rapport C/N de 20. Le rapport C/N des différentes fumures organiques utilisées sur nos essais est particulièrement faible (10 à 12). Selon FAUSSE et LAMBET (1994) cités par Mbouaka, (2000) un humus stable a un C/N d'environ 10 à 15. De ce fait, nous pouvons penser que notre fumure organique est arrivée au stade de stabilisation (humus stable).

Les résultats ont montré que l'apport des fertilisants organiques réduit l'incidence et la sévérité du flétrissement bactérien causé par *Ralstonia Solanacearum*. Ces résultats, sont en accord avec ceux de Somé (2001), de Fuchs (2009) et de Getachew *et al.* (2010). Les résultats de ces auteurs ont montré que suivant la qualité microbiologique, le compost peut influencer directement sur la santé des plantes par l'action des microorganismes antagonistes. Ces derniers agissent sur les agents pathogènes présents dans le sol en les concurrençant, les parasitant, ou en les inhibant. De plus ces microorganismes colonisent le système racinaire des plants de tomates et empêchent l'installation ultérieure de la bactérie.

Les résultats ont montré que le fumier de porc et la fiente de volaille à 30 et 40 tonnes à l'hectare réduisent le flétrissement bactérien (40 %) et induisent un accroissement notable en hauteur des plantes. Ces résultats s'expliquent par la forte teneur en éléments minéraux de ces fumures organiques et leurs caractéristiques physiques. En effet la fiente de volaille et le fumier de porc sont plus riches en éléments minéraux que le fumier de vache. De plus elles sont moins collantes. Ainsi les plants ont une facilité d'absorption des éléments minéraux qu'elles contiennent (Naika *et al.*, 2010).

Les plus forts indices de flétrissement et de sévérité et la plus faible croissance des plants sont obtenus par la fumure minérale et les plus faibles doses des fumures organiques. Ces résultats sont conformes à ceux de Somé (2001) Les engrais minéraux appliqués seuls ne possèdent pas de pouvoir suppressif. Les divers éléments sont facilement lessivables, les rendant indisponibles pour la plante Yaro *et al.*, 1997 cité par YOUNGBARE (2008).

La fumure organique appliquée à faible dose a un pouvoir suppressif réduit et fournit une quantité insuffisante en éléments minéraux aux plants.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Notre étude a consisté à faire une évaluation de l'efficacité des trois types de fumiers (fiente de volaille, fumier de vache et fumier de porc) pour le contrôle du flétrissement bactérien. Les résultats obtenus nous ont permis de comprendre l'évolution de la maladie causée par *R. solanacearum* en relation avec les différentes doses et types de fumure organique. De cette étude nous pouvons retenir que, quelle que soit la souche de *R. solanacearum*, l'incidence du flétrissement baisse lorsque des fumures organiques sont apportées au sol. Pour des doses comprises entre 30 et 40 tonnes/hectare le fumier de porc et la fiente de volaille réduisent l'incidence du flétrissement bactérien de l'ordre de 40 %. Le fumier de vache appliqué à doses inférieures à 30 tonnes/hectare réduit très peu l'incidence et la sévérité du flétrissement bactérien. Le fumier de vache devient efficace à partir de 30 tonnes/hectare.

À partir de nos résultats, il est possible de dégager des perspectives pouvant permettre d'approfondir les travaux. En effet, on pourra orienter les essais sur l'utilisation de la fiente de volaille et de fumier de porc qui se sont révélés plus efficaces que le fumier de vache. On pourrait faire des essais doses avec ces deux types de fumures (15, 20, 25 et 30 t/ha) car les doses supérieures à 30 t/ha sont difficiles à recommander aux producteurs maraîchers.

Références bibliographiques

Adhikari T. B, Basnyat R. C., 1998. Effect of crop rotation and cultivar resistance on bacterial wilt of tomato in Nepal. *Can. J. Plant Pathol.*, 20:283-287.

Akiew S., Trevorrow P. R., Kirkegaard J., 1996. Mustard green manure reduces bacterial wilt. *ACIAR Bacterial wilt Newsletter*, 13:5-6.

Arthy J. R., Akiew E. B., Kirkegaard J. A., 2005. Using Brassica spp. as biofumigants to reduce the population of *Ralstonia solanacearum*. In: C. Allen, et al. (Eds.), Bacterial wilt disease and the *Ralstonia solanacearum* species complex, *APS Press, Madison*. pp. 159-165.

Bado B. V., 2002. Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso. Thèse de doctorat : Université de Laval (Québec) 180p.

Boro F., 2014. Gestion du flétrissement bactérien des solanacées dû à *Ralstonia solanacearum* par l'utilisation de variétés résistantes adaptées aux populations pathogènes du Burkina Faso, Mémoire d'ingénieur agricole, Centre Agricole Polyvalent de Matourkou, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 75P.

Blancard D., Loterrot H, Marchoux G, Candresse T., 2009. les maladies de la tomate Identifier, connaître, maîtriser edition Quae p 222-5419.

Buddenhagen I. W., Elsasser T. A., 1962. An insect-spread bacterial wilt epiphytotic of bluggoe banana. *Nature*, 194:164-165.

Buddenhagen I., Kelman A., 1964. Biological and physiological aspects of bacterial wilt caused by *Pseudomonas solanacearum*. *Annual Review of Phytopathology* 2:203-230.

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

Champoiseau P. G., Jones J. B., Allen C., 2009. *Ralstonia solanacearum* race 3 biovar 2 causes tropical losses and temperate anxieties. *Online. Plant Health Progress*: 10. 1094/PHP-2009-0313-01-RV.

Chaux C. L., Foury C. L., 1994. Cultures légumières et maraichères. Tome III : légumineuses potagères, légumes fruits. Tec et Doc Lavoisier, Paris, France. 563p.

Cook D. R., Barlow E. Sequeira L., 1989. Genetic diversity of *Pseudomonas solanacearum*: Detection of restriction fragment length polymorphism with DNA probes that specify virulence and the hypersensitive response. *Molecular plant-Microbe Interaction*, N° 2, pp. 113-121.

CORAF, 2010. Des extraits végétaux à la place des insecticides de synthèse, N° 56 juillet à septembre, 16p.

Coupat-Goutaland B., Chaumeille-Dole F., Fall S., Prior P., Simonet P., Nesme X., Bertolla F., 2008 Natural transformation in the *Ralstonia solanacearum* species complex: number and size of DNA that can be transferred. *FEMS Microbiology Ecology* 66:14-24.

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.

Daunay M. C., Janick J., 2007. History and iconography of eggplant. *Chronica Horticulturae*, 47:16-22.

D'arcy W. G., 1991. The Solanaceae since 1976 with a review of its biogeography. In: Solanaceae III: Taxonomy, Chemistry, and Evolution. *Royal Botanic Gardens, Kew, UK*, pp 75-137.

Deberdt P., Perrin B., Coranson-Beaudu R., Duyck P., Wicker E., 2012. Effect of *Allium fistulosum* Extract on *Ralstonia solanacearum* Populations and Tomato Bacterial Wilt. *Plant disease* 96:687-692.

Doganlar S., Frary A., Daunay M. C., Lester R. N., Tanksley S. D., 2002. A comparative genetic linkage map of eggplant (*Solanum melongena*) and its implications for genome evolution in the Solanaceae. *Genetics* 161:1697-1711.

EPPO., 2005. Fiche informative sur les organismes de quarantaine “*Ralstonia solanacearum*” CABI/OEPP/UE Contrat 90/399003. pp 1.

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

Fegan M., 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*, pp 449-461.

Frank N. M., 2003. Development of alternative strategies for management of soil borned pathogens currently controlled with methyl bromide. *Annual Review of Phytopathology*, 41:325.

Fuchs J. G., 2009. Fertilité et pathogènes telluriques : effets du compost. Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL), *Ackerstrasse*, CH-5070 Frick (Suisse) 5p

Gaussen H., Lefoy J., Ozenda P., 1982. Précis de botanique deuxième Ed. Massa, Paris, France 172p.

Grimault V., Anais G., Prior P., 1994. Distribution of *Pseudomonas solanacearum* in the stem tissues of tomato plants with different levels of resistance to bacterial wilt. *Plant Pathology*, 43:663-668.

Granada G. A. Sequira L., 1983. Survival of *Pseudomonas solanacearum* in soil, rhizosphère and plant roots. *Canadian Journal of Microbiology*, 29:433-440

Genin S., 2010. Molecular traits controlling host range and adaptation to plants in *Ralstonia solanacearum*. *New Phytologist* 187:920-928.

Guibaud C., Prior P., 2003. A new *Ralstonia* population affects *Anthurium* plantations and Cucurbitaceous crops in Martinique. [Abstract] In: Proceeding of the 39th Annual meeting on the Caribbean Food crops Society "Food production, marketing, and safety: Strategies for Caribbean Food Society", St George's Grenada, 13-18 July 2003, pp. 173.

Grey B. E., Steck T. R., 2001. the viable but non culturable state of *Ralstonia solanacearum* may be involved in long-term survival and plant infection. *Applied and environmental Microbiology* 67:3866-3872.

Getachew A., Chemed F., Seid A., Kerstin W., 2010. effects of soil amendment on bacterial wilt caused by *ralstonia solanacerum* and tomato yields in Ethiopia" 2011 51:73-76.

Gartemann K. H., Kirchner O., Engemann J., Grafen I., Eichenlaub R. et Burger A., 2003. *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*: first steps in the understanding of virulence of a Gram-positive phytopathogenic bacterium. *Journal of Biotechnology*. 106: 179–191.

Guo J H., Qi H Y., Guo Y H., Ge H L., Gong L Y., Zhang L X., and Sun P H., 2004. Biocontrol of tomato wilt by plant growth-promoting rhizobacteria. *Biological Control*, 29:66-72.

Hayward A. C., 1991. Biology and epidemiology of bacterial wilt caused by *Pseudomonas solanacearum*. *Annual Review Phytopathology* 29:67-87.

Hayward A. C., 1990. Proposal for a quick practical identification. In: Methods in phytopathology. Z. KLEMENT R., RUDOLPH D.C. SANDS (edit.), AKADEMIKI KIADO, pp. 272-274.

Hayward A. C., 1964. Characteristics of *Pseudomonas solanacearum*. *J. Appl. Bacteriol* 27:265-277.

He L Y., Squeira L., Kelman A., 1983. Characteristics of strains of *Pseudomonas solanacearum* from China. *Plant Disease* 67: 1357-1361.

Jeger M J., Viljanen-Robinson S., 2001. The use of area under the disease progress curve (AUDPC) to assess quantitative disease resistance in crop cultivars. *Theoretical and Applied Genetics* 102:32-40.

Jouzier. E., 2005. Les solanacées médicales et philatélie, Bull. Soc Pharm. Bordeaux, 144 : 311-332.

Lebeau A., 2010. Résistance de la tomate, l'aubergine et le piment à *Ralstonia solanacearum*: interactions entre les gènes de résistance et la diversité bactérienne, caractérisation et cartographie des facteurs génétiques impliqués chez l'aubergine. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences et Technologies, Université de la Réunion, Saint Denis de la Réunion, 178p.

Mc Carter., 1991. Bacterial wilt. In: Compendium of tomato diseases. Eds Jones, J.B.; Jones, J.P.; Stall, R.E.; Zitter, T.A. American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, Etats-Unis. pp. 28-29.

Mahbou S.T. G., 2010. Diversité de *Ralstonia solanacearum* au Cameroun et bases génétiques de la résistance chez le piment (*Capsicum annuum*) et les solanacées. Thèse de doctorat, Institut des Sciences et Industrie du Vivant et de l'Environnement, Agro Paris Tech, Paris, France, 181p.

Mbouaka M. E., 2000. Étude de l'efficacité agronomique des composts d'ordures ménagères au Burkina Faso: cas de la ville de Ouagadougou. Mémoire d'Ingenieur du Développement Rural, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 63p.

Messiaen C. M., 1979. Le potager tropical 2, *Presse Universitaire de France*. 393p.

Mian D., Coranson B, R., Grassart L., Wicker E., Guibaud C., Prior P., 2003. A new *Ralstonia* population affects *Anthurium* plantations and Cucurbitaceous crops in Martinique.[Abstract] In: Proceeding of the 39th Annual meeting on the Caribbean Food Society Food Production, Marketing, and safety: Strategies for Caribbean Food Society , St Georges's Grenada, 13-18 july 2003, pp. 173-180.

- Mian D., Coranson B. R., Grassart L., Wicker E., Tans Kersten J., Huang H. Y., Allen C., 2001.** *Ralstonia solanacearum* needs motility for invasive virulence on tomato. *Journal of Bacteriology*, 183 : 3597-3605.
- Mian D., Coranson-Beaudu R., Duféal D., Grassart L., Mention P., 2002.** *Ralstonia solanacearum* sur anthurium Cl la Martinique. *Phytoma, la Defense des Végétaux*, 551 : 43-45.
- Michel V., Hartman G. L., Midmore D. J., 1996.** Effect of Previous Crop on Soil Populations of *Burkholderia solanacearum*, Bacterial Wilt, and Yield of Tomatoes in Taiwan. *Plant disease*, 80, 1367.
- Milling A., Meng F. H., Denny T. P., Allen C., 2009.** Interactions with hosts at cool temperatures, not cold tolerance, explain the unique epidemiology of *Ralstonia solanacearum* race 3 biovar 2. *Phytopathology* 99:1127-1134.
- MAHRH., 2011 :** Rapport d'analyse du module maraîchage. Rapport d'étude phase 2 : RGA 2006-2010, Ministère de l'Agriculture de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques, Ouagadougou, Burkina Faso, 214p.
- Naika S., Joep VAN Lidt de Jeude, Marja de Goffau, Martin H., Barbara V D., 2005.** La culture de la tomate: production, transformation et commercialisation. Ed Fondation Agromisa et CTA, Wageningen, 106p.
- N'guessan C.A., Abo K., Fondio L., Chiroleu F., Lebeau A., Poussier S., Wicker E., Koné D., 2012.** So near and yet so far: the specific case of *Ralstonia solanacearum* populations from Côte d'Ivoire in Africa. *Phytopathology*, 102: 733-740.
- OEPP., 2005** *Ralstonia solanacearum*. Bulletin OEPP/EPPO, 34:173-178.
- Olmstead R. G., Bohs L., Migid H. A., Santiago-V E., Garcia V.F., Cellier S. M., 2008.** A molecular phylogeny of the Solanaceae. *Taxon* 57:1159-1181.
- Ooshiro A., Takaazu K., Natsume M., Taba S., Nasu K., Uehara M., 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*, 4:187-214.
- Peralta I. E., Spooner D. M., Knapp S., 2008.** Taxonomy of wild tomatoes and their relatives (*Solanum* sect. *Lycopersicoides*, sect. *Juglandifolia*, sect. *Lycopersicon*; *Solanaceae*). *Systematic Botany Monographs* 84:1-186.
- Poussier S., Prior P., Luisetti J., Hayward C., Fegan M., 2000.** Partial sequencing of the *hrpB* and endoglucanase genes confirms and expands the known diversity within the *Ralstonia solanacearum* species complex. *Syst Appl Microbiol* 23 : 479-486.

Pradhanang P., Momol M., Olson S., Jones J., 2003. Effects of plant essential oils on *Ralstonia solanacearum* population density and bacterial wilt incidence in tomato. *Plant Disease* 87:423-427.

Prior P., Beramis M., Clairon M., Quinquampoix H., Robert C., Schmit J., 1993. Contribution to integrated control against bacterial wilt in different pedoclimatic situations: Guadeloupe experiments. In : Hayward AC, Hartman GL (eds) Bactériel wilt: the disease and its causative agent, *Pseudomonas solanacearum* CAB International, Winlifford , UK, pp 209-223.

Prior P., Steva H., Cadet P., 1990. Aggressiveness of strains of *Pseudomonas solanacearum* from the French West Indies (Martinique and Guadeloupe) on tomato. *Plant Disease* 74:962-965.

Peeg K. G., Moffet M., 1971. Host range of the ginger strain of *Pseudomonas solanacearum* in Queensland. *Aust. J. Exp. Agric. Amin. Huosbandry* 11: 696-698.

Priou S., Vargas M., Aley P., Gutarra L., Salas A., 2006. Characterization of promising sources of high levels of resistance to bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum* biovar 2A) in wild species of potato. In: The 4th bacterial wilt symposium, The Lakeside Conference Center, Central Science Laboratory, York, U. K. 17th 20th July 2006, pp 16-25

Spooner D. M., Anderson G. J., Jansen R. K., 1993. Chloroplast DNA evidence for the interrelationships of tomatoes, potatoes and pepinos (*Solanaceae*). *American Journal of Botany* 80:676-688.

Seal, S. E., Jackson, L. A., Daniels, M. J., 1992. Use of tRNA consensus primers to indicate subgroups of *Pseudomonas solanacearum* by polymerase chain reaction amplification. *Applied and Environmental Microbiology*, 58, 3759-3761.

Smith J. J., Offord L. C., Holderness M., Saddler G. S. 1995. Genetic diversity of *Burkholderia solanacearum* (synonym *Pseudomonas solanacearum*) race 3 in Kenya. *Applied and Environmental Microbiology*, 61:4263-4266.

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

Tans Kersten J., Huang H. Y., Allen C., 2001. *Ralstonia solanacearum* needs motility for invasive virulence on tomato. *Journal of Bacteriology*, 183:3597-3605.

Vasse J., Frey P., Trigalet A., 1995. Microscopic studies of intercellular infection and protxylem invasion of tomato roots by *Pseudomonas solanacearum*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 8:241 - 251.

Wicker E., Lefeuvre P., Cambiaire J. C.d., Lemaire C., Poussier S., Prior P., 2012. Contrasting recombination patterns and demographic histories of the plant pathogen *Ralstonia solanacearum* inferred from MLSA. *ISME Journal*, 6 : 961-974.

Weese T. L, Bohs L., 2007. A three gene phylogeny of the genus *Solanum* (*Solanaceae*). *Systematic Botany*, 32: 445-463.

Winstead N. N., Kelman A., 1952. Inoculation techniques for evaluating resistance to *Pseudomonos solanacearum*. *Phytopathology*, 42, p 628-634.

Yao J., Allen C., 2006. Chemotaxis is required for virulence and competitive fitness of the bacterial wilt pathogen *Ralstonia solanacearum*. *Journal of Bacteriology* 188:3697-3708.

Yao J., Allen C., 2007. The plant pathogen *Ralstonia solanacearum* needs aerotaxis for normal biofilm formation and interactions with its tomato host. *Journal of Bacteriology* 188: 3697-3708.

Yougbaré J., 2008. Evaluation de la fertilité des terres aménagées en cordons pierreux, zaï et demi-lune dans le bassin versant du Zondoma. Mémoire d'Ingénieur du développement rural, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 60p.

Zhu H. H.; Yao J., 2004. Localized and systemic increase of phenols in tomato roots induced by *Glomus versiforme* inhibits *Ralstonia solanacearum*. *J. Phytophathology* 152: 537-542.

ANNEXES

A1. Milieux de culture

1. Milieu de Kelman

Peptone : 11g

Agar : 18g

Glycérine : 6,3g

NaOH, N : 1,7g

Eau distillée : 1g

Autoclavage (120°C,20')

TTC (Chlorure de Triphenyltetrazolium) 25mg

2. Le milieu saccharose-peptone (SPA)

saccharose : 20 g ;

peptone : 5 g ;

K₂HPO₄ : 0,5 g ;

MgSO₄·7H₂O : 0,25 g ;

Bacto agar (Difco) : 15 g

Eau distillée : 1 litre.

3. LPGA

Peptone : 7g

Extrait de levure : 7g

Glucose D+ : 7g

Agar : 18g A2 Tableau 7: Résultats de ANOVA sur les différents traitements

Fertilisants	IF P1	IF P3	AUDPC P1	AUDPC P3	Haut P1	Haut p3
FiV4	11a	9,75a	3,25a	10,25a	43c	41c
FP4	12,25a	9,5a	10,5ab	9,75a	42c	41c
FP3	15,75a	10a	13,25ab	8,75a	41c	40 c
FiV3	18,25ab	11,25a	6a	10,25a	42c	33ab
FiV2	28,5ab	31,25bcd	10,5ab	25,5ab	31ab	39,5b
FV4	30,5ab	30,5ab	15,75ab	11,5a	34ab	29a
FiV1	31,25ab	31bcd	23,25ab	25,5ab	33ab	28,5a
FP2	31,25ab	13a	11,25ab	8,75a	31ab	37a
FV3	31,25ab	30,5bc	19,25ab	19,25ab	34ab	26a
FP1	39,75b	21,5b	25,5ab	10,25a	34ab	33,5ab
FV2	42b	30,5bc	25,75ab	22ab	27a	27a
FV1	46,25b	36,75cd	3,25a	31,25b	25a	24a
FM	49,25b	39,75d	44,75b	38,75b	25a	21a
prob	0,002	0,001	0,002	0,002	0,01	0,01
signif	THS	THS	THS	THS	HS	HS

Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne sont statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test de Student-Newman-Keuls; HS : hautement significatif; THS :très hautement significatif: probab = probabilité, signif = significatif ($a < b < c$).