

Rapport d'étude :

Méthode de lutte agroécologique contre le flétrissement bactérien

**Evaluation du potentiel assainissant de 3 plantes de services en
engrais vert et de 2 types d'amendements organiques dans la gestion
du flétrissement bactérien de la tomate**

INNOVEG action 2 « Santé du végétal à Mayotte : gestion agro-
écologique des bioagresseurs »



Soulezelle Juliette (CIRAD)

Avec la participation de Deltreil Valentin (CIRAD), Huat Joël (CIRAD),
Chesneau Thomas (LPA), Attoumani Soilihi (DRTM)

Date de parution : Février 2017

Sommaire

Introduction.....	1
1. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE	1
1.1. Systématique et morphologie	1
1.2. État des lieux à Mayotte.....	3
1.3. Stratégies de lutttes employées	4
1.4. Méthode de lutte retenue : utilisation de plantes de services en précédent cultural suivi d'un mulch et fertilisation organique	5
2. OBJECTIFS.....	8
3. MATÉRIEL ET MÉTHODE	9
3.1. Dispositif expérimental et matériel végétal.....	9
3.2. Itinéraire cultural.....	10
3.3. Observations et mesures.....	11
4. RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	12
4.1. Caractérisation des plantes de services testées.....	12
4.2. Évaluation de l'incidence et de la sévérité du flétrissement bactérien.....	14
4.3. Évaluation de l'indice de colonisation bactérienne	16
Conclusion	18
Bibliographie	19
Annexe I : Plan du dispositif expérimental de l'essai « PdS et MO » pour le suivi du développement du flétrissement bactérien sur tomates	22
Annexe II : Modèle de régression linéaire généralisé (glm) employé pour analyser l'effet de la modalité sur la colonisation des plants par <i>R. solanacearum</i>	23
RÉSUMÉ.....	24

Introduction

Le flétrissement bactérien des Solanacées dû à *Ralstonia solanacearum* ne permet pas aux agriculteurs mahorais d'avoir des niveaux de production acceptables, en particuliers sur tomate, principale culture maraîchère cultivée à Mayotte. Aucun moyen de lutte chimique efficace n'existant contre cette maladie, on ne peut miser que sur des méthodes de contrôle comme la résistance variétale, la prophylaxie et la lutte culturale pour limiter l'apparition et la propagation de l'agent *R. solanacearum*.

Il a été décidé de travailler sur le développement d'une méthode de lutte agroécologique calquée sur les travaux déjà réalisés en Martinique par le CIRAD (P. Deberdt, unité Hortsys). Cette méthode consiste en l'utilisation de plantes de services (PdS) en précédent cultural suivi d'un mulch en sélectionnant des espèces reconnues pour leur effet assainissant vis-à-vis de *R. solanacearum*. Trois PdS ont été sélectionnées pour être testées à Mayotte sur leur capacité à diminuer le potentiel infectieux des sols lié à *R. solanacearum* : les crotalaires *Crotalaria spectabilis* & *Crotalaria juncea*, et le niébé *Vigna unguiculata*.

En outre, différentes études ont démontré de bons résultats avec l'incorporation de fumiers compostés qui semble être un moyen de lutte contre le flétrissement bactérien efficace et facile à mettre en œuvre à Mayotte. Il a donc été décidé de tester au cours de cet essai deux types d'amendements organiques : fumier de bovins composté et fumier de volaille composté.

L'objectif de cette étude est donc d'évaluer en plein champ le potentiel assainissant de trois plantes de services et de deux amendements organiques vis-à-vis de l'expression du flétrissement bactérien avec une culture de tomate comme bioindicateur.

1. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Systématique et morphologie

La bactérie *Ralstonia solanacearum* est devenue un modèle en phytopathologie en raison de sa répartition mondiale et de sa large gamme d'hôtes (450 hôtes appartenant à 54 familles botaniques) (Wicker et al, 2007). A Mayotte, elle provoque un flétrissement bactérien sur les Solanacées, mais cet agent pathogène est également responsable dans d'autres régions du monde du flétrissement bactérien des Cucurbitacées, de la pourriture brune de la pomme de terre, de la maladie de Granville du tabac, de la maladie de bugtok et de la maladie de Moko sur bananier (Wicker et al, 2007).

Anciennement caractérisée comme *Pseudomonas solanacearum*, cette bactérie tellurique Gram⁻ est un bacille de 0,5 à 1,5 µm possédant un ou plusieurs flagelles polaires lui permettant de se déplacer. En termes génétiques, la classification de l'espèce *R. solanacearum* a longtemps reposé sur les biovars établis par Hayward (1964, 1983) selon la capacité des souches à utiliser différents sucres et alcools, ainsi que sur les races établies en fonction du spectre d'hôtes des différentes souches (Deberdt & al, 2014). Cette

classification a beaucoup évolué au cours de la dernière décennie avec l'évolution des méthodes d'analyses phylogénétiques et de la bactérie elle-même. En effet, la capacité de *R. solanacearum* à pratiquer la conjugaison bactérienne (transferts génétiques horizontaux entre souches) lui confère une grande plasticité génomique. Grâce aux analyses moléculaires, Fegan et Prior ont établi en 2005 quatre phylotypes corrélés à une origine géographique pour ce complexe d'espèces (figure 1). Nous verrons plus tard que les souches de *R. solanacearum* présentes à Mayotte sont reliées au phylotype I d'origine asiatique (Chesneau, com. pers.).

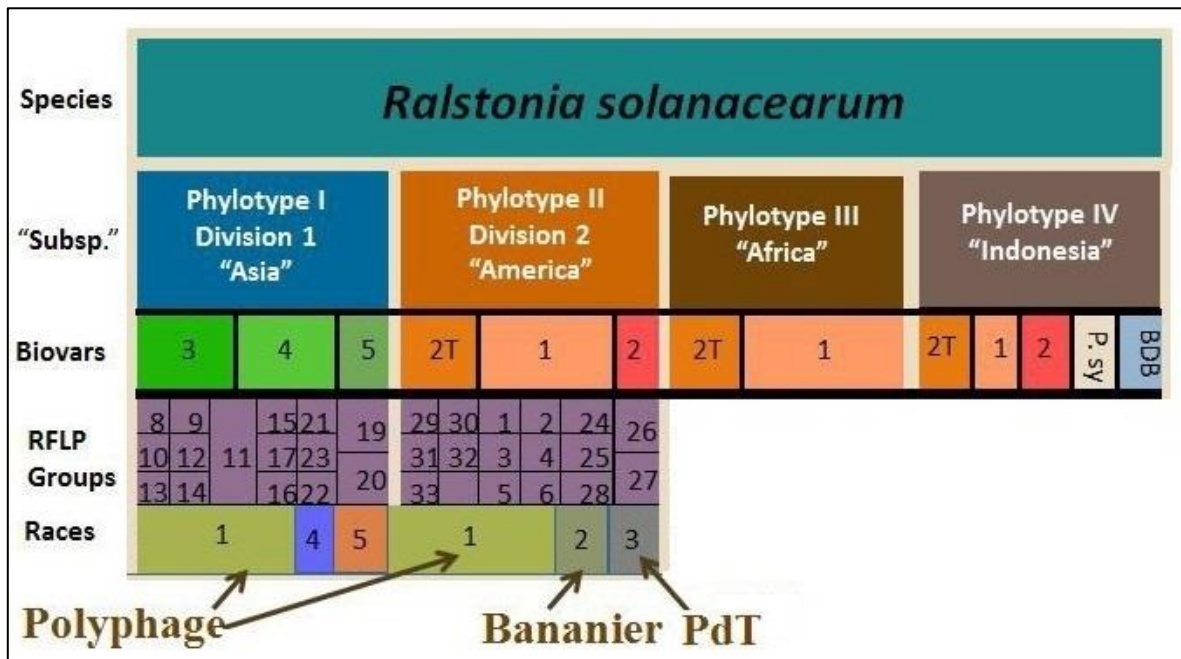


Figure 1 : Complexe d'espèces *R. solanacearum* établi par Fegan & Prior en 2005 (Source : Lebeau, 2010)

Le cycle infectieux de la bactérie est résumé dans la figure 2. L'agent pathogène pénètre l'hôte par des lésions naturelles aux points d'émergence des racines secondaires latérales, des lésions caulinaires provoquées par des outils, ou des lésions racinaires causées par des nématodes à galles (*Meloidogyne ssp.*) (Deberdt & Fernandes, 2013). Sa prolifération dans les vaisseaux du xylème bloque la circulation de la sève et entraîne l'enroulement et le flétrissement des feuilles, puis une épïnastie foliaire (fléchissement des pétioles vers le bas) et la mort du plant (Lebeau, 2010). La capacité de *R. solanacearum* à se mouvoir contribue à la virulence de la maladie au cours des stades précoces de la colonisation des plants (Lebeau, 2010). Lorsque la maladie est à un stade avancé, une coupe transversale de la tige peut révéler un exsudat bactérien de couleur crème, et un sillon de couleur sombre témoignant de l'infection peut être observé sur les tiges.

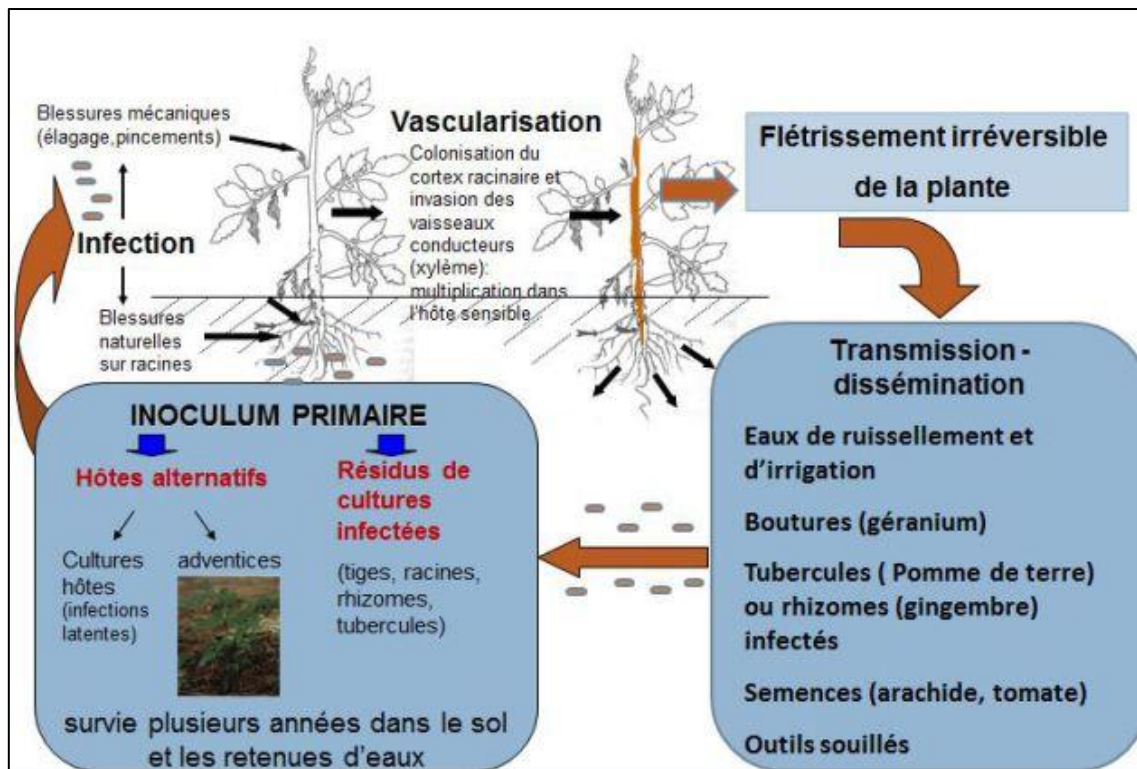


Figure 2 : Cycle infectieux de l'agent *Ralstonia solanacearum*
(Source : Deberdt et Fernandes, 2013)

L'agent pathogène peut être disséminé rapidement aux différentes échelles par les eaux de drainage et/ou de ruissellement, par transmission de racine à racine, par les outils souillés ou par le transport de matériel végétal porteur d'infection latente. De plus, *R. solanacearum* est capable de survivre jusqu'à plusieurs années dans différents milieux : le sol, l'eau, les résidus de cultures infectées ou des plantes hôtes saines (Deberdt & Fernandes, 2013). Cette bactérie présente en effet deux types de plantes hôtes :

- les plantes hôtes sensibles, qui développent les symptômes de flétrissement et meurent suite à la maladie ;
- les plantes hôtes « latents » ou les porteurs sains, qui ne développent pas de symptômes visibles (généralement des adventives telles que le pourpier ou les morelles).

1.2. État des lieux à Mayotte

La tomate est cultivée dans 44% des exploitations maraîchères soit 58 ha dans 552 exploitations et 3 à 4 ha sous-abris et hors-sol (DAAF, 2016). Du fait des conditions climatiques et des maladies bactériennes comme le flétrissement bactérien, la culture de la tomate est fortement limitée en saison chaude et humide, ce qui entraîne une grande fluctuation saisonnière des prix. En effet, il est difficile d'envisager des productions de tomates en plein champ à cause de l'impact des fortes pluies (effet mécanique direct sur les plantes et les sols, engorgement des sols) ; mais également à cause des maladies aériennes et les bactéries telluriques, en particulier *R. solanacearum* qui induit un taux de mortalité avoisinant les 70%.

Une analyse de la diversité génétique des souches de *R. solanacearum* présentes à Mayotte a été menée entre 2011 et 2013 par Philippe Prior et Thomas Chesneau. Il en ressort que les 155 souches analysées appartiennent au phylotype I d'origine asiatique. Au sein de ce groupe, 4 sous-groupes dénommés 'Sequevars' ont été identifiés : S31, S18, S46, S15. Le Sequevar 31 correspondant aux souches les plus agressives à Mayotte représenterait à lui seul 86 % des souches analysées (Chesneau, com. pers.).

1.3. Stratégies de lutttes employées

Aucun moyen de lutte chimique efficace n'existant contre le flétrissement bactérien, on ne peut miser que sur des méthodes de contrôle comme la résistance variétale, la prophylaxie et la lutte culturale pour limiter l'apparition et la propagation de l'agent *R. solanacearum*.

Malgré de nombreux travaux sur la résistance variétale, il existe peu de cultivars intéressants et leur résistance est limitée à certaines souches de *R. solanacearum* (Lebeau et al, 2011). Des essais variétaux menés à Mayotte entre 2011 et 2013 ont montré que les variétés de tomates Hawaii 7996 (INRA) et R3034 (AVRDC) étaient résistantes aux souches appartenant au séquevar S31 évoqué précédemment. Les variétés CLN1463 (AVRDC) et Platinum F1 (East West Seeds) possèderaient une résistance intermédiaire (Chesneau, com. pers.). Les deux variétés Hawaii 7996 et R3034 sont des lignées fixées utilisées dans des programmes de sélection pour la résistance à *Ralstonia solanacearum*. Malgré leur faible potentiel agronomique elles peuvent être utilisées comme porte-greffes résistants au flétrissement bactérien. Une technique de greffage sur des variétés d'aubergine ou de tomates a été développée à la station agronomique de Dombéni avec de bons résultats, mais il semblerait que cette méthode ne soit pas adoptée par les agriculteurs mahorais en raison du temps et de la technicité exigée. Le transfert de cette méthode semble d'avantage réalisable dans le cadre d'une filière structurée avec la production de plants greffés par des pépiniéristes spécialisés.

Des essais antérieurs à la station de Dombéni, sous tunnel en pleine terre entre 2005 et 2007 (Gimenez et al, 2007), ont néanmoins montré l'intérêt de certaines variétés pour la culture de tomate en parcelles contaminées par *R. solanacearum* : Mongal F1 (Technisem), « Chamou » et « Joma ». Ces deux dernières variétés fixées, introduites de l'AVRDC, ont été largement multipliées sur la station de Dombéni en 2007 et 2008, et diffusées aux producteurs maraîchers au regard de leur relative tolérance au flétrissement bactérien (Huat et Gimenez, 2007). Elles seront à nouveau multipliées sur la station en 2016 et diffusées à nouveau aux agriculteurs désireux de les cultiver. A ce jour, la variété Mongal F1 reste la variété de tomate la plus cultivée à Mayotte en plein champ.

Les mesures prophylactiques comme l'élimination des plantes contaminées par arrachage et brûlage (cultivars et adventices), la désinfection systématique du matériel (outils, chaussures, matériel d'irrigation) doivent être impérativement adoptées pour diminuer le potentiel infectieux du sol. Une faible densité de semis peut minimiser les

risques de transmission de l'agent de racine à racine, et la rotation culturale avec des plantes non hôtes permet de rompre le cycle infectieux. L'agent pathogène *R. solanacearum* ayant la capacité de survivre plusieurs années hors d'un hôte, il est préférable d'opter pour une rotation culturale ou une culture associée avec une plante de service aux effets assainissant. En effet, les rotations avec des cultures non hôtes sur plusieurs années (5 à 7 ans) sont recommandées mais ne sont efficaces que dans le cas d'un faible potentiel infectieux du sol (Abo-Elyousr et al, 2009). La lutte contre les nématodes à galles est également un bon moyen pour limiter la progression de la maladie (Deberdt et Fernandes, 2013).

Enfin, le développement de ce pathogène étant favorisé par les milieux humides, un travail du sol peu profond peut permettre d'assécher la première couche du sol et d'exposer au soleil les populations microbiennes. La solarisation peut également être efficace et facile à mettre en place en milieu tropical, mais cette méthode peu sélective induit une forte diminution de toute la biomasse microbienne du sol. L'enfouissement de biomasse végétale (résidus de culture, interculture) et/ou un apport de matières organiques exogène peut au contraire être favorable à la diversité des communautés bactériennes du sol et induire ainsi une régulation liée aux phénomènes d'antagonisme et de compétition (Cardoso et al, 2006).

1.4. Méthode de lutte retenue : utilisation de plantes de services en précédent cultural suivi d'un mulch et fertilisation organique

Les plantes de services

Les plantes de services (PdS) regroupent une grande diversité de familles botaniques pouvant être employées pour optimiser la fertilisation (engrais verts), la structure et la conservation du sol (plantes de couverture), la diversité microbienne et la gestion des bioagresseurs (plantes pièges ou plantes assainissantes vis à vis de ravageurs, parasites et adventices). Si de nombreux travaux sont déjà rapportés dans la littérature sur l'utilisation des PdS dans la lutte contre les nématodes, on trouve moins de données sur la lutte contre les microorganismes pathogènes telluriques. L'utilisation de PdS en cultures associées, mulch ou biofumigation dans le cadre d'une lutte agroécologique contre *R. solanacearum* est toutefois étudiée depuis plusieurs années en Martinique par le CIRAD (P. Deberdt, unité Hortsys) avec des résultats prometteurs.

On distingue deux voies d'action des PdS dans la lutte contre les bioagresseurs telluriques : directes et indirectes.

La voie directe comprend tout d'abord l'allélopathie par la sécrétion de composés biocides libérés (i) au cours de la phase culturale par les exsudats racinaires, ou (ii) au cours de la phase de décomposition de la biomasse végétale des PdS. La rupture du cycle infectieux due au statut non hôte est un autre moyen direct pour réduire les populations phytopathogènes telluriques.

La voie indirecte englobe les services écosystémiques des PdS comme la stimulation de prédateurs naturels des bioagresseurs ou l'amélioration de la qualité du sol pouvant induire une meilleure résistance de la culture de rente (porosité, apports organiques, minéralisation...). Dans le cas de *R. solanacearum*, l'effet indirect le plus intéressant semble être l'accroissement de la diversité et de l'activité des populations microbiennes du sol permettant d'induire les processus de compétition et d'antagonisme entre micro-organismes (Deberdt et Fernandes, 2013).

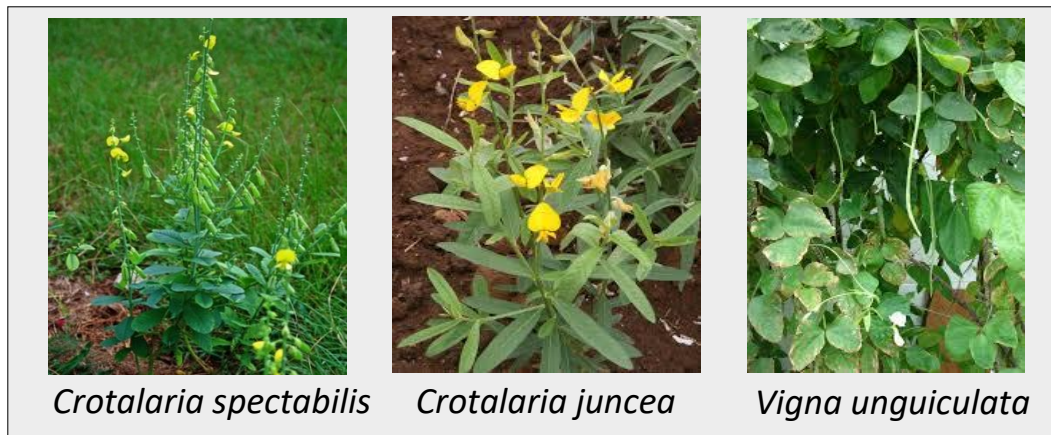


Figure 2 : plantes de services sélectionnées pour cette étude

Trois PdS ont été sélectionnées pour être testées à Mayotte sur leur capacité à diminuer le potentiel infectieux des sols lié à *R. solanacearum* (figure 2). Les espèces *Crotalaria spectabilis* et *C. juncea* appartiennent à la famille des Fabacées et sont originaires d'Asie. Elles sont aujourd'hui largement répandues dans les zones tropicales et subtropicales, en particulier en Afrique. Elles présentent différents intérêts agronomiques :

- La capacité propre aux légumineuses à former une symbiose avec des bactéries fixatrices d'azote atmosphérique les désigne comme engrais verts ;
- L'adaptation à différents types de sol, la tolérance à la sécheresse, la croissance rapide et la forte production de biomasse les désignent comme plante de couverture pour lutter contre la pression des adventices et les phénomènes érosifs (Wang et al, 2002) ;
- La synthèse et la libération de la monocrotaline, un alcaloïde pyrrolizidinique connu pour sa toxicité envers les nématodes (Wang et al, 2002) les désignent comme intercultures assainissantes dans les systèmes sensibles aux nématodes (bananes et ananas notamment).

Peu de travaux ont été menés sur l'utilisation des crotalaires dans la lutte contre les bactéries telluriques phytopathogènes. Une étude menée au Brésil avec *C. juncea* a toutefois permis de démontrer une réduction de 100% du flétrissement bactérien dû à *R. solanacearum*. Ce résultat a été obtenu en conditions semi-contrôlées sur des tomates transplantées dans un sol traité par biofumigation avec un amendement de tissus frais de *C. juncea* enfouis et incubés sur une période de deux mois (Cardoso et al, 2006).

En Martinique, l'équipe de P. Deberdt a testé les crotalaires sur leur effet biocide vis-à-vis de *R. solanacearum*, leur potentiel assainissant vis-à-vis de l'incidence du flétrissement bactérien et leur effet sur la vie microbienne tellurique. Avec les précédents culturaux *C. spectabilis* et *C. juncea*, l'apparition de la maladie a été retardée de 25 jours en moyenne et l'incidence de la maladie a été significativement réduite (jusqu'à moins 70%) en conditions réelles de plein champ. De plus, l'étude de la structure des communautés microbiennes a permis de démontrer l'absence d'effet suppressif de ces plantes de service sur les populations microbiennes non cibles, et même une stimulation de ces populations pour ces deux espèces de crotalaires (Fernandes et al, 2012).

En termes d'effet biocide, une étude publiée en 2015 démontre que certaines plantes de services réduisent significativement l'incidence du flétrissement bactérien sans toutefois réduire les populations de *R. solanacearum* dans la rhizosphère (Deberdt et al, 2015). La densité de *R. solanacearum* évaluée dans la rhizosphère de *C. juncea* fût significativement plus élevée que dans la rhizosphère de *C. spectabilis*, avec des valeurs relativement proches de celles observées sur le témoin. L'incidence du flétrissement fût toutefois réduite de près de 60% avec l'espèce *C. spectabilis* en précédent cultural (Deberdt et al, 2015). On peut donc émettre l'hypothèse que les mécanismes d'actions mis en jeu dans cette régulation de *R. solanacearum* ne sont pas associés à la production d'exsudats biocides au cours de la phase culturale (voie directe); mais plutôt à l'accroissement des phénomènes d'antagonisme, de compétition, de prédation, et/ou de stimulation des défenses naturelles de la tomate (voie indirecte).

Des essais en conditions contrôlés ayant démontré une optimisation de l'effet assainissant par l'enfouissement de tissus frais de *C. juncea* dans un sol contaminé par *R. solanacearum* (CIRAD Martinique), c'est cette modalité qui sera testée à Mayotte sur cette saison.

La troisième plante de service testée à Mayotte est le **niébé (*Vigna unguiculata*)** bien connu des agriculteurs locaux (*Koundré* en shimaoré, *Ankoudry* en kiboushi). Cette PdS appartient également à la famille des Fabacées, et présente une croissance rapide avec un système végétatif rampant. Elle constitue ainsi une bonne plante de couverture et peut être employée comme engrais vert. Là encore, l'effet nématocide de cette PdS a été démontré par différents auteurs (Quaranta, 2009). Cette espèce a déjà été évaluée par le Cirad dans le cadre d'essais en plein champ en Martinique, et n'a pas été retenue pour poursuivre les travaux de lutte contre *Ralstonia* à cause de résultats peu prometteurs (Deberdt, com. pers.). Cependant, une étude de Michel et al (1997) citée par Ratnadass et al (2009) a démontré une diminution de l'incidence de la maladie en culture associée de tomate et de niébé. Le mécanisme mis en œuvre serait la réduction de la mobilité des pathogènes d'un plant infesté à un plant sain via l'appareil racinaire du niébé. Par conséquent, nous avons fait le choix de tester également cette PdS en précédent cultural suivi d'un mulch sous la culture de tomate.

Les amendements organiques d'origine animale

L'état de l'art établi par Yuliar et al (2015) recense différentes études démontrant une stimulation de l'activité de microorganismes antagonistes d'agents pathogènes suite à l'apport d'amendements organiques. Par exemple, l'incorporation de lisier de porc induit une forte diminution des populations telluriques de *R. solanacearum* appartenant au biovar 2 (phylotype II) (Gorissen et al, 2004). Les mécanismes de suppression impliqués demeurent inconnus, mais une modification des communautés bactériennes a été démontrée. Une autre étude suggère également une réduction de l'incidence de la maladie suite à l'incorporation de fumiers en raison d'une augmentation de l'activité et du nombre d'organismes bactériens et fongiques (Islam et al, 2004).

En outre, une étude de Yadessa et al (2010) démontre une suppression totale de *R. solanacearum* suite à l'amendement de fumier de bovins composté aux ratios 5% et 10%. La préparation du compost en question comprend un mélange de volumes équivalents de fumier de bovin et de sciure, suivi d'un compostage de 3 mois avec 2 retournements à 4 semaines d'intervalle.

L'incorporation d'amendements organiques d'origine animale semble donc être un moyen de lutte contre le flétrissement bactérien efficace et facile à mettre en œuvre à Mayotte. Une étude de Janvier et al (2007) signale toutefois que l'efficacité de cette méthode dépend fortement de (i) la combinaison plante/pathogène, (ii) la dose appliquée, (iii) la nature de l'amendement et (iv) le degré de compostage des résidus, qu'ils soient d'origine animale ou végétale. On choisira donc de tester au cours de cet essai deux types d'amendements organiques (bovins et volaille) et deux doses d'application.

2. OBJECTIFS

L'objectif de cette étude est d'évaluer en plein champ le potentiel assainissant de trois plantes de services et de deux amendements organiques vis-à-vis de l'expression du flétrissement bactérien avec une culture de tomate comme bioindicateur.

Hypothèses testées :

- La culture puis le fauchage de plantes de services au stade de floraison pour la mise en place d'un mulch induisent un effet assainissant vis-à-vis de l'expression du flétrissement bactérien.
- L'incorporation d'amendements organiques induit un effet assainissant vis-à-vis de l'expression du flétrissement bactérien d'une part.
- Certaines plantes de services offrent un potentiel assainissant plus intéressant que d'autres, y compris au sein d'un même genre (*Crotalaria spectabilis* vs *Crotalaria juncea*).
- Certains amendements organiques offrent un potentiel assainissant plus intéressant que d'autres (compost de fumier de bovin vs compost de fumier de volaille).

3. MATÉRIEL ET MÉTHODE

3.1. Dispositif expérimental et matériel végétal

L'essai s'est déroulé à la station expérimentale de Dembéli entre juin et décembre 2016 sur des parcelles cultivées en tomates depuis plus de 15 ans, avec des périodes non cultivées (saison des pluies) et d'autres cultures selon les années en saison sèche (chou, aubergine, papayer ...). Cet essai fût divisé en différentes phases selon le calendrier ci-dessous (figure 3).

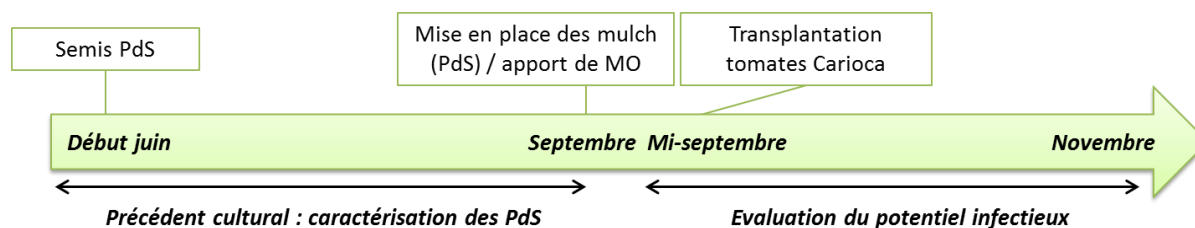


Figure 3 : calendrier présentant les différentes phases de l'essai

Les semences de crotalaires provenant du Brésil (Wolfseeds) ont été envoyées par P. Deberdt (UR Hortsys, Martinique) en raison de frais d'imports très élevés proposés par le distributeur. Les semences de niébé sont difficiles à trouver chez les semenciers et ont été achetées sur un marché local à Combani.

La variété de tomate Carioca (Technisem) a été employée comme bioindicateur pour l'évaluation du potentiel infectieux du sol après la culture et le mulch des PdS et/ou amendements organiques car elle est assez sensible au flétrissement bactérien. Elle fût semée en pépinière mi-août pour être transplantée sur la parcelle mi-septembre.

Le tableau I ci-après résume les 11 modalités testées avec :

- 6 modalités pour les PdS : 3 espèces, une présence/absence de fertilisation ;
- 4 modalités pour les amendements organiques : 2 types de fumier composté (volailles et bovins) avec 2 doses pour chacun : D1 (0,125 kg/trou) et D2 (0,250 kg/trou) pour le fumier composté de volailles ; D3 (0,5 kg/trou) et D4 (1 kg/trou) pour le fumier composté de bovin.
- 1 témoin avec absence de précédent et d'amendement organique.

Pour chaque modalité, 5 blocs ont été mis en place avec 20 répétitions (plants de tomates) dans chaque parcelle élémentaire. Les différentes modalités ont été réparties de façon aléatoire sur la parcelle expérimentale selon le plan illustré en annexe I.

Les deux doses d'application testées pour chaque type d'amendement organique ont été définies en respectant un rapport d'1/4 entre le fumier de volaille et le fumier de bovin en raison d'un apport d'azote 4 fois supérieur pour le compost de fumier de volailles (Source : Guide de la fertilisation organique à la Réunion).

Tableau 1 : dispositif expérimental de l'essai « PdS & MO »

Plante de service	Gestion résidus	Matière organique	Dose MO	N° Modalité
<i>C. spectabilis</i>	Non enfouis (mulch)	Compost de fumier de bovins	D3	M1
		Aucun apport	0	M2
<i>C. juncea</i>	Non enfouis (mulch)	Compost de fumier de bovins	D3	M3
		Aucun apport	0	M4
<i>V. unguiculata</i>	Non enfouis (mulch)	Compost de fumier de bovins	D3	M5
		Aucun apport	0	M6
Aucune	Aucune	Compost de fumier de volailles	V-D1	M7
			V-D2	M8
		Compost de fumier de bovins	B-D3	M9
			B-D4	M10
		Aucun apport	0	M11

3.2. Itinéraire cultural

Un **travail du sol** a été effectué au rotobèche avant le **semis des plantes de service** effectué avec une densité de 28 kg/ha pour les crotalaires et 15 kg/ha pour le niébé. Le **fauchage des PdS** et la mise en place des mulch a été réalisé manuellement (machette) au stade 50% de floraison (prévu à environ 90 jours pour les crotalaires et 70 jours pour le niébé).

Le **semis des tomates** Carioca a été effectué dans des plaques alvéolées de 54 ou 77 trous avec un terreau Peltracom 113.

Un **paillage** plastique noir épais a été mis en place sous les tomates des modalités « matière organique » et sur le témoin (soit les modalités M7 à M11) pour lutter contre la pression des adventices.

L'**apport d'amendements organiques** a été effectué pour les modalités concernées de manière localisée (au trou de plantation) lors de la mise en place de la culture de tomates Carioca. La préparation des composts a été assurée en mélangeant les fumiers à un volume équivalent de sciure finement broyée, suivie d'un compostage de deux mois avec 2 retournements à 3 semaines d'intervalle. Le fumier de volaille provenait de l'exploitation Majwayi (Ironi Be), le fumier de bovin provenait de l'élevage de M. Boinahery (Combani) et la sciure utilisée pour le compostage a été récupérée à la scierie de Coconi. Une dose de 0,5 kg de compost de fumier de bovin/plant a été apportée pour les tomates associées aux modalités « PdS » ; et deux doses ont été testées pour les « modalités MO » (0,5 et 1 kg de matière fraîche/plant pour le fumier composté de bovin et 0,125 et 0,250 kg de matière fraîche/plant pour le fumier composté de volaille).

La **transplantation des tomates** Carioca a été réalisée selon le dispositif décrit précédemment avec une densité de 2,1 plants/m².

L'**irrigation** a été assurée par goutte à goutte en programmant trois créneaux d'irrigation (6h30, 12h et 17h30) de 15 minutes environ (modulé au cours de l'essai selon la météo).

3.3. Observations et mesures

Caractérisation des plantes de services testées

Une caractérisation des plantes de services testées a été effectuée avec comme indicateurs observés :

- Le taux de levée 3 fois par semaine (L, M, V) pendant les 2 premières semaines ;
- La date de floraison ;
- La hauteur du couvert ;
- La biomasse fraîche.

Évaluation de l'incidence et de la sévérité du flétrissement bactérien

Le suivi de l'expression de la maladie a été effectué 3 fois par semaine de 0 à 60 jours après la transplantation des tomates Carioca (JAT). La notation est effectuée selon l'échelle classique :

→ 1 = plante morte, entièrement flétrie ou aux trois quarts flétrie

→ 0 = pas de symptôme ou moins des $\frac{3}{4}$ de la plante flétrie

Le nombre de plantes flétries à chaque date d'observation permet d'évaluer l'incidence du flétrissement bactérien (IFB) pour chaque modalité ; et son évolution au cours du temps représentée par la courbe $IFB=f(t)$ avec pour chaque date (t) :

$$IFB(t) = nb \text{ de plantes flétries à la date } t / nb \text{ de plantes totales}$$

Les données des indices de flétrissement à différentes dates permettent ensuite d'évaluer la sévérité de la maladie à ces mêmes dates et son évolution représentée par la courbe $AUDPC=f(t)$ (*Area Under Disease Progress Curve*) avec pour chaque date t :

$$AUDPC(t) = \left(\sum_{i=1}^{k-1} (IFB_i + IFB_{i+1}) / 2 \right) * (t_{i+1} - t_i)$$

Évaluation de l'indice de colonisation bactérienne

Enfin, un isolement microbiologique a été effectué à la base des tiges en fin d'essai sur 5 plants sans symptômes par parcelle élémentaire pour repérer les infections latentes. La méthodologie définie par Deberdt & al (2012) consiste à prélever un segment de la tige principale d'environ 5 cm sur chaque plant, la désinfecter avec de l'alcool à 70% avant de la flamber au bec Bunsen (figure 4). Le segment est ensuite broyé finement dans 5 ml d'eau distillée stérile et laissé reposer 15-20 minutes. Enfin, un étalement est effectué avec le surnageant en 3 secteurs sur milieu SMSA modifié en boîte de pétri, puis incubé à 28°C pendant 3 jours pour déterminer si le plant était hôte de la bactérie (figure 5). Un indice de colonisation bactérienne (IC) à 60 JAT en est déduit :

$$IC = (nb \text{ de plants flétris} + nb \text{ de plants sans symptômes colonisés}) / nb \text{ total de plants.}$$



Figure 4 et 5 : isolement microbiologique de *R. solanacearum* sur milieu sélectif SMSA modifié à partir de tiges de tomates

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1. Caractérisation des plantes de services testées

Le semis des plantes de service a été réalisé le 1^{er} juin et des observations ont été effectuées 3 fois par semaine sur la levée. Les pourcentages de levée enregistrés sont de 75 % pour chaque date dès l'observation des premières levées, à l'exception de quelques parcelles élémentaires ayant rapidement atteints les 100 %. La principale cause serait la consommation des graines par les oiseaux ou les rats (pour le niébé) et non un problème de levée des semences. Un semis de rattrapage a été effectué le 21 juin pour combler les manques.

Le stade 50 % de floraison attendu 70 Jours Après Semis (JAS) pour le niébé et environ 90 JAS pour les crotalaires est survenu très précocement. Les premières floraisons ont été observées le 1^{er} juillet pour *C. juncea* (30 JAS), le 18 juillet pour *C. spectabilis* (48 JAS) et le 28 juillet pour le niébé (58 JAS). Cette floraison précoce pourrait s'expliquer par la période d'implantation choisie, en particuliers pour les crotalaires dont le cycle est très sensible à la photopériode (durée du jour). On observe généralement pour ces PdS un intervalle avant floraison de 65 à 120 jours selon la date de plantation (IT² & CIRAD), ce qui démontre bien l'influence de la photopériode et la précocité exceptionnelle observée sur notre essai.

Même si la photopériode évolue peu à Mayotte (de $\approx 11h30$ de jour en juin à $\approx 13h$ en décembre), une implantation en jours longs est conseillée pour favoriser la croissance des crotalaires (meilleur contrôle des adventices et formation de biomasse plus importante (IT² & CIRAD)). Toutefois, des crotalaires mises en place seulement un mois plus tard sur la collection de plantes de services de la station de Dombéni (projet Bioferm du RITA) ont atteint le stade de floraison plus tardivement que sur notre essai (8 à 10 jours de plus), avec toujours une floraison plus précoce pour la variété *C. juncea* (environ 40 JAS pour *C. juncea* et 55 JAS pour *C. spectabilis* (Deltreil, 2016)). Les résultats observés sur le niébé de la collection de PdS sont en revanche similaires à notre essai avec un stade de floraison atteint 56 JAS (Deltreil, 2016). Il est donc peu probable que l'implantation de ces PdS en

jours courts soit seule responsable de la précocité des floraisons observées sur notre essai. On peut émettre l'hypothèse que cette différence de précocité soit plutôt due à des différences de qualité des sols et d'irrigation entre les deux parcelles. En effet, les sols implantés avec notre essai étaient plus compactés que sur la parcelle hébergeant la collection de PdS, et cette dernière était largement irriguée par aspersion tandis que l'irrigation des PdS de notre essai était effectuée au goutte-à-goutte et limitée à 15min/jour.



Figures 6 et 7 : mise en place des mulch de PdS (V. Deltreil, stagiaire CIRAD)

Malgré la précocité de la floraison, la mise en place des mulch a été réalisée comme prévu initialement sur la première semaine de septembre (figures 6 et 7) pour respecter le calendrier établi. Le nombre de plants, la hauteur du couvert et la biomasse fraîche ont été mesurés sur les 30 parcelles élémentaires de PdS. Les résultats sont synthétisés dans le tableau II ci-après.

Tableau II : résultats des mesures de biomasse pour les 3 PdS

Plante de service	<i>C. juncea</i>	<i>C. spectabilis</i>	Niébé
Moyenne du nombre de plants/ parcelle	118,5	155,8	63,2
Moyenne de hauteur des plants (cm)	206,5	114,5	47
Moyenne de biomasse totale/parcelle (kg)	100,75	97,36	260,21
Moyenne de biomasse/m² (kg)	10,5	10,1	27,1
Moyenne de biomasse/pied (kg)	0,85	0,62	4,12

Ces données sont intéressantes à titre de comparaison entre les 3 espèces mais ne peuvent être utilisées comme référence pour des plantations futures. En effet, l'apparition précoce de la floraison aura limité le développement des plants et donc la biomasse formée avant le fauchage des PdS. La hauteur des plants observée sur notre essai 90 jours après semis est semblable à celle observée sur la collection de PdS évoquées précédemment après la même période de culture : 190 cm pour *C. juncea*, environ 105 cm pour *C. spectabilis*, et environ 50 cm pour *V. unguiculata* (Deltreil, 2016). Les crotalaires sont toutefois connues pour être des espèces pouvant atteindre 4,20 m de hauteur en jours croissants pour *C. juncea* et 1,5 m pour *C. spectabilis* (IT² & CIRAD).

En termes de biomasse, on note que le niébé développe une biomasse largement supérieure à celle des crotalaires (moyenne de 27,1 kg/m² contre environ 10 kg/m² pour les crotalaires) malgré un nombre de plant par parcelle et une hauteur de plants inférieurs. La couverture du sol offerte par la mise en place des mulch fût en effet plus durable avec le niébé qu'avec les crotalaires dont la plupart du poids sec est concentré dans les tiges épaisses et très lignifiée (surtout pour *C. juncea*, ce qui est moins pratique que le large réseau de tiges souples offertes par le niébé pour structurer le mulch). Toutefois, la culture du niébé a attiré les rats qui coupaient les plants de tomates pour les emporter dans les terriers aménagés dans les parcelles concernées par cette modalité, obligeant à transplanter de nouveaux plants à plusieurs reprises.

4.2. Évaluation de l'incidence et de la sévérité du flétrissement bactérien

Les plants de tomate Carioca (Technisem) ont été semés le 11 août en pépinière et transplantés mi-septembre sur la parcelle (figures 8 et 9). Le suivi de l'incidence du flétrissement bactérien a été effectué 3 fois par semaine les lundi, mercredi et vendredi.



Figures 8 et 9 : parcelle d'essai après la transplantation des tomates sur les mulch de PdS ou sur paillage plastique

Au fil des 27 observations menées entre le 26/09/2016 et le 25/11/2016, seuls 4 plants atteints de flétrissement bactériens ont été constatés et confirmés par le test du « verre d'eau » :

- **1 plant flétri le 19 octobre sur M1-2** (soit 35 Jours Après Transplantation (JAT) sur une modalité mulch de *C. spectabilis* + fertilisation fumier de bovin composté, bloc 2) (figures 10 et 11).
- **1 plant flétri le 24 octobre sur M9-4** (soit 40 JAT sur une modalité fertilisation fumier de bovin composté 0,5 kg/trou, bloc 4).
- **2 plants flétris le 21 novembre sur M9-1** (soit 68 JAT sur une modalité fertilisation fumier de bovin composté 0,5 kg/trou, bloc 1).



Figures 10 et 11 : plant atteint de flétrissement bactérien avec confirmation des symptômes par le test du verre d'eau

Pour obtenir des données exploitables, un taux de 70% de mortalité sur les parcelles témoins est nécessaire pour analyser les résultats des différents traitements. La très faible incidence de la maladie étudiée ne permet pas de tirer de conclusions sur cet essai, d'autant plus qu'aucun plant témoin n'a démontré de flétrissement bactérien. On note simplement que la maladie a été détectée sur 4 plants fertilisés à l'aide de fumier de bovin composté.

L'apparition de cette maladie étant très fréquente à Mayotte, il est surprenant de constater une si faible incidence (0,36 %) sur les 1100 plants de tomates de l'essai. Pourtant de nombreux cas de flétrissement bactérien ont été observés sur tomate à la même période sur une parcelle voisine de l'essai. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer cette faible incidence. Tout d'abord, la phase de multiplication de l'agent bactérien par une culture de tomate sensible (variété Roma) n'a pas pu être réalisée correctement. En effet, les tomates Roma transplantées mi-mars sur la parcelle n'ont pas tenu jusqu'au semis des plantes de services. Les fortes pluies survenues à partir de fin mars ont provoqué la mortalité des plants, et le faible ressuyage de la parcelle n'a pas permis de transplanter de nouvelles tomates avant la mise en place des PdS (figures 12 et 13). Nous ne connaissons donc pas le potentiel infectieux de la parcelle et ses éventuelles variations dans l'espace avant de semer les PdS.



Figures 12 et 13 : parcelle d'essai après les fortes pluies survenues fin mars et avril

En plus de perturber la multiplication du potentiel infectieux de la parcelle en *R. solanacearum*, il est possible que l'absence de ressuyage du sol sur plusieurs semaines ait diminué l'inoculum bactérien. L'agent pathogène *R. solanacearum* se développe rapidement dans les milieux humides mais a besoin d'oxygène et ne supporte donc pas les longues périodes de saturation en eau comme celle illustré sur la figure 13 (remontée d'eau dans les trous de plantation témoignant de la saturation du sol). Les sols très peu drainés comme ceux observés sur les parcelles maraîchères de la station de Dombéni démontrent donc peut être un potentiel infectieux insuffisant pour voir apparaître des symptômes de flétrissement bactérien.

Un essai similaire mené en conditions semi-contrôlées (croissance des PdS sous abris en pot d'1L inoculé avec *R. solanacearum* suivie d'une culture de tomate) a permis d'observer plus de flétrissement bactérien : 8,3 % de plants atteints pour le précédent niébé, 19,5% de FB pour le précédent *C. juncea* et 30,6 % de FB pour le précédent *C. spectabilis* (Deltreil, 2016). Ces données ne sont toutefois pas exploitables car une mortalité inférieure à 70 % a également été constatée sur la modalité témoin de cet essai dont les pots étaient pourtant inoculés avec *R. solanacearum* (38,9 % de FB (Deltreil, 2016)).

4.3. Évaluation de l'indice de colonisation bactérienne

La dernière phase de l'essai consistait à sélectionner 5 plants sans symptômes dans chaque parcelle élémentaire afin de repérer les infections latentes (infection du plant par le pathogène sans symptômes apparents) à l'aide d'un isolement microbiologique (cf 3.3). Ces isollements ont donc été effectués sur 275 plants à la fin du mois de novembre dans le laboratoire de la station de Dombéni. Le tableau III ci-après présente les résultats obtenus.

Sur l'ensemble des prélèvements, 63 % des plants étaient effectivement colonisés par l'agent *R. solanacearum*. Ce résultat démontre que la bactérie était bien présente sur la parcelle mais à une concentration insuffisante pour engendrer la maladie.

Tableau III : % de plants démontrant une infection latente en fin d'essai

Modalité	Descriptif	% de plants colonisés par <i>R.solanacearum</i>
M1	Mulch de <i>C. spectabilis</i> + compost	36
M2	Mulch de <i>C. spectabilis</i>	52
M3	Mulch de <i>C. juncea</i> + compost	76
M4	Mulch de <i>C. juncea</i>	60
M5	Mulch de <i>V. unguiculata</i> + compost	52
M6	Mulch de <i>V. unguiculata</i>	68
M7	Compost de fumier de volailles 0,125 kg/trou	60
M8	Compost de fumier de volailles 0,250 kg/trou	56
M9	Compost de fumier de bovins 0,5 kg/trou	80
M10	Compost de fumier de bovins 1 kg/trou	80
M11	Témoin	80

On remarque que les modalités concernant l'utilisation de fumier de bovin composté démontraient un taux de colonisation des plants par *R. solanacearum* équivalent à celui des parcelles témoins, soit le taux le plus important de l'essai (80%). La fertilisation à base de compost de fumier de volailles a engendré un taux de colonisation des plants inférieur avec 56 % et 60% des tomates colonisées selon la dose de compost apportée à la plantation. Cet essai semble donc démontrer un meilleur contrôle de l'agent pathogène *R. solanacearum* par la fertilisation à base de compost de fumier de volailles.

Toutefois, c'est le mulch de la PdS *C. spectabilis* accompagné d'une fertilisation à base de compost de fumier de bovin qui démontrait le plus faible taux de colonisation des plants (36%). C'est la seule modalité pour laquelle une différence statistiquement significative est observée vis à vis du témoin (p-value=0,026, Modèle Linéaire Généralisé, annexe II).

Les tomates cultivées en associant la fertilisation d'origine animale et le précédent PdS présentent un taux de colonisation inférieur aux tomates cultivées sur les modalités PdS non fertilisées pour deux PdS sur trois : la crotalaire *C. spectabilis* et le niébé. Nous ne pouvons donc pas conclure sur cet aspect de l'itinéraire cultural sur la réduction du potentiel infectieux du sol en *R. solanacearum*.

Conclusion

Cet essai n'a pas apporté de résultats concluants sur l'utilisation de plantes de services et/ou de fumiers composté dans la lutte contre *R. solanacearum*. Après concertation avec les acteurs du WP2, il a été décidé de ne pas reconduire cet essai sur l'année 2017 en raison de la lourdeur du dispositif (l'ensemble de l'essai représentant 9 mois), des conditions culturales (potentiel infectieux inconnu, mauvais drainage des parcelles) et de l'incertitude sur l'obtention de résultats rapidement transférables. La recherche sur le flétrissement bactérien se limitera en 2017 à la reconduction de l'essai similaire mené en conditions semi contrôlées (culture sous abris en pot avec un inoculum bactérien connu), et à des essais variétaux menés sur tomates et/ou aubergines.

Bibliographie

Abo-Elyousr K. A. M. & Asran M. R., 2009. ***Antibacterial activity of certain plant extracts against bacterial wilt of tomato***. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 2009, vol. 42:573-578.

Cardoso C. , Soares A-C., Brito A., Francisco F., Laranjeira F., Ledo C-A. & Dos Santos A., 2006. ***Control of tomato bacterial wilt through the incorporation of aerial part of pigeon pea and crotalaria to soil***. Summa Phytopathologica ,2006, vol. 32, n. 1 : 27-33.

Chabalier P.-F., Van de Kerchove V., Saint Macary H., 2006. ***Guide de la fertilisation organique à la Réunion***. CIRAD, La Réunion, France, 302p.

DAAF/SISE, 2016. ***Rapport annuel : Études d'Informations Statistiques agricoles menées en 2016*** (basées sur le Recensement Agricole de 2010 ajusté d'enquêtes de 2015) .

Deberdt P., Perrin B., Coranson-Beaudu R., Duyck P-F. & Wicker E. , 2012. ***Effect of Allium fistulosum extract on Ralstonia solanacearum populations and tomato bacterial wilt***. Journal of Plant Disease, 2012, vol.96:687-692.

Deberdt P. , Guyot J. , Coranson-Beaudu R. , Launay J. , Noreskal M. , Rivière P. , Vigné F. , Laplace D. , Lebreton L. ,& Wicker E. , 2014. ***Diversity of Ralstonia solanacearum in French Guiana expands knowledge of the "emerging ecotype"***. Journal of Phytopathology, 2014, vol. 104:586-596.

Deberdt P. & Fernandes P., 2014. ***La conception de systèmes horticoles écologiquement innovants : Utilisation des plantes de services en cultures maraichères***. Université Virtuelle Environnement et Développement Durable (UVED) [en ligne].

<<http://www.supagro.fr/ecohort/ModuleUved/module1/co>>

Deberdt P., Gozé E., Coranson-Beaudu R., Perrin B., Fernandes P., Lucas P. & Ratnadass A., 2015. ***Crotalaria spectabilis and Raphanus sativus as Previous Crops Show Promise for the Control of Bacterial Wilt of Tomato Without Reducing Bacterial Populations***. Journal of Phytopathology, 2015, vol. 163: 377-385.

Deltreil V., 2016. ***Mise en place d'une collection de plante de service locale et caractérisation des traits de vie à Mayotte***. AgroParisTech, rapport de stage de 2ème année.

Fernandes P., Deberdt P., Chave M., Diedhiou S., Minatchi S., Coranson-Beaudu R. & Goze E., 2012. ***Des plantes assainissantes candidates pour réduire le flétrissement bactérien de la tomate dans les conditions de la Martinique***. Cahier du CAEC [en ligne], vol. 11 : 27-30.

<<http://www.caec-carib.org/publications/cahier-pram11.pdf>>

Gimenez A., Huat J., Prier A., 2007. **Compte rendu d'essai. Comportement agronomique de 9 variétés de tomate cultivées sous abri pleine terre à Mayotte.** Saison des pluies 2005/06. Document CIRAD, UPR Horticulture, Mayotte, 14 p. + annexes.

Gorissen, A., L.S. van Overbeek, and J.D. van Elsas. 2004. **Pig slurry reduces the survival of *Ralstonia solanacearum* biovar 2 in soil.** Canadian Journal of Microbiology, 2004, 50:587–593.

Huat J., Gimenez A., 2007. **Guide des variétés maraîchères pour Mayotte. Cultures de plein champ et sous abri pleine terre.** Document CIRAD, UPR Horticulture, Mayotte, 20 p.

Islam, T.M.D., and K. Toyota. 2004. **Effect of moisture conditions and pre-incubation at low temperature on bacterial wilt of tomato caused by *Ralstonia solanacearum*.** Journal of Microbes and Environments, 2004, 19:244–247

IT² & CIRAD, **Les crotalaires**, Fiche technique réalisée par l'IT² avec un partenariat scientifique avec le CIRAD (DOREL Marc, TRAN QUOC Hoa, ACHARD Raphaël), Martinique.

Janvier C., Villeneuve F., Alabouvette C., Edel-Hermann V., Mateille T., and Steinberg C., 2007. **Soil health through soil disease suppression: Which strategy from descriptors to indicators ?** Journal of Soil Biology and Biochemistry. 2007, 39: 1-23.

Lebeau, Aurore, 2010, **Résistance de la tomate, l'aubergine et le piment à *Ralstonia solanacearum* : interactions entre les géniteurs de résistance et la diversité bactérienne, caractérisation et cartographie des facteurs génétiques impliqués chez l'aubergine.** 130 pages. Thèse : Saint Denis : Université de la Réunion ; CIRAD : 2010.

Lebeau A., Daunay M.-C., Frary A., Palloix A., Wang J.-F., Dintinger J., Chiroleu F., Wicker E., & Prior P., 2011. **Bacterial wilt resistance in tomato, pepper, and eggplant: Genetic resources respond to diverse strains in the *Ralstonia solanacearum* species complex.** Journal of Phytopathology, 2011, vol.101:154-165.

Quaranta B., 2009. **Effet des plantes de service sur les bio-agresseurs des cultures - Etude bibliographique sur les plantes utilisées dans les systèmes de culture sur couverture végétale (SCV) à Madagascar.** Rapport de stage ISTOM [en ligne]
<http://open-library.cirad.fr/files/2/56_etude_bioagresseurs_quaranta.pdf>

Ratnadass A., Fernandes P., Avelino J., Habib R., 2012. **Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review.** Agronomy for Sustainable Development, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 2012, 32: 273-303

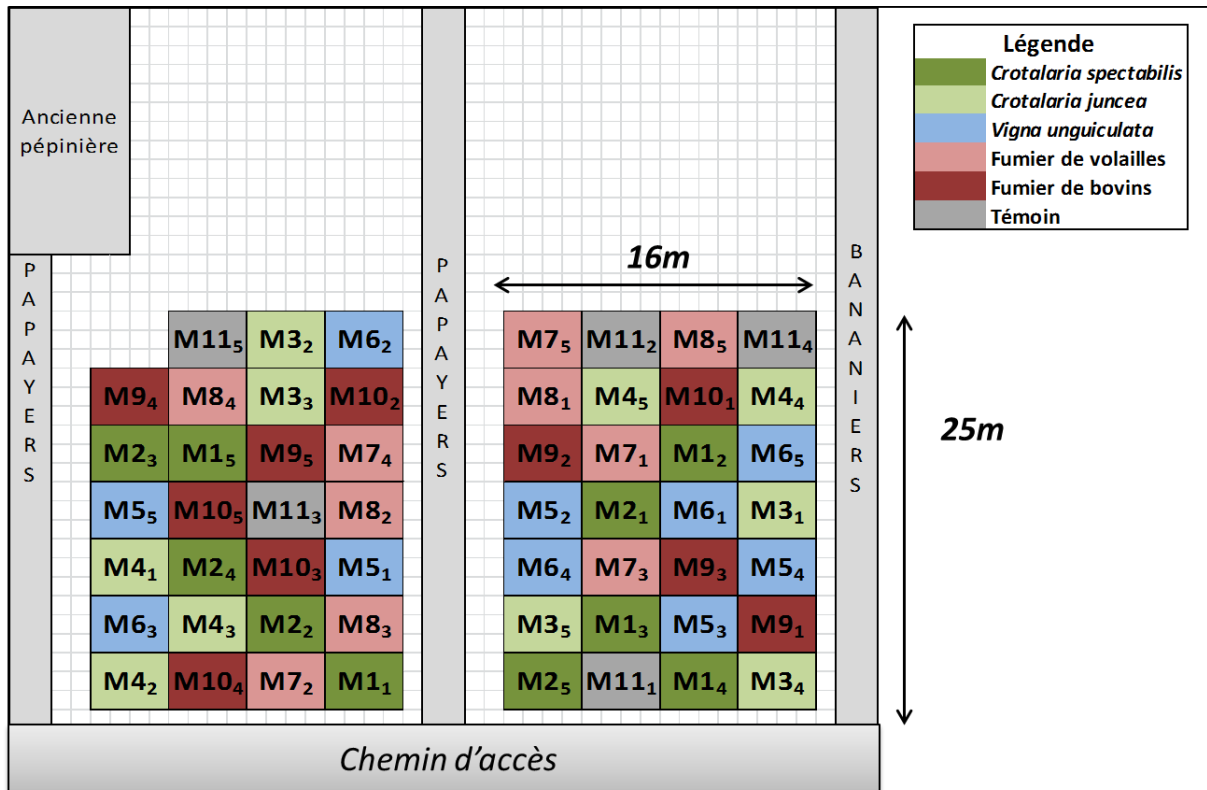
Wang K-H, Sipes B.S. & Schmitt D.P., 2002. ***Crotalaria* as a cover crop for nematode management: a review.** Journal of Nematropica, 2002, vol. 32:35-57.

Wicker E. , Grassart L. , Coranson-Beaudu R. , Mian D. , Guilbaud C. , Fegan M. & Prior, P. 2007. ***Ralstonia solanacearum* strains from Martinique (French west Indies) exhibiting a new pathogenic potential.** Journal of Applied and Environmental Microbiology, 2007, vol. 73:6790-6801.

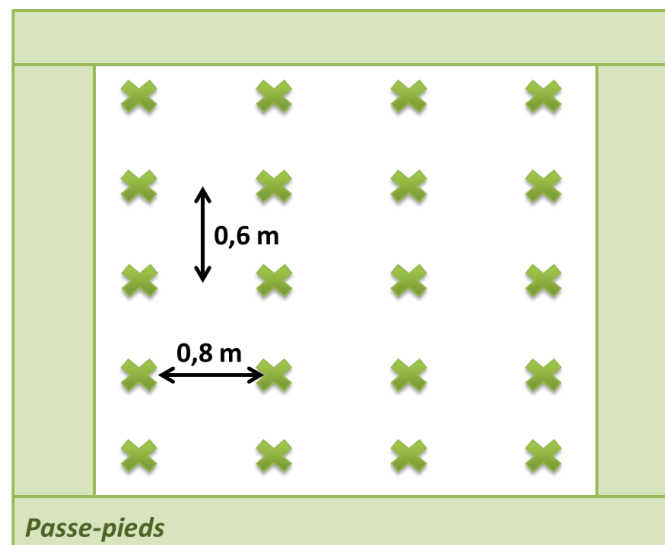
Yadessa G.B., Van Bruggen A.H.C. & Ocho F.L., 2010. ***Effects of different soil amendments on bacterial wilt caused by Ralstonia solanacearum and on the yield of tomato.*** Journal of Plant Pathology, 2010, 92: 439-450.

Yuliar, Yanetri Asi Nion & Koki Toyota, 2015. ***Recent Trends in Control Methods for Bacterial Wilt Diseases Caused by Ralstonia solanacearum.*** Journal of Microbes and Environments, 2015, vol. 30, n°1, 1-11.

Annexe I : Plan du dispositif expérimental de l'essai « PdS et MO » pour le suivi du développement du flétrissement bactérien sur tomates



Plan du dispositif expérimental de l'essai



Parcelle élémentaire de $14,4 \text{ m}^2$ ($4 \times 3,6\text{m}$ avec les passe-pieds) constituant un bloc pour une modalité donnée avec 20 répétitions (plants de tomates).

Annexe II : Modèle de régression linéaire généralisé (glm) employé pour analyser l'effet de la modalité sur la colonisation des plants par *R. solanacearum*

```

> donnees$Modalité=relevel(donnees$Modalité,ref="M11")
> mod_IC=glm(IC~Modalité+Bloc, data = donnees)
> summary(mod_IC)

Call:
glm(formula = IC ~ Modalité + Bloc, data = donnees)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.56   -0.20    0.04    0.20    0.48

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  8.000e-01  1.603e-01   4.991 1.04e-05 ***
ModalitéM1  -4.400e-01  1.910e-01  -2.304  0.0261 *
ModalitéM10  7.850e-17  1.910e-01   0.000  1.0000
ModalitéM2  -2.800e-01  1.910e-01  -1.466  0.1498
ModalitéM3  -4.000e-02  1.910e-01  -0.209  0.8351
ModalitéM4  -2.000e-01  1.910e-01  -1.047  0.3008
ModalitéM5  -2.800e-01  1.910e-01  -1.466  0.1498
ModalitéM6  -1.200e-01  1.910e-01  -0.628  0.5331
ModalitéM7  -2.000e-01  1.910e-01  -1.047  0.3008
ModalitéM8  -2.400e-01  1.910e-01  -1.257  0.2156
ModalitéM9  -3.423e-16  1.910e-01   0.000  1.0000
Bloc         3.506e-17  2.879e-02   0.000  1.0000
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 0.09116279)

Null deviance: 4.9673  on 54  degrees of freedom
Residual deviance: 3.9200  on 43  degrees of freedom
AIC: 36.815

Number of Fisher Scoring iterations: 2

```

RÉSUMÉ

Le flétrissement bactérien (FB) des Solanacées dû à la bactérie *Ralstonia solanacearum* est l'une des maladies les plus fréquemment observées sur tomate, principale culture maraîchère cultivée à Mayotte. Aucun moyen de lutte chimique efficace n'existant contre cette maladie, il a été décidé dans le cadre de l'action 2 du projet INNOVEG du RITA de travailler sur le développement d'une méthode de lutte agroécologique calquée sur les travaux déjà réalisés en Martinique par le CIRAD. Cette méthode consiste en l'utilisation de plantes de services (PdS) reconnues pour leur effet assainissant vis-à-vis de *R. solanacearum* en précédent cultural suivi d'un mulch. Trois espèces de PdS ont été testées à Mayotte sur leur capacité à diminuer l'incidence du FB sur une culture de tomates : les crotalaires *Crotalaria spectabilis* et *Crotalaria juncea*, et le niébé *Vigna unguiculata*. Des études ayant démontré par ailleurs de bons résultats avec l'incorporation de fumiers compostés, deux types d'amendements ont également été testés : un fumier de bovins composté et un fumier de volaille composté.

11 modalités ont été testées au cours de la saison sèche 2016 avec 6 modalités pour les PdS (3 espèces, une présence/absence d'amendement), 4 modalités pour les amendements organiques (2 types de fumier et 2 doses d'apport) et 1 témoin avec absence de précédent et d'amendement. Une caractérisation a été effectuée sur les PdS testées (date de floraison, hauteur du couvert et biomasse), puis un suivi de l'incidence du FB a été effectué pendant 60 jours sur 100 plants de tomates par modalité. Une évaluation de l'indice de colonisation bactérienne a été réalisée en fin d'essai par le biais d'isolements microbiologiques sur les plants sans symptômes pour repérer les infections latentes de *R. solanacearum*.

Au cours de la croissance des PdS, le stade de 50% de floraison attendu entre 70 et 90 jours pour bénéficier d'un meilleur effet assainissant vis-à-vis de *R. solanacearum* est survenu très précocement (30 jours pour *C. juncea*, 48 jours pour *C. spectabilis* et 58 jours pour le niébé). Les observations menées avant le fauchage ont démontré que la crotalaire *C. juncea* produit les plants les plus hauts ($\approx 2\text{m}$ contre $\approx 1,15\text{m}$ pour *C. spectabilis* et $\approx 50\text{cm}$ pour le niébé) mais que la biomasse fraîche la plus importante est produite par le niébé (4,12kg par plant contre 0,85kg pour *C. juncea* et $\approx 0,6\text{kg}$ pour *C. spectabilis*). Le niébé offre donc un mulch plus durable et un meilleur engrais vert.

L'effet assainissant induit par les PdS et/ou l'incorporation de fumier composté n'a pas pu être évalué car seuls 4 plants ont été atteints de FB sur les 1100 plants de la parcelle d'essai. Le potentiel infectieux de cette parcelle en FB a pourtant été confirmé lors de l'évaluation des infections latentes qui démontrait que 63% des 275 plants prélevés étaient effectivement colonisés par l'agent *R. solanacearum*. Nous pouvons donc supposer que la population de bactérie était insuffisante pour engendrer des symptômes de maladie, et que ce type d'essai ne peut être reconduit que sur des sols au potentiel infectieux en FB connu.

Partenaires impliqués dans la réalisation de ce rapport :



cirad

