

## MÉMOIRE

Présenté par : *CHELIOUT Amélie*

Dans le cadre du

### Master Sciences, Technologies, Santé

Mention : **Biodiversité, Écologie et Évolution**

Parcours : **Biodiversité végétale et Gestion des Écosystèmes Tropicaux**

Stage effectué du **06/02/2020** au **04/08/2020**.

À :

***Inrae Centre Antilles-Guyane***

***Domaine de Duclos, Prise d'eau, Petit-Bourg, Guadeloupe (France)***

Sur le thème :

### **Innovation participative en systèmes de culture maraîchers agroécologiques : valorisation de la mycorhization en production de tomate à partir de souches indigènes**

Rapport confidentiel :

Date d'expiration de confidentialité : 31/12/2020

**Pour l'obtention du :  
DIPLOME NATIONAL DE MASTER**

Enseignant-tuteur responsable de stage :

Stéphane TRAISSAC

Maîtres de stage :

Marie CHAVE (UR ASTRO) & Jean-Louis DIMAN (UE PEYI)

Soutenu le : **07/09/2020**

Amélie CHELIOUT

**Innovation participative en systèmes de culture maraîchers agroécologiques : valorisation de la mycorhization en production de tomate à partir de souches indigènes**



Tuteurs de stage : Marie CHAVE (UR ASTRO)

&

Jean-Louis DIMAN (UE PEYI)

Soutenu le : 07/09/2020

*Les opinions émises par les auteurs sont personnelles et n'engagent pas AgroParisTech.*

## Remerciements

*Plongée dans le domaine de l'agroécologie, ce stage m'a conduit vers un horizon professionnel qui réunit enfin toutes mes convictions. La découverte de l'approche systémique a fait renaître mon attrait pour la recherche. Les enquêtes auprès des agriculteurs ont émancipé mes qualités sociales et organisationnelles. Finalement, ce stage a été très enrichissant, et ce grâce à l'appui de plusieurs personnes.*

*Merci à ma tutrice Marie Chave, ingénieure agronome à l'UR ASTRO, pour le partage de son savoir, son soutien et son accompagnement constant malgré la distance. À travers son expérience, elle m'a transmis son sens de la rigueur et elle m'a poussé à me surpasser.*

*Je remercie également mon co-tuteur Jean-Louis Diman, ingénieur agronome à l'UE PEYI, pour m'avoir initié au cadre agricole guadeloupéen.*

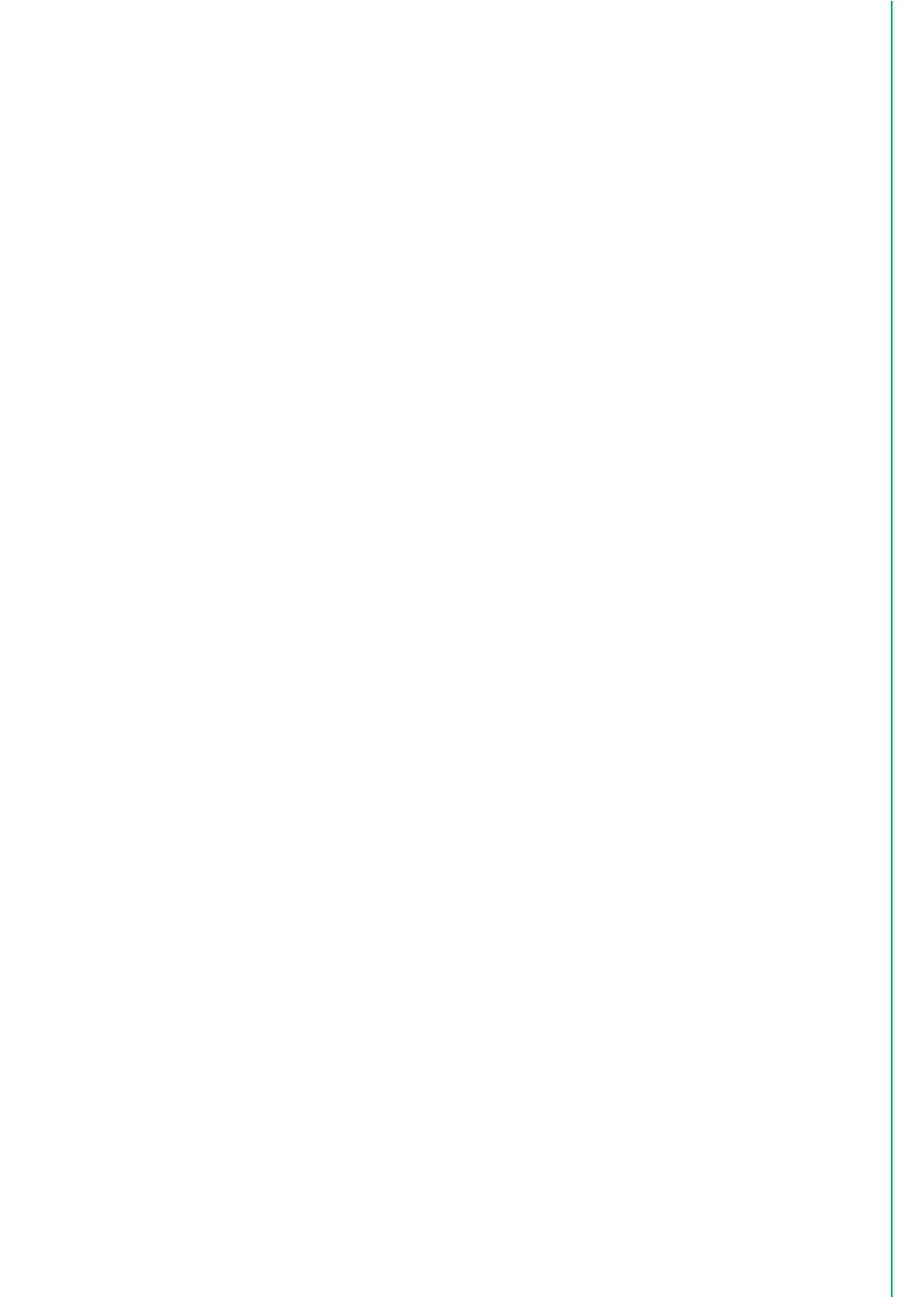
*Merci à l'unité PEYI de m'avoir permis de récolter des données précieuses durant la période de confinement, en plus de m'avoir accueilli dans leurs locaux. De cette unité, je remercie particulièrement Lina Alidor, Jean-Luc Daupin, Fabrice Mauss, Jean-Pierre Cina et Steve Clamy pour leur soutien au champ ; ainsi que David Ham-mouya pour son partage d'expérience dans la conduite d'entretiens.*

*De l'unité ASTRO, je remercie également Philippe Julianus et Chantal Fléreau pour leur supervision au laboratoire ; et Eric Francius pour son partage de connaissances sur les bioagresseurs.*

*Merci à Maëva Hirsch pour son aide à chaque étape de mon stage ; à Louise Ména pour ses conseils lors de la préparation des entretiens ; et à tous les autres stagiaires pour leur présence.*

*Pour finir et dans un cadre un peu plus intime, je souhaite remercier mon compagnon, ma petite sœur, mon grand frère, mes parents et mes amis pour leur aide et leur soutien moral.*

*La disponibilité et la bienveillance de toutes ces personnes ont contribué au bon déroulement de ce stage et à mon bien-être.*



# INNOVATION PARTICIPATIVE EN SYSTEMES DE CULTURE MARAICHERS AGROECOLOGIQUES : VALORISATION DE LA MYCORHIZATION EN PRODUCTION DE TOMATE A PARTIR DE SOUCHES INDIGENES

## Sommaire

I. Introduction.....	1
A. L'agroécologie : une discipline scientifique ?.....	1
B. La transition agroécologique en France .....	3
C. Le contexte actuel de la Guadeloupe.....	4
D. Focus sur la mycorhization de la tomate.....	5
E. Le problème du flétrissement bactérien en Basse Terre .....	8
F. Objectifs, problématique et hypothèses.....	9
II. Matériel et Méthodes .....	10
A. Description de l'expérimentation-système .....	10
1. Caractéristiques des 2 SdC.....	10
2. Pratiques agroécologiques implémentées dans les 2 SdC .....	11
3. Méthodes d'analyses .....	14
B. Enquêtes auprès des agriculteurs .....	15
1. Atelier de discussion et d'échanges, hybridation de connaissances scientifiques et profanes 15	
2. Entretiens avec un groupe d'agriculteurs producteurs de tomates .....	15
III. Résultats .....	17
A. Analyse du suivi agrotechnique des 2 SdC .....	17
1. Apparition du flétrissement bactérien.....	17
2. Impact du basilic situé sur les rangs de tomates et des PdS .....	20
3. Analyse socio-économique du SdC du Domaine de Duclos .....	21
4. Estimation de la mycorhization de 5 plants de tomate du SdC du Domaine de Godet .....	22
B. Analyses des entretiens réalisés auprès des agriculteurs producteurs de tomates ....	22
1. Degrés d'écologisation des SdC de tomates des agriculteurs interrogés .....	22
2. Identification des freins à la mise en place de pratiques agroécologiques favorisant la mycorhization .....	23

3. Identification des leviers à la mise en place de pratiques agroécologiques favorisant la mycorhization .....	24
4. La question spécifique de la mycorhization comme régulation biologique du flétrissement bactérien auprès des agriculteurs interrogés .....	25
<b>IV. Discussion et perspectives .....</b>	<b>26</b>
A. L'amélioration de l'expérimentation-système grâce au suivi agrotechnique et aux entretiens avec les agriculteurs .....	26
1. Une expérimentation-système soulevant de nouvelles questions de recherche .....	26
2. Des limites soulevées par le suivi agrotechnique et les entretiens avec les agriculteurs ....	27
3. Le cas de l'AGR7 .....	28
4. Conclusions sur l'amélioration de l'expérimentation-système .....	30
B. Des pratiques encore mal perçues par les agriculteurs, mais des moyens de transition agroécologique présents en Guadeloupe.....	30
1. La connaissance, un outil à la transition agroécologique encore mal diffusé auprès des agriculteurs.....	30
2. Des pratiques aux avantages qui attirent les agriculteurs .....	31
3. Le coût en main d'œuvre et le manque de soutien.....	32
4. Cuba, un pays formateur en agroécologie .....	33
<b>V. Bibliographie .....</b>	<b>34</b>
<b>VI. Annexes .....</b>	<b>1</b>



## Table des illustrations

Figure 1 : Carte d'occupation des terres de Guadeloupe .....	4
Figure 2 : Hyphe, vésicule et arbuscule de CMA au microscope optique x40 .....	6
Figure 3 : Principaux mécanismes impliqués dans la bioprotection des plantes par les CMA .....	6
Figure 4 : Ramification d'un plant de tomate atteint par le flétrissement bactérien .....	8
Figure 5 : SdC agroécologiques innovants mis en place dans le cadre de l'expérimentation-système à Inrae.....	11
Figure 6 : Plans des 2 SdC mis en place dans le cadre de l'expérimentation-système au Domaine de Duclos (A) et au Domaine de Godet (B) .....	13
Figure 7 : Evolution de l'apparition du flétrissement bactérien sur la parcelle expérimentale du Domaine de Duclos (A) et jours d'apparition du flétrissement suivant les groupes de rangs (B) .....	18
Figure 8 : Numérotation sur un gradient nord-sud des 10 % de plants de tomates suivis du SdC du Domaine de Duclos, tous rangs compris, suivant leur jour d'apparition du flétrissement bactérien .	19
Figure 9 : Croissance et production suivant le jour d'apparition du flétrissement bactérien au Domaine de Duclos.....	19
Figure 10 : Evolution de l'apparition du flétrissement bactérien sur la parcelle expérimentale du Domaine de Godet.....	20
Figure 11 : Nombre de ramifications et nombre d'inflorescences suivant la proximité avec le basilic et les PdS au Domaine de Duclos .....	21
Figure 12 : Degrés d'écologisation des SdC de tomates de 9 agriculteurs interrogés .....	23
Figure 13 : Schéma du SdC de tomates d'AGR7 présenté par lui-même lors de son entretien.....	29

## Table des annexes

Annexe 1 : Principales caractéristiques des essais factoriels et des expérimentations-systèmes avec un exemple de problématiques auxquelles ils peuvent répondre

Annexe 2 : Caractéristiques météorologiques (A), environnementales et physico-chimiques (B) et techniques (C) des SdC de Duclos et de Godet expérimentés dans le cadre de l'expérimentation-systèmes

Annexe 3 : Paire de folioles recourbée indiquant l'apparition du flétrissement bactérien sur un plant de tomate

Annexe 4 : Protocole d'observation et de notation de l'estimation de la mycorhization de systèmes racinaires

Annexe 5 : Diaporama de l'atelier de discussion sur les pratiques agroécologiques et d'échanges sur l'expérimentation-système

Annexe 6 : Détails de la méthode de Bardet (2018) pour le calcul du degré d'écologisation des SdC des agriculteurs interrogés producteurs de tomates

Annexe 7 : Indicateurs et pratiques associées permettant de représenter le degré d'écologisation des SdC de tomates des 9 agriculteurs interrogés

Annexe 8 : Liste des interventions réalisées sur le SdC expérimental du Domaine de Duclos entre décembre 2019 et avril 2020, leur durée et leur main d'œuvre traduites en charge de travail (A) et coût du matériel non réutilisable utilisé sur le même SdC (B)

Annexe 9 : Densité de colonisation et qualité arbusculaire des systèmes racinaires des 5 plants de tomates prélevés sur la parcelle expérimentale du Domaine de Godet

Annexe 10 : Diagrammes en radars montrant les points faibles et les points forts des itinéraires techniques des 9 agriculteurs producteurs de tomates interrogés

Annexe 11 : Liste détaillée des produits et des techniques utilisés par les 9 agriculteurs interrogés sur leurs SdC de tomates

Annexe 12 : Liste des freins à la mise en place de pratiques agroécologiques énoncés par les 9 agriculteurs producteurs de tomates interrogés, explicités pour chacune des pratiques utilisées dans l'expérimentation-système

Annexe 13 : Liste des leviers à la mise en place de pratiques agroécologiques soulevés par les 9 agriculteurs producteurs de tomates interrogés, explicités pour chacune des pratiques utilisées dans l'expérimentation-système

## Liste des abréviations et sigles

<p><b>AgroEcoTom</b> : projet de gestion AgroEcologique pour le contrôle du flétrissement bactérien de la Tomate</p> <p><b>APECA</b> : association pour une Agriculture Paysanne et Ecologique dans la Caraïbe</p> <p><b>ASSOFWI</b> : Association des producteurs de fruits et de christophines de Guadeloupe</p> <p><b>BC</b> : BioContrôle</p> <p><b>CIRAD</b> : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement</p> <p><b>CMA</b> : Champignons Mycorhiziens à Arbuscules</p> <p><b>COV</b> : Composé Organique Volatile</p> <p><b>CRPM</b> : Code Rural et de la Pêche Maritime</p> <p><b>DAAF</b> : Direction régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt</p> <p><b>DEAL</b> : Directions régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement</p> <p><b>DEPHY</b> : réseau de Démonstration, Expérimentation et Production de références sur les systèmes économes en pHYtosanitaires</p> <p><b>ESR</b> : Efficience – Substitution – Reconception</p> <p><b>E.g.</b> : exempli gratia (par exemple)</p> <p><b>Et al.</b> : et alii (et les autres)</p> <p><b>Etc.</b> : et cætera (et tout le reste)</p> <p><b>FEADER</b> : Fonds Européen pour l'Agriculture et le Développement Rural</p>	<p><b>FREDON</b> : Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles</p> <p><b>GDA EcoBio</b> : Groupement de Développement de l'Agriculture Écologique et Biologique</p> <p><b>GIEE</b> : Groupement d'Intérêt Économique et Environnemental</p> <p><b>GIS PIClég</b> : Groupement d'Intérêt Scientifique pour la Production Intégrée en Culture légumière</p> <p><b>I.e.</b> : id est (c'est-à-dire)</p> <p><b>Inrae</b> : Institut National de la Recherche Agronomique</p> <p><b>IT2</b> : Institut Technique Tropical</p> <p><b>ITK</b> : Itinéraire Technique</p> <p><b>MAEC</b> : Mesures Agro-Environnementales et Climatique</p> <p><b>MO</b> : Matière Organique</p> <p><b>PAC</b> : Politique Agricole Commune</p> <p><b>PdS</b> : Plante de Services</p> <p><b>RITA</b> : Réseaux d'Innovation et de Transfert Agricole</p> <p><b>SAU</b> : Surface Agricole Utilisée</p> <p><b>SdC</b> : Système de Culture</p> <p><b>SICA</b> : Sociétés d'Intérêt Collectif Agricole</p> <p><b>UPG</b> : Union des Producteurs de Guadeloupe</p> <p><b>UR ASTRO</b> : Unité de Recherche Agro-Systèmes TROPICAUX</p> <p><b>UE PEYI</b> : Unité Expérimentale Plateforme Expérimentale du végétal et des agrosystèmes Innovants)</p>
--	--

## Glossaire

**Biocontrôle** : mécanisme naturel qui protège les plantes des stress d'origine biologique (micro-organismes pathogènes, insectes ravageurs, plantes adventices) (Mulleau 2020).

**Champignons mycorhiziens à arbuscules** : organismes appartenant au groupe des Gloméromycètes (Schüßler 2001) en symbiose avec un grand nombre de plantes via leurs systèmes racinaires. Ils échangent avec les plantes des éléments minéraux et de l'eau et reçoivent en retour des éléments carbonés (Finlay 2008).

**Expérimentation-système** : méthode de recherche vouée à (i) fournir une meilleure compréhension des liens entre les pratiques utilisées dans les systèmes de culture et leur environnement, et (ii) identifier ce qui gouverne les performances des systèmes de culture dans des conditions agricoles réelles (Lechenet *et al.* 2017).

**Itinéraire technique** : combinaison logique et ordonnée de techniques (Sebillote 1974).

**Mycorhize** : symbiose mutualiste entre les plantes et les champignons mycorhiziens, apparue il y a environ 450 millions d'années, à l'origine de la colonisation des terres émergées par les plantes (Parniske 2008 ; Bidartondo *et al.* 2011).

**Régulations biologiques** : processus écologiques qui régulent la croissance des individus, l'augmentation ou la baisse des populations et la structure des communautés. Ce sont principalement des mécanismes régissant les relations entre individus et entre espèces (symbiose, mutualisme, parasitisme, allélopathie, compétition, facilitation...) (Meynard 2017 ; Doré et Bellon, 2019).

**Système de culture** (dans le cadre d'une expérimentation-système) : ensemble cohérent et défini par des objectifs à atteindre et des attentes, pilotés par un corpus de règles de décision (Deytieux *et al.* 2012).

# I. INTRODUCTION

---

## A. L'agroécologie : une discipline scientifique ?

L'agroécologie, terme comportant plusieurs définitions, apparaît au premier abord comme l'hybridation de l'écologie et de l'agronomie.

L'écologie, étude des relations entre les organismes et leur environnement (Haeckel 1866) ou plus globalement des écosystèmes, développe l'idée que les organismes sont interconnectés dans un tout formant la biocénose (Möbius 1877), qu'ils dépendent les uns des autres pour co-exister et survivre dans leur environnement. Au début du XXème siècle, des études écologiques commencent à être menées abordant des préoccupations économiques de l'écologie (Matagne 2003). Il est question de préserver les fonctions écosystémiques qui s'y établissent et de garantir des ressources profitables.

L'agronomie regroupe l'ensemble des sciences appliquées à l'agriculture, traitant autant des connaissances sur les processus biologiques et écologiques que des logiques d'actions. Elle mène à l'analyse des pratiques culturelles et à la conception de nouveaux modes de culture (Sebillotte et Papy, 2010) basés sur des itinéraires techniques (ITK) (i.e. combinaison logique et ordonnée de techniques, Sebillote, 1974) sains et durables. Elle est considérée pour certains comme l'écologie appliquée au champ cultivé et à l'aménagement du territoire (Hénin 1967) et adopte ainsi une dimension systémique.

Aujourd'hui, l'écologie et l'agronomie évoluent. La première doit prendre en compte des milieux de plus en plus perturbés par les activités humaines (Millenium Ecosystem Assessment, 2005) ; la seconde aspire à impliquer davantage les fonctions écologiques dans les modes de production. En effet, Ozier-Lafontaine *et al.* (2014) exposent que le défi de l'agriculture de nos jours est d'utiliser les processus naturels qui servent à nourrir et protéger les plantes pour se rapprocher du fonctionnement des écosystèmes naturels et ainsi atteindre un degré de durabilité similaire.

L'agroécologie est le plus souvent vue comme une discipline scientifique alliant l'agronomie et l'écologie, dont l'objet d'étude est le Système de Culture (SdC), l'exploitation ou le système alimentaire. Mais ce terme désigne également un ensemble de pratiques agricoles dont le principe est de promouvoir les processus naturels ; ou encore un mouvement environnementaliste, social ou politique qui soutient la protection de l'environnement et la reconnaissance des savoirs et savoir-faire paysans (Wezel 2011). La complexité de ce concept lui attribue un caractère attrayant. L'objectif principal de l'agroécologie est de produire une agriculture durable sur des bases écologiques (Altieri 1983) et rentable sur le plan économique (Dalgaard *et al.* 2003).

En effet, l'agroécologie est vue comme une alternative à l'agriculture conventionnelle parce qu'elle vise à réduire l'utilisation d'intrants de synthèse néfastes pour la santé humaine et pour l'environnement (Doré et Bellon, 2019). Sa démarche soulève en partie la promotion de la biodiversité cultivée et non cultivée pour favoriser les régulations biologiques (e.g. symbiose, mutualisme, parasitisme, prédation, compétition) (Meynard 2017). Ainsi, en augmentant la biodiversité, on augmente la probabilité de rencontrer les ennemis naturels des bioagresseurs (e.g. micro-organismes pathogènes, animaux ravageurs et plantes adventives) (Poveda *et al.* 2008 ; Ratnadass *et al.* 2012).

Les agriculteurs observent et comprennent déjà beaucoup la nature (Griffon 2009). Pourtant, ils n'ont souvent pas connaissance des phénomènes de régulations biologiques adaptés à leur contexte. En effet, ils sont peu informés sur comment introduire de la diversité dans leurs SdC et comment réagir en cas de résultats décevants (Meynard 2017). Il faut noter également que ces nouveaux agencements de pratiques qui favorisent la biodiversité, sont vecteurs de nouvelles contraintes pour les agriculteurs, comme par exemple une main d'œuvre et un temps de travail plus importants (Douds *et al.* 2005). Pour aider les agriculteurs à prendre en main ces nouveaux SdC agroécologiques, (i) la recherche doit s'intensifier à l'échelle locale (Doré et Bellon, 2019) ; (ii) elle doit prendre en compte les connaissances dans les domaines de l'écologie, de la sociologie, de la technologie et également les savoirs profanes ; et (iii) elle doit développer de nouvelles démarches mettant en synergie les acteurs concernés dans le processus d'innovation (Meynard 2017).

La recherche appliquée met en œuvre des expérimentations-systèmes reposant sur l'approche systémique pour évaluer ces nouvelles pratiques agroécologiques et leur cohérence de manière globale (Lechenet *et al.* 2017 ; Gard *et al.* 2018). L'étude d'une expérimentation-système englobe toutes les caractéristiques de l'agroécosystème, les actes techniques, et les logiques d'action des producteurs. Elle se distingue donc des essais factoriels qui ciblent quelques facteurs et leurs interactions pris isolément pour expliquer un nombre limité de variables. L'approche systémique considère la complexité d'un SdC dans son ensemble (Havard *et al.* 2017). Pour mieux comprendre la différence entre essais factoriels et expérimentation-système, un tableau comparant ces 2 types de recherche est proposé en **Annexe 1**.

Les SdC testés dans ces expérimentations-systèmes doivent être en accord avec les exigences commerciales, les calendriers de culture, et la productivité attendue localement (Navarrete *et al.* 2017). De plus, pour s'approcher le plus possible du processus de prise de décision des agriculteurs, les règles de décision peuvent évoluer en fonction des conditions pédo-climatiques et du développement des bioagresseurs. C'est ainsi que la recherche appliquée pourra proposer des solutions relativement rapides aux agriculteurs locaux (Lechenet *et al.* 2017).

Par ailleurs, les expérimentations-systèmes sont également conçues comme un lieu d'apprentissage, d'échange et de partage de savoirs et de savoir-faire (Havard *et al.* 2017). Des démarches participatives peuvent y être développées pour connaître les objectifs et les contraintes émergentes des agriculteurs face aux nouvelles pratiques agroécologiques (Pretty 1995). L'approche systémique participative est donc une

branche de la recherche qui mêle les connaissances des chercheurs et l'expertise des agriculteurs (Navarrete *et al.* 2017 ; Meynard 2017 ; Doré et Bellon, 2019). Elle valorise ainsi les complémentarités entre savoir scientifique et savoir profane.

## B. La transition agroécologique en France

En France, le gouvernement s'intéresse aux risques et aux impacts des produits phytopharmaceutiques sur la santé humaine et sur l'environnement, notamment depuis le Grenelle de l'environnement en 2007. Le plan EcoPhyto II est lancé pour réduire leur utilisation de 50 % d'ici 2025, avec un palier intermédiaire de 25 % en 2020 ([www.gouvernement.fr](http://www.gouvernement.fr)). Il projette également d'« amplifier les efforts de recherche, développement et innovation » et de « faire évoluer les pratiques et les systèmes » ([www.ecophyto-pro.fr](http://www.ecophyto-pro.fr)). Pour réduire l'utilisation des pesticides, il soutient l'innovation et le développement de solutions de biocontrôle (BC).

Le principe du BC est d'utiliser des organismes (micro ou macro) ou des produits phytopharmaceutiques d'origine naturelle (e.g. phéromones, matières fécales, substances minérales naturelles) pour leur action antagoniste sur les populations de bioagresseurs. La réglementation en vigueur sur le BC est celle du CRPM (Code Rural et de la Pêche Maritime) qui définit et classe chaque type de produits (Mulleau 2020).

Connu dans le domaine agricole, le diagramme ESR (Efficience-Substitution-Reconception) permet d'évaluer les stratégies mises en place par les agriculteurs ou les groupes d'agriculteurs lors de leur transition d'un modèle d'agriculture conventionnelle à un modèle totalement agroécologique. Il peut être vu comme parcours progressif en 3 niveaux suivi de manière conceptuelle par les agriculteurs engagés dans cette transition (Hill et MacRae, 1996). Le premier niveau, l'Efficiencie, représente une réduction de l'utilisation d'intrants dommageables à l'environnement, sans forcément sortir du modèle agricole conventionnel. Le second niveau, la Substitution, consiste à remplacer les intrants de synthèse par des méthodes alternatives moins dommageables pour l'environnement (comme l'emploi de produits de BC). Les agriculteurs qui se positionnent dans ce niveau ont souvent des préoccupations environnementales en marge de leur stratégie (Doré et Bellon, 2019). Le troisième niveau, la Reconception, implique de reconfigurer l'agroécosystème pour promouvoir les relations écologiques instaurées par la biodiversité, comme la régulation biologique. Ce niveau nécessite plus de temps de mise en place et demande d'importants changements (Hill et MacRae, 1996). Les agriculteurs de ce dernier niveau sont généralement pourvus d'une vision plus systémique (Chave *et al.* 2019) et cherchent à « faire face aux ravageurs plutôt qu'à les combattre » (Lamine 2011). Il faut tout de même bien comprendre que cette trajectoire de transition n'est pas linéaire et les stratégies employées par les agriculteurs peuvent s'associer à des niveaux qui se chevauchent (Lamine 2011).

## C. Le contexte actuel de la Guadeloupe

Située aux Antilles, la Guadeloupe est un archipel français composé de 2 îles majeures : la Basse Terre et la Grande Terre. Ce territoire comporte des conditions environnementales propices au développement des plantes : une variabilité climatique annuelle faible et des températures et des taux d'humidité de l'air élevés (Bussièrre *et al.* 2011). Néanmoins, il est également caractérisé par des sols de types contrastés, une certaine vulnérabilité face aux aléas climatiques (e.g. cyclones), une fragilité écologique (e.g. forte pression parasitaire), une économie instable et une démographie en forte augmentation (Angeon 2011 ; Bussièrre *et al.* 2011). En 2018, la SAU (Surface Agricole Utilisée) occupait 19 % du territoire (Agreste Guadeloupe, 2019) avec une plus grande étendue en Grande Terre (**Figure 1**). 96,9 % des exploitations comprennent une SAU de 4,4 ha en moyenne et les petites exploitations de 3 ha en moyenne représentent 55 % de la main d'œuvre totale (IEDOM 2017).

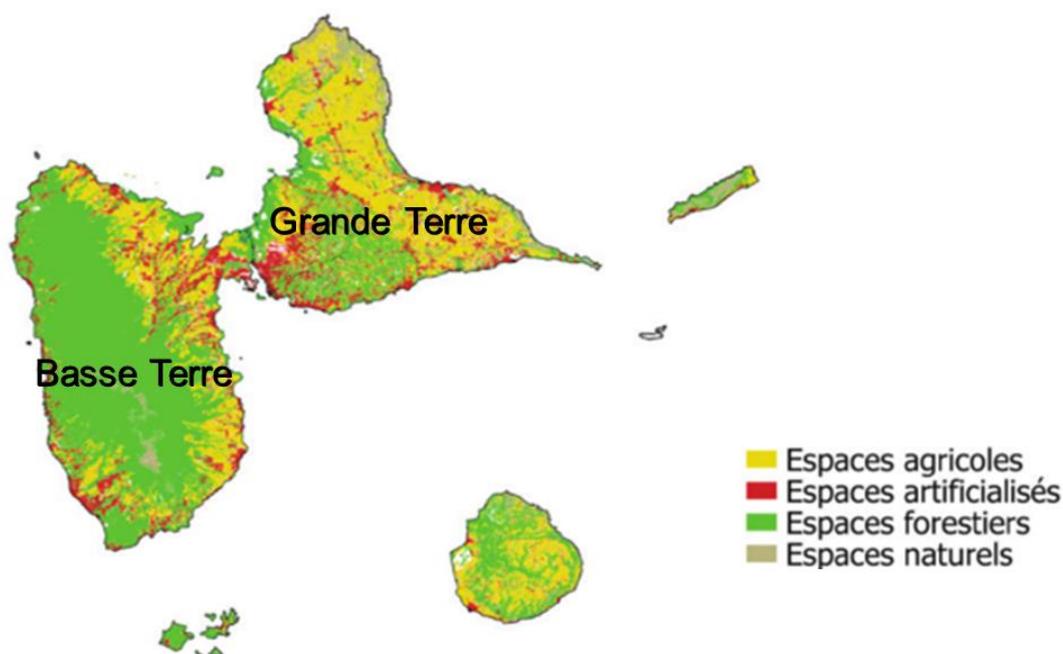


Figure 1 : Carte d'occupation des terres de Guadeloupe  
(Sources : DAAF, DEAL, IGN, couche assemblée, 2013 ; Agreste Guadeloupe, 2019)

La protection de l'environnement est au cœur des exigences citoyennes de la Guadeloupe, la population réclame une production locale et diversifiée et un équilibre social (Ozier-Lafontaine *et al.* 2014). D'après Angeon (2011), c'est en modifiant certaines pratiques agricoles vers l'intégration de considérations environnementales et en adoptant une vision systémique des modes de production, que la Guadeloupe répondra aux défis du XXIème siècle et s'adaptera aux changements globaux. De plus, Ozier-Lafontaine *et al.* (2014) avancent que c'est en promouvant l'agroécologie et notamment les services écosystémiques rendus par la biodiversité, que les systèmes

agricoles guadeloupéens parviendront à être éco-efficients. Et finalement, c'est en intégrant les connaissances et les savoir-faire des agriculteurs dépositaires de divers modes de culture diverses déjà existants en Guadeloupe que des SdC agroécologiques innovants pourront se développer (Bussière *et al.* 2011 ; Ozier-Lafontaine *et al.* 2014).

Le système agricole traditionnel aux Antilles est représenté par les « jardins créoles » (Degras 2005). Il repose sur l'association d'un nombre d'espèces important (arbres fruitiers, cultures vivrières, plantes aromatiques ou médicinales) sur un espace restreint (Ozier-Lafontaine 2000). Plus récemment, des études ont révélé certaines stratégies agricoles présentes en Guadeloupe intégrant la biodiversité cultivée, e.g. l'association de cultures, la rotation de cultures, la polyculture-élevage, l'agroforesterie, le couvert végétal (Ozier-Lafontaine 2000 ; Stark *et al.* 2010 ; Bussière *et al.* 2011 ; Stark *et al.* 2017 ; Rasse *et al.* 2018 ; Chave *et al.* 2019 ; Fanchone *et al.* 2019).

Pour aller plus loin dans le développement de l'agroécologie en Guadeloupe, le Centre Inrae Antilles-Guyane met au point depuis plus de 20 ans des expérimentations-systèmes dévoilant des SdC innovants à faible niveau d'intrants chimiques (Farant *et al.* 2005 ; Lesieur-Jannoyer *et al.* 2010). En 2017, un travail de thèse traitant de l'écologie des sols des SdC maraîchers de Guadeloupe a permis d'initier une expérimentation-système principalement basée sur la tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

## D. Focus sur la mycorhization de la tomate

Lors d'expérimentations-systèmes, les pratiques agroécologiques testées peuvent favoriser certaines régulations biologiques spécifiques. Les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) forment des symbioses avec au moins 250 000 espèces de plantes (Finlay 2008). Les CMA pénètrent par leurs hyphes à l'intérieur des cellules végétales et forment des arbuscules, structures d'échange avec la plante, nommés ainsi pour leur forme arbustive (Galland 1905). Puis ils créent des structures de réserve : les vésicules (**Figure 2**). Les CMA augmentent l'absorption de nutriments (e.g. phosphate et azote) et d'eau par les plantes (Finlay 2008) et favorisent ainsi leur croissance (Smith et Read, 2008 ; Walder *et al.* 2012). En retour, les plantes allouent aux CMA jusqu'à 26 % du carbone qu'elles fixent (Jennings 1995 ; Solomon et Saito, 1997 ; Johnson *et al.* 2006). Cette interaction rend également les plantes plus résistantes aux bioagresseurs (Linderman 2000 ; Chave 2015). Vue comme un service écosystémique, cette bioprotection des CMA envers les plantes est en fait le résultat d'interactions complexes entre la plante, le bioagresseur, les communautés microbiennes de la rhizosphère et le CMA (**Figure 3**). Van der Heijden *et al.* (1998) ont montré que la richesse spécifique des CMA contribue à augmenter la productivité des plantes. Les CMA représentent donc un potentiel à considérer pour réduire l'utilisation de produits de synthèse (Smith et Read, 2008).

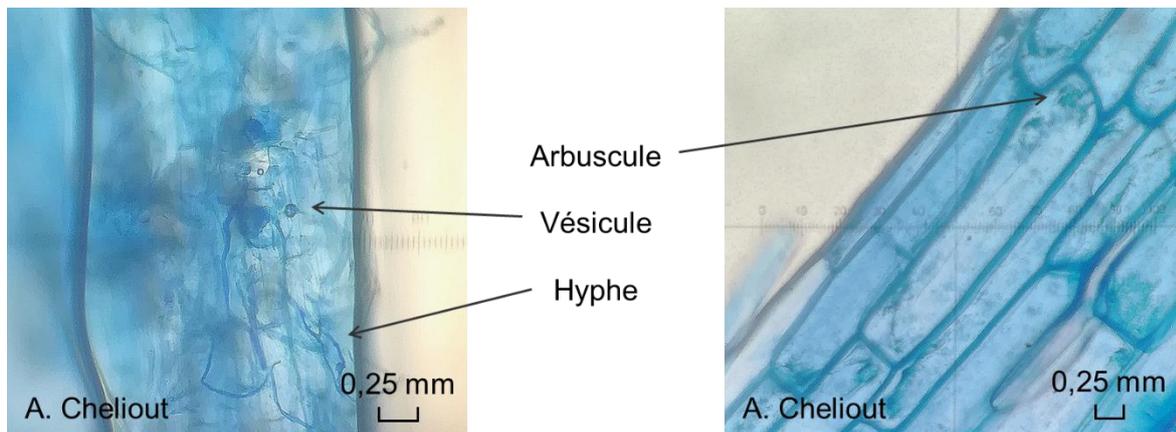


Figure 2 : Hyphe, vésicule et arbuscule de CMA au microscope optique x40  
 Observés à partir de fragments de racines de plants de tomate prélevés sur la parcelle expérimentale du Domaine de Godet (Source : A. Cheliout)

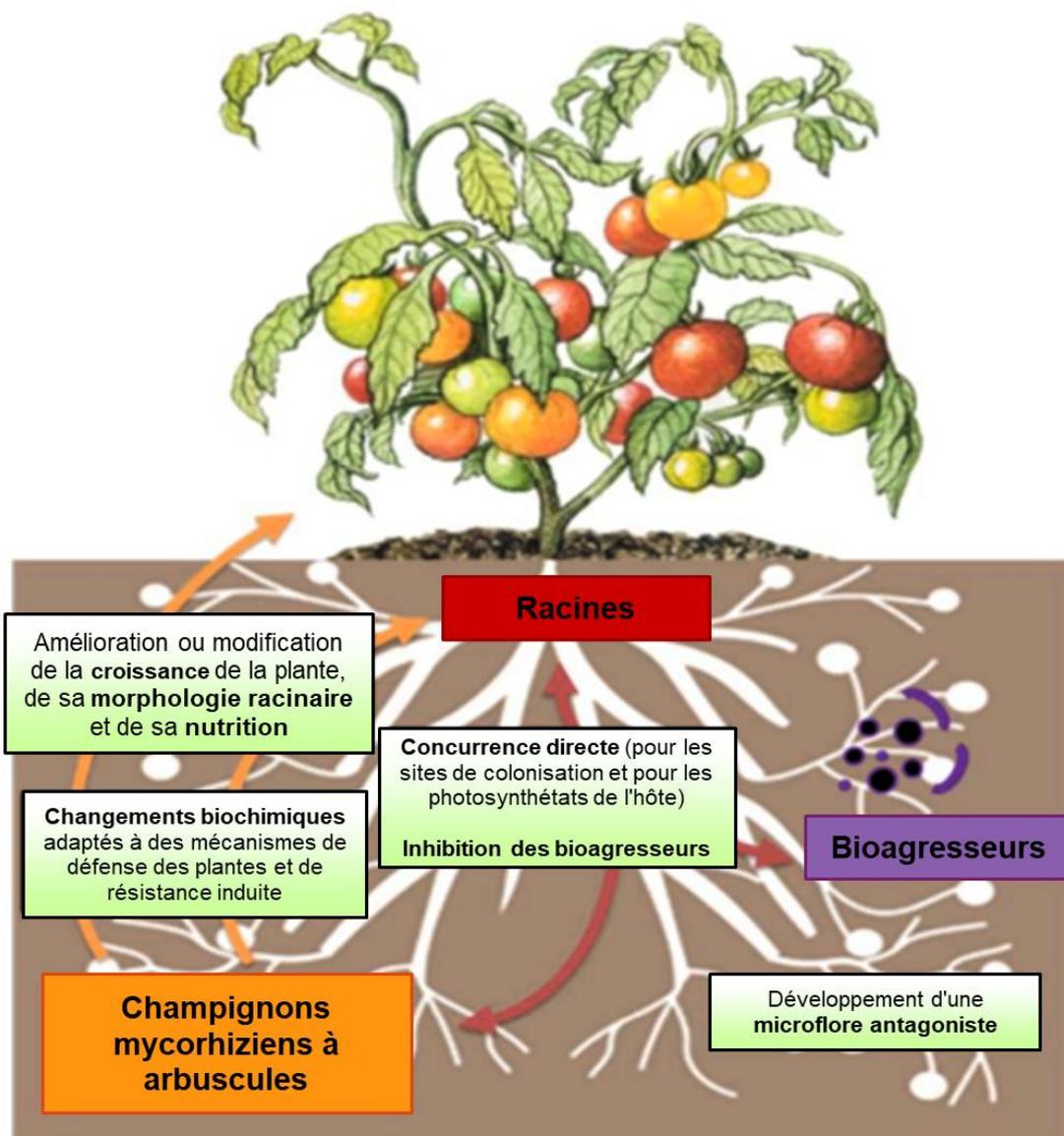


Figure 3 : Principaux mécanismes impliqués dans la bioprotection des plantes par les CMA  
 (Sources : Crozillac 2013, d'après Whipps 2004)

Une des propriétés importantes des mycorhizes est leur capacité à se transmettre à plusieurs plantes voisines par effet donneur (aussi appelé effet réseau) (Walder *et al.* 2012) créant ainsi un large réseau souterrain qui connecte les plantes entre elles (Giovanetti *et al.* 2004). De plus, certaines plantes ont la capacité de mobiliser et multiplier grandement les CMA présents naturellement dans le sol, elles sont dites « mycorhizotrophes ». Par effet donneur, ces plantes peuvent être utilisées pour transmettre et augmenter la colonisation racinaire de plantes d'intérêt agronomique moins mycorhizotrophes (Voets *et al.* 2009), comme la tomate. Chave *et al.* (2019) ont mis en œuvre cet effet donneur pour la première fois à travers des expérimentations *on-farm* et ont conclu que l'utilisation d'une plante mycorhizotrophe donneuse de souches de CMA indigènes (i.e. naturellement présents dans le sol) représente une pratique efficace pour augmenter la mycorhization chez tomate.

Pour stimuler la production végétale avec l'utilisation de CMA, on peut soit (i) inoculer des CMA sélectionnées, soit (ii) favoriser l'activité des CMA indigènes par des pratiques agricoles appropriées. Bien qu'il y ait consensus sur le bien-fondé de l'utilisation de CMA indigènes comme stratégie agroécologique innovante (Douds *et al.* 2005 ; Pellegrino *et al.* 2011 ; Chave *et al.* 2019), l'inoculation de CMA exogènes demeure la principale technique proposée aux agriculteurs. Cette dernière technique comporte des risques écologiques, les CMA exogènes peuvent déséquilibrer les communautés mycorhiziennes indigènes (Verbruggen *et al.* 2013) et s'avérer invasifs (Schwartz *et al.* 2006 ; Smith et Read, 2008). Il est donc préférable de favoriser les CMA indigènes.

Pour développer de nouvelles pratiques agricoles réduisant l'emploi d'intrants, comme potentiellement les pratiques favorisant les CMA, l'apprentissage représente un facteur clé (Chantre et Cardonna, 2014 ; Chantre *et al.* 2014). Plusieurs pratiques favorisant la mycorhization sont utilisées en Guadeloupe (e.g. la jachère, la permaculture, la réduction du labour, l'utilisation d'amendements organiques, l'association de plantes, l'agroforesterie...) (discussions avec des agriculteurs ; Ozier-Lafontaine 2011). Mais pour déployer l'utilisation de ces pratiques à un nombre plus important d'agriculteurs, des preuves locales de leur efficacité doivent être fournies aux agriculteurs (Chave *et al.* 2019).

Des travaux de recherche antérieurs ont prouvé l'efficacité des CMA à rendre les tomates plus résistantes aux bioagresseurs (Gianinazzi *et al.* 2010 ; Vos *et al.* 2014), notamment par le biais d'une plante mycorhizotrophe : la crotalaire *Crotalaria spectabilis* (Diedhiou-Sall *et al.* 2012 ; Fernandes *et al.* 2012 ; Mathurin 2012 ; Crozilnac 2013 ; Chave 2015 ; Chave *et al.* 2017 ; Julianus *et al.* 2019). Cette plante peut mettre en relation la tomate avec des souches de CMA indigènes via plusieurs techniques. La première consiste à faire pousser des crotalaires en pré-culture de tomates en laissant leurs racines dans le sol à la plantation des tomates. La seconde est l'utilisation de sol de culture de crotalaires comme substrat de semis de tomates en pépinière. Et la dernière consiste à semer les tomates près de crotalaires, ce qui peut être fait en pépinière et/ou au champ. Les 2 dernières techniques sont des formes de pré-mycorhization car elles interviennent avant la plantation des tomates en plein-champ. Linderman (2000) suggère que les stratégies de valorisation pré-

coces des CMA dans les sols agricoles seraient efficaces pour optimiser les régulations biologiques des bioagresseurs.

## E. Le problème du flétrissement bactérien en Basse Terre

La production de tomates est en déclin depuis quelques années (diminution de 7 % de production entre 2017 et 2018, Agreste Guadeloupe, 2019). Les acteurs de cette filière mettent en cause la maladie du flétrissement bactérien (**Figure 4**), majoritairement présente en Basse Terre (Temple 1997), provoquée par la bactérie *Ralstonia solanacearum*, autrefois appelée *Pseudomonas solanacearum* (Bertrand 1989 ; Chave 2015 ; Chave *et al.* 2017). Cette bactérie est considérée comme l'un des pathogènes causant le plus de dégâts économiques au monde (Mansfield *et al.* 2012). Elle infecte 450 espèces de plantes hôtes, dont beaucoup de plantes à intérêt commercial (Wicker *et al.* 2009 ; Diedhiou-Sall *et al.* 2012). Elle semble se propager par l'eau (Wicker *et al.* 2009), et infeste les plantes par les racines puis colonise les tissus vasculaires (Mansfield *et al.* 2012). Alors qu'aucune méthode conventionnelle efficace n'a été trouvée pour la combattre, des méthodes agroécologiques sont testées depuis une vingtaine d'années pour en limiter l'impact (Ratnadass *et al.* 2012). Les CMA se sont notamment révélés être efficaces pour lutter contre le flétrissement bactérien (Zhu et Yao, 2004 ; Tahat *et al.* 2012 ; Crozilhac 2013).



**Figure 4 : Ramification d'un plant de tomate atteint par le flétrissement bactérien**  
Photographie prise sur la parcelle expérimentale du Domaine de Duclos (Source : A. Cheliout)

Le projet AgroEcoTom (2016-2020) vise à promouvoir des stratégies innovantes mobilisant les régulations biologiques pour faire face à cette maladie qui touche la tomate notamment aux Antilles. Ces stratégies seront à terme proposées aux agriculteurs (Projet AgroEcoTom, 2014). Ce projet est financé par la mesure 16.1 du FEADER (Fonds Européen pour l'Agriculture et le Développement Rural) avec un par-

tenariat organisé dans le cadre du RITA Guadeloupe (Réseau d'Innovation et de Transfert Agricole) et piloté par l'IT2 (Institut Technique Tropical). Le GIS PIClég (Groupement d'Intérêt Scientifique pour la Production Intégrée en Culture légumière) est venu renforcer les moyens mis en œuvre pour faire avancer nos connaissances scientifiques sur le sujet, il co-finance notamment ce stage.

Dans le cadre du projet AgroEcoTom, le Centre Inrae Antilles-Guyane réfléchit à des stratégies innovantes de régulation biologique en vue de limiter l'impact du flétrissement bactérien en Guadeloupe. C'est par une expérimentation-système qu'Inrae teste l'effectivité de SdC de tomates (variété HeatMaster) innovants implémentés de pratiques agroécologiques favorisant notamment la mycorhization comme régulation biologique de la bactérie du flétrissement bactérien.

## F. Objectifs, problématique et hypothèses

L'objectif de cette étude est de déterminer les freins et les leviers à la mise en place par les agriculteurs de pratiques agroécologiques favorisant la mycorhization. Pour répondre à cela, nous avons suivi la mise en place et l'évolution de 2 SdC innovants intégrés dans l'expérimentation-système, et nous avons interrogé des agriculteurs pour connaître leurs avis sur la transition vers des pratiques agroécologiques favorisant la mycorhization.

Nous faisons l'hypothèse que le croisement des connaissances empiriques des agriculteurs avec les connaissances scientifiques permettra de faire émerger des connaissances génériques, comme certaines études l'ont établi précédemment (Girard et Navarette 2005). De ce fait, l'interaction de différentes sources de connaissances révélée dans ce mémoire permettra de mieux envisager l'appropriation de l'intérêt de la mycorhization comme élément limitant l'impact du flétrissement bactérien par les exploitants agricoles.

L'aboutissement de cette étude permettra d'obtenir un regard croisé entre la conduite des SdC maraîchers actuelle en Guadeloupe et l'évaluation de 2 SdC expérimentaux innovants, implémentés dans une expérimentation-système.

## II. MATERIEL ET METHODES

---

Comme mentionné ci-dessus, nous avons pour objectif de déterminer les freins et les leviers à la mise en place de pratiques agroécologiques favorisant la mycorhization par le biais de 2 stratégies expérimentales : une expérimentation-système et des enquêtes auprès d'agriculteurs.

### A. Description de l'expérimentation-système

#### 1. Caractéristiques des 2 SdC

L'expérimentation-système est composée de 2 SdC, l'un situé au Domaine de Duclos, à l'est de Basse Terre, et l'autre au Domaine de Godet, au nord de la Grande Terre (**Figure 5**). Ils sont pilotés par l'unité expérimentale PEYI (Plateforme Expérimentale du végétal et des agrosystèmes Innovants). L'**Annexe 2** expose les caractéristiques météorologiques (**A**), les caractéristiques topographiques, environnementales et physico-chimiques (**B**), et les caractéristiques techniques (**C**) des 2 SdC.





Figure 5 : SdC agroécologiques innovants mis en place dans le cadre de l'expérimentation-système à Inrae Photographies prises au Domaine de Duclos en milieu de culture (A) et au Domaine de Godet en fin de culture (B) (Source : A. Cheliout)

## 2. Pratiques agroécologiques implémentées dans les 2 SdC

Les pratiques agroécologiques implémentées dans l'expérimentation-système sont énumérées ci-dessous.

- La jachère, ou le fait de laisser un sol « au repos » sans action de l'homme pour en restaurer la fertilité (Sebillotte 1985), est une pratique qui favorise la biodiversité végétale et donc la présence potentielle d'ennemis naturels des bioagresseurs (Bianchi *et al.* 2006), et la diversité et l'abondance de souches de CMA indigènes (Duponnois *et al.* 2000). Les parcelles de Duclos et de Godet avaient été laissées en jachère durant plus d'un an et la parcelle de Godet comportait une zone de jachère interne et des zones de jachère sur les côtés durant la période de culture.
- La pré-culture d'une plante mycorrhizotrophe au champ (une des techniques de pré-mycorhization citées plus haut) amplifie la concentration du sol en CMA indigènes (Quinquenel 2012 ; Samson 2013). Cette pratique a été utilisée sur la majeure partie de la parcelle de Duclos avec de la crotalaire. À Godet, la crotalaire est présente naturellement sur la parcelle, elle n'a donc pas été plantée en pré-culture.
- L'utilisation en pépinière de sol issu d'une culture de plantes mycorrhizotrophes (une des techniques de pré-mycorhization citées plus haut) offre aux semis une meilleure colonisation des racines par des CMA indigènes (Sidhoum et Fortas, 2013 ; Henry *et al.* 2014 ; Offroy-Chave 2015 ; Chave *et al.* 2019) dès la germination. À Duclos, du sol avait été prélevé sur la parcelle en pré-culture de crotalaire. À Godet, du sol provenant d'une autre parcelle comportant des crotalaires avait été utilisé. Dans les 2 cas, le substrat de semis était composé de 30 % de terreau et de 70 % de ces sols pré-mycorhizés.

- La limitation du labour voire l'absence totale de travail du sol, sont des pratiques qui conservent l'équilibre des organismes du sol (Asensio *et al.* 2010) et notamment celui des CMA (Kabir 2003 ; Yang *et al.* 2012). A Duclos, 1 labour profond a été réalisé. A Duclos et à Godet, 3 passages d'un pulvérisateur à disque ont été effectués. Cet engin agricole est conçu de prime abord pour sarcler les adventices et les enfouir dans le sol, il est considéré dans cette étude comme une technique de travail du sol car il retourne la terre à 25 cm de profondeur.
- Le désherbage mécanique et manuel ainsi que l'utilisation de paillage sont des pratiques amenant à réduire l'utilisation d'herbicides voire à les supprimer. Le paillage empêche la lumière d'accéder au sol et évite donc la germination des graines. En plus des passages au pulvérisateur à disques, les parcelles de Duclos et de Godet ont été sarclées 3 fois manuellement avec des binettes. La parcelle de Duclos a également été sarclée 1 fois mécaniquement avec un gyrobroyeur et a porté un paillage composé de papier kraft biodégradable. Un paillage de canne à sucre broyée été prévu à Godet mais n'a pas pu être mis en place.
- L'association de cultures, ou la culture simultanée d'au moins 2 espèces de plantes, est une pratique qui (i) augmente la biodiversité et les services écosystémiques associés comme les régulations biologiques (Ozier-Lafontaine 2000 ; Bianchi *et al.* 2006) et (ii) stabilise voire augmente la productivité et les rendements (Joliffe 1997 ; Cardinale *et al.* 2007 ; Brooker *et al.* 2015 ; Perrin et Lefevre, 2019). Certaines plantes peuvent être sélectionnées pour leur action ciblée sur certains ravageurs ou pathogènes, pour leurs propriétés de recouvrement du sol contre les adventices (i.e. plantes de couverture) (Ozier-Lafontaine 2000) ou pour leur propriété mycorhizotrophe (Walder *et al.* 2012). Dans les 2 parcelles expérimentales, ont été cultivées conjointement aux rangs de tomates des rangs de salades de diverses variétés pour couvrir le sol et rentabiliser davantage les parcelles. De plus, des rangs de plantes que l'on nommera plantes de services (PdS) ont été disposées tous les 3-4 rangs de tomates à Duclos et à Godet, et autour de la parcelle à Duclos. Le romarin (*Salvia rosmarinus*), le basilic (*Ocimum basilicum*), le gros thym (*Plecthrantus amboinicus*) et la doliprane (*Colquhounia coccinea*) sont 4 Lamiaceae qui ont été choisies pour leurs effets répulsifs des insectes ravageurs (Bakkali *et al.* 2008 ; Zoubiri et Baaliouamer, 2014 ; Elekcioğlu 2019). Le basilic a aussi un effet attractif pour les pollinisateurs (Pereira *et al.* 2015). Le maïs a été choisi pour sa capacité à piéger les chenilles (Marliac 2011). Et le cosmos (*Cosmos sulphureus*) a été choisi pour son effet attractif pour les pollinisateurs. Aussi, du basilic a été planté sur toutes les lignes de tomates à Godet, et sur 4 lignes de tomates sur 12 à Duclos, tous les 3 plants de tomates.
- L'emploi de produits de BC permet de réduire l'usage de pesticides, voire de les supprimer totalement. Dans cette expérimentation-système, le limocide, le savon noir et le Trainer ® ont été appliqués en tant que produits de BC en

pépinière à Duclos. Par ailleurs, la technique d'arrachage des plants contaminés par le flétrissement bactérien a été utilisée à Duclos.

- L'épandage d'amendement organique (e.g. fumier, compost, matière végétale broyée, cendre, etc) permet de réduire voire de supprimer l'utilisation d'engrais de synthèse. À Duclos, du vermi-compost et du lixiviat de vermi-compost ont été appliqués en pépinière ; du fumier a également été étendu 2 fois sur la parcelle au champ.

Les 2 SdC n'ont pas été agencés à l'identique compte tenu des différentes caractéristiques techniques (**Figure 6**). Leurs itinéraires techniques seront évalués sur un plan socio-économique d'une part, et feront l'objet d'une discussion avec les agriculteurs d'autre part.

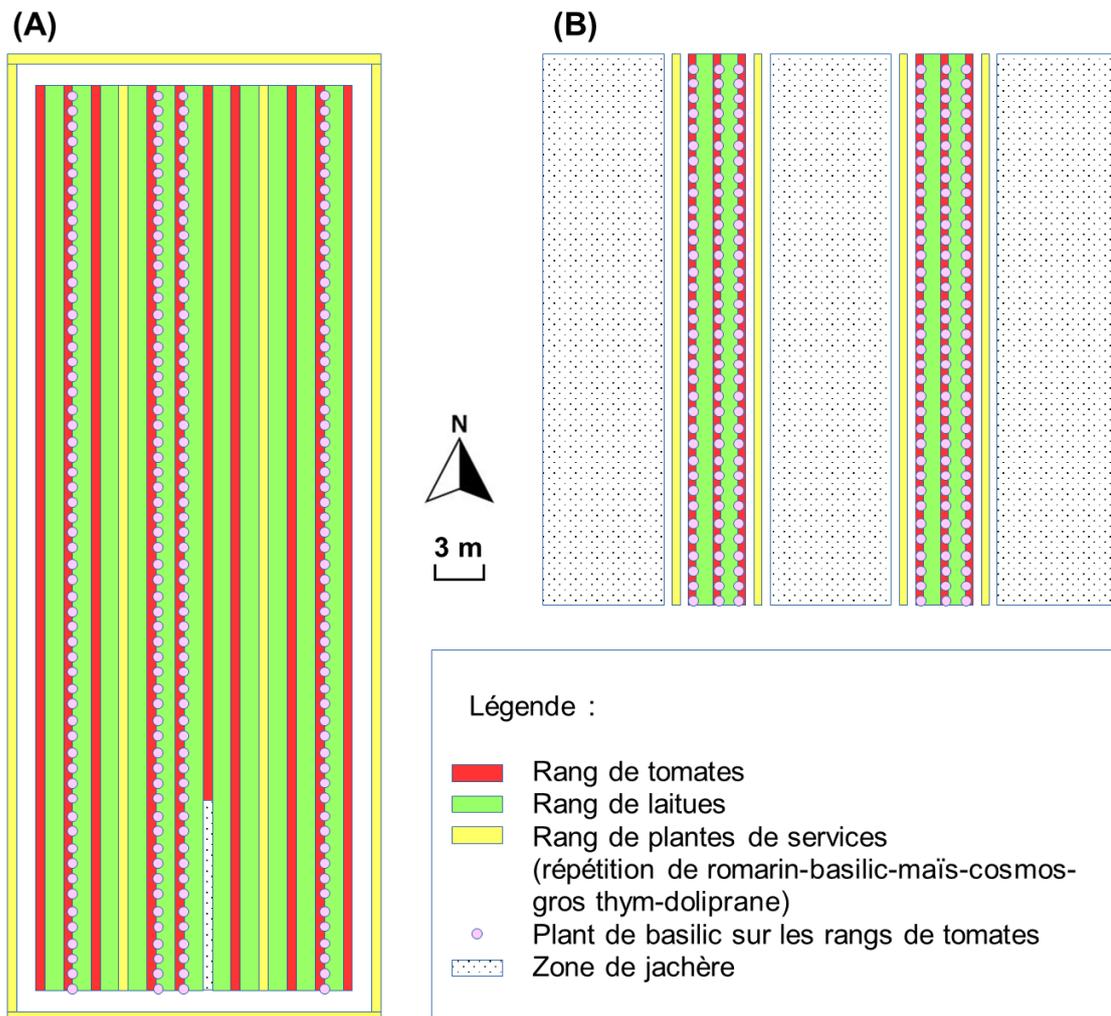


Figure 6 : Plans des 2 SdC mis en place dans le cadre de l'expérimentation-système au Domaine de Duclos (A) et au Domaine de Godet (B)

L'agencement spatial de chaque culture est indiqué par un code couleur, cf. légende (Source : A. Cheliout)

### 3. Méthodes d'analyses

#### a. Suivi agrotechnique des 2 SdC

L'évaluation des règles de décision, de l'efficacité des interventions et de la faisabilité technique de l'expérimentation-système a été réalisée à travers un suivi agrotechnique. Des mesures de croissance et de productivité ont été effectuées pour les 2 SdC sur 10 % des plants de tomates, situés aléatoirement dans l'espace, tous les 3 jours puis tous les 6 jours à Duclos et tous les 7 jours à Godet. Pour les 2 SdC, la croissance a été évaluée grâce à des mesures de taille et de nombre de feuilles. A Duclos, le nombre de ramifications a également été relevé. Pour les 2 SdC, la productivité a été évaluée par le nombre d'inflorescences, le nombre de fruits produits et le nombre de fruits récoltés. A Godet, le nombre de fruits jetés (car non commercialisables) et le poids de fruits récoltés ont également été relevés. Par ailleurs, la date d'apparition du flétrissement a été relevée sur tous les plants de tomates des parcelles. Sont notés flétris les plants présentant au moins une paire de folioles recourbée (**Annexe 3**) La charge de travail et le matériel nécessaire à chaque intervention ont été suivis à Duclos.

#### b. Estimation de la mycorhization de 5 plants de tomates

L'estimation de la mycorhization sur les 2 SdC expérimentaux devait être réalisée sur les 10 % de plants de tomates étudiés dans le cadre du suivi agrotechnique. Or, compte tenu du confinement encouru suite à la pandémie du COVID-19, seulement 5 plants de tomates ont été sélectionnés à Godet, au stade fructification, parmi les 10 % suivis, pour être évalués. Ces 5 plants étaient disposés aux 4 coins et au centre de la bande ouest de la parcelle (que nous estimons similaire à la bande est). Nous faisons l'hypothèse que grâce aux pratiques favorisant la mycorhization, les 5 systèmes racinaires sont mycorhizés.

Selon la méthode de Trouvelot (Trouvelot *et al.* 1986), plusieurs fragments de ces 5 systèmes racinaires ont été observés au microscope optique et ont reçu des notes de densité de colonisation (sur une échelle de 0 à 5) et de qualité arbusculaire (sur une échelle de 0 à 3). Le protocole d'observation des fragments et la caractérisation des 2 paramètres sont donnés en **Annexe 4**. Pour chaque système racinaire, 6 fragments de 1 cm ont été observés.

#### c. Analyse des données

Des plans des parcelles ont été réalisés, notamment pour visualiser la propagation du flétrissement. Les données récoltées sur les 10 % de plants suivis ont permis de produire des statistiques descriptives et d'effectuer des tests statistiques de comparaison de moyennes et de corrélation à un degré de significativité choisi à 5 %. Ces analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R (version 1.1.463), notamment via le package ggplot2 (version 0.2.3). Seuls les graphiques illustrant les tests dont les résultats portent une significativité sont présentés dans le texte.

## B. Enquêtes auprès des agriculteurs

### 1. Atelier de discussion et d'échanges, hybridation de connaissances scientifiques et profanes

Un atelier a été préparé pour réunir des agriculteurs et toutes les personnes travaillant sur l'expérimentation-système (chercheurs, techniciens de recherche, stagiaires). Un premier groupe d'agriculteurs conviés était composé de ceux ayant participé à l'atelier de co-conception de l'expérimentation-système, un deuxième groupe comportait des agriculteurs travaillant sur d'autres expérimentations-systèmes au Domaine de Duclos, et un troisième groupe comprenait des agriculteurs suivis par l'IT2, les SICA (Sociétés d'Intérêt Collectif Agricole) et la Chambre d'Agriculture de Guadeloupe.

Dans un premier temps, l'objectif de l'atelier était de connaître les pratiques agroécologiques utilisées par les agriculteurs, de discuter de leurs avantages et de leurs inconvénients, et de montrer leur capacité à favoriser la mycorhization. Dans un second temps, l'atelier proposait une présentation et une visite de la parcelle de l'expérimentation-système à Duclos pour ensuite récolter les avis des agriculteurs sur le SdC. Dans un troisième temps, nous devions proposer aux agriculteurs producteurs de tomates le même suivi agrotechnique de leurs SdC que celui réalisé sur les SdC expérimentaux. Le diaporama créé pour l'atelier est montré en **Annexe 5**. Initialement prévu pour le 17 mars 2020, l'atelier a été annulé en raison du confinement encouru suite à la pandémie du COVID-19. Le suivi chez les agriculteurs n'a également pas pu se faire.

### 2. Entretiens avec un groupe d'agriculteurs producteurs de tomates

Compte tenu de l'annulation de l'atelier et du suivi des plants de tomates chez les agriculteurs, des entretiens individuels ont été réalisés avec le groupe d'agriculteurs producteurs de tomates ayant participé à l'atelier de co-conception initial de l'expérimentation-système. Les entretiens étaient de forme semi-directive. Les objectifs étaient d'établir le degré d'écologisation de leurs SdC et d'obtenir leur opinion sur les pratiques agroécologiques testées dans l'expérimentation.

Pour calculer le degré d'écologisation, la méthode de Bardet (2018) a été adaptée comme telle : 6 indicateurs référencent les pratiques des agriculteurs, chaque pratique reçoit une note de -1 à 10 selon son niveau dans le diagramme ESR, le degré d'écologisation résulte de la somme de ces points. La méthode initiale de Bardet est explicitée en **Annexe 6**. La liste des pratiques référencées pour chaque indicateur ainsi que leur nombre de points associé est donnée en **Annexe 7**. Chaque SdC est vu comme une étape dans la transition agroécologique représentée par le dia-

gramme ESR. Pour visualiser les données recueillies pour chaque agriculteur, des digrammes en radar ont été réalisés.

J'ai réalisé au total 8 entretiens sur les exploitations des agriculteurs et 1 entretien téléphonique. Les entretiens ont été enregistrés avec un enregistreur audio numérique et retranscrits postérieurement. Des codes ont été attribués aux agriculteurs dans ce mémoire pour préserver leur anonymat, ils vont de AGR1 à AGR9.

### III. RESULTATS

---

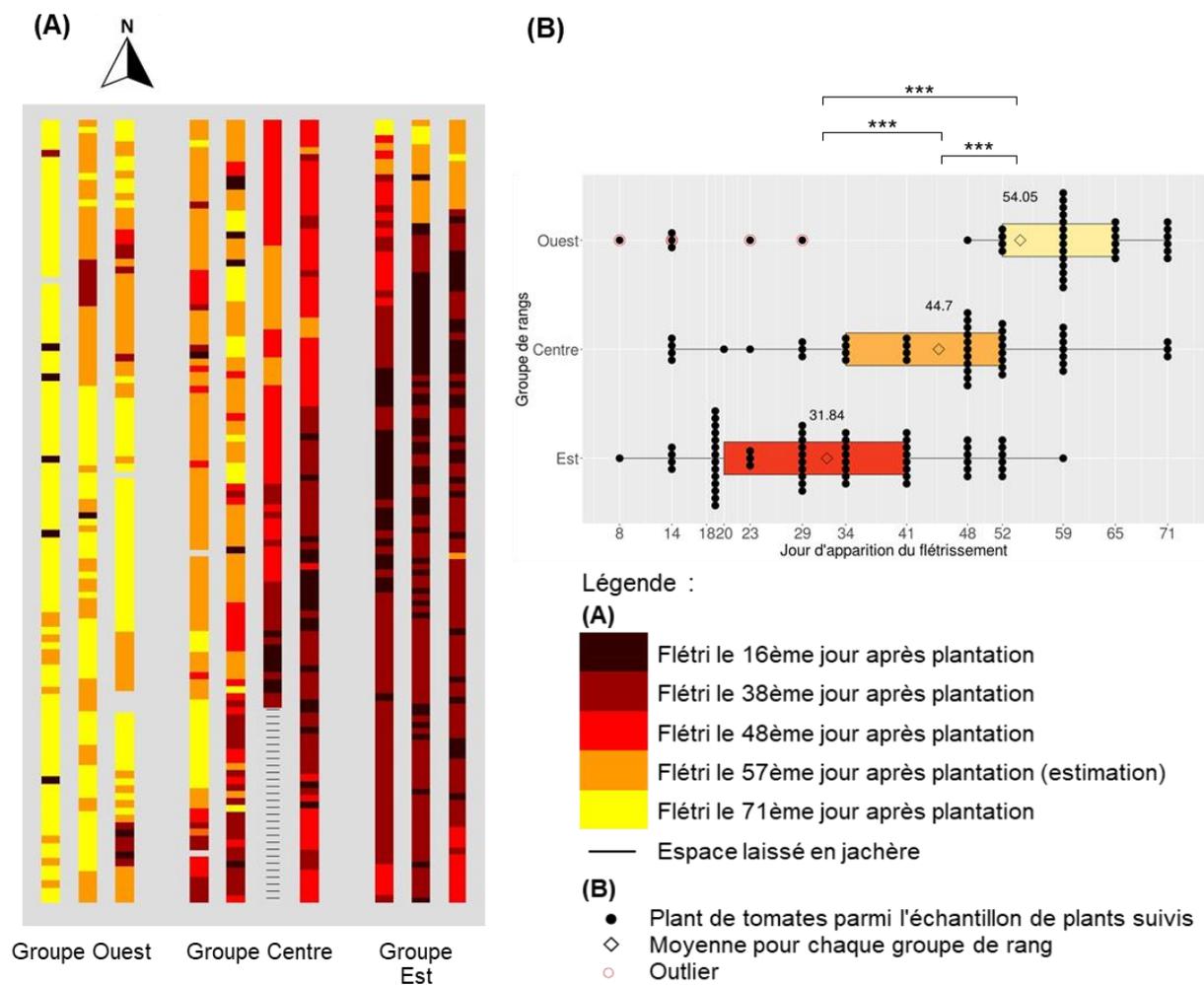
Les 2 stratégies expérimentales choisies dans cette étude (le suivi agrotechnique des 2 SdC expérimentaux et les enquêtes auprès d'agriculteurs) ont mis en évidence des freins et des leviers à la mise en place de pratiques agroécologiques favorisant la mycorhization.

#### A. Analyse du suivi agrotechnique des 2 SdC

Les plants des 2 SdC qui composent l'expérimentation-système ont été caractérisés par une croissance, une productivité et une vitesse d'apparition du flétrissement bactérien spécifiques.

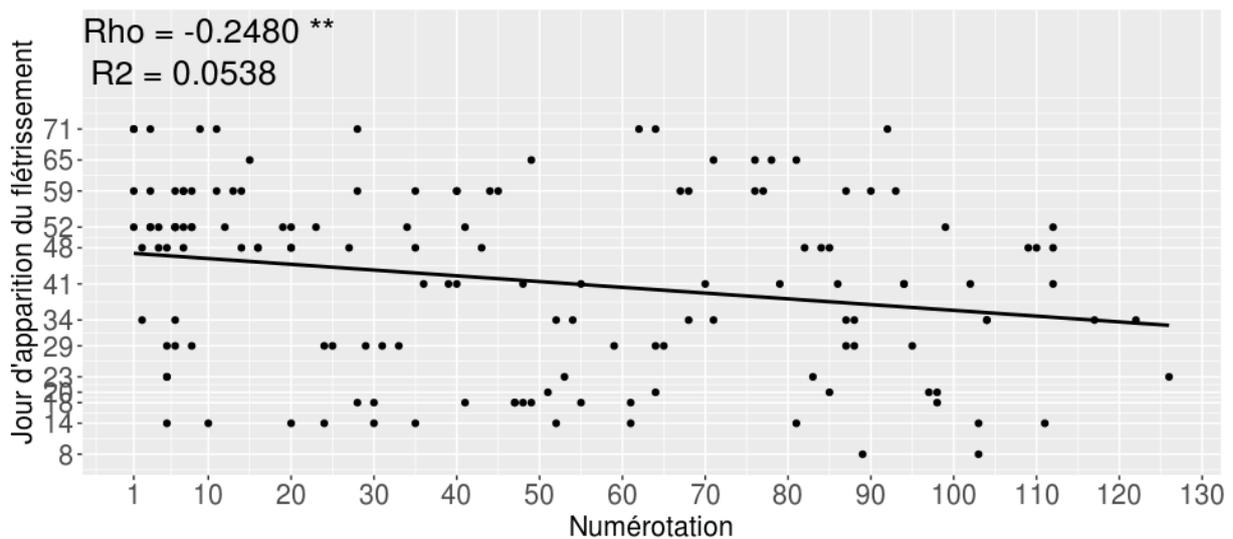
##### 1. Apparition du flétrissement bactérien

À Duclos, le flétrissement bactérien a touché presque tous les plants de tomates (99.31% des plants). Dans le sens latitudinal, les groupes de rangs Est, Centre et Ouest ont tous porté des plants flétris très tôt, mais les plants du côté est se sont flétris dans l'ensemble plus tôt. En effet, le jour d'apparition du flétrissement a été significativement plus précoce pour le groupe Est d'en moyenne 12,86 jours par rapport au groupe Centre ( $p\text{-value} = 4.4e^{-05}$ ) et d'en moyenne 22,22 jours par rapport au groupe Ouest ( $p\text{-value} = 2.1e^{-08}$ ) (**Figure 7**). Dans le sens longitudinal, plus les plants étaient positionnés au sud, plus la maladie est arrivée tôt. En effet, le jour d'apparition du flétrissement est significativement corrélé de manière négative au numéro du plant sur le gradient nord-sud ( $p\text{-value} = 0.002731$ ) (**Figure 8**). Néanmoins, la position du plant sur ce gradient n'explique que très peu l'apparition du flétrissement ( $R^2 = 0,0538$ ). Parallèlement, l'apparition de la maladie a impacté la croissance en hauteur ( $p\text{-value} = 2.777e^{-10}$ ), en biomasse ( $p\text{-value} = 8.582e^{-07}$ ) et la production de fruits ( $p\text{-value} < 2.2e^{-16}$  et  $p\text{-value} = 5.849e^{-10}$ ). Ces facteurs ne sont tout de même que très peu expliqués par l'apparition de la maladie ( $R^2_n < 0,34$  avec  $n$  facteurs) (**Figure 9**).

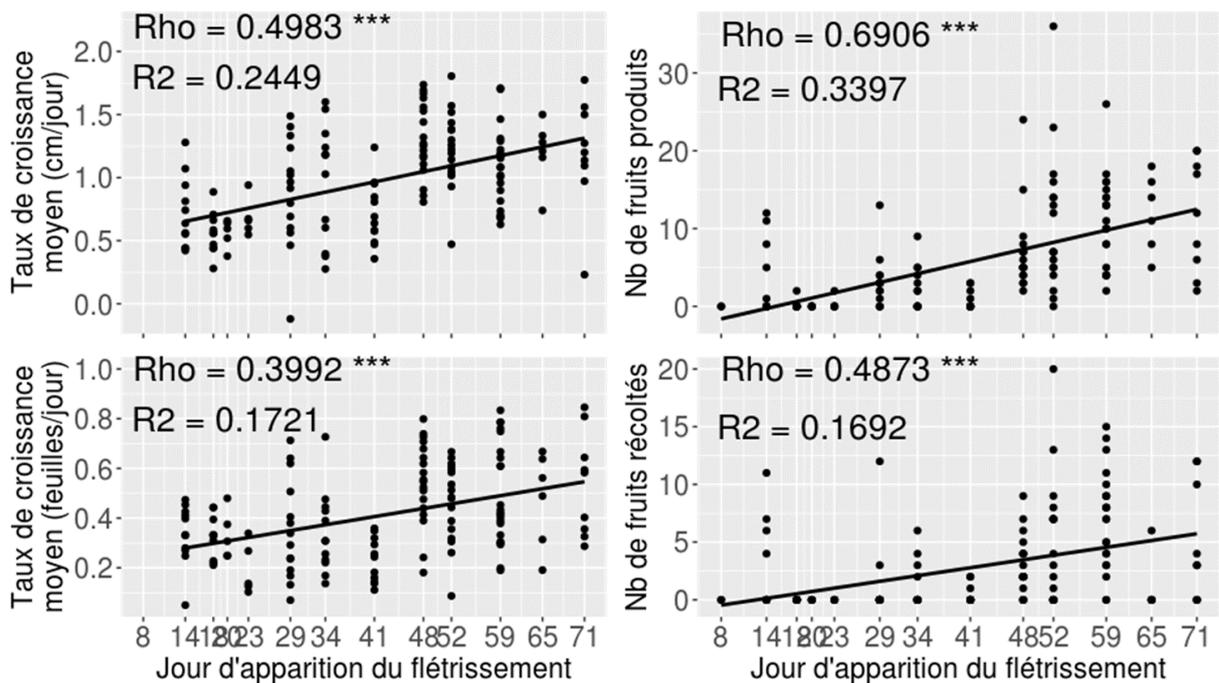


**Figure 7 : Evolution de l'apparition du flétrissement bactérien sur la parcelle expérimentale du Domaine de Duclos (A) et jours d'apparition du flétrissement suivant les groupes de rangs (B)**

Sur le plan en (A), tous les plants de tomates de la parcelle sont représentés par un code couleur suivant leurs jours d'apparition du flétrissement (cf. légende), l'apparition du flétrissement au 57ème jour après plantation a été estimée grâce aux observations de l'état des plants flétris au 71ème jour. Sur le graphique en (B), les jours d'apparition du flétrissement des 10% des plants de tomates suivis de la parcelle sont représentés par des *box-plots* suivant les groupes de rangs Est, Centre et Ouest. Les degrés de significativité des tests de Wilcoxon de comparaison des moyennes des jours d'apparition du flétrissement établis entre chaque paire de groupes de rangs sont : \*\*\* : p-value < 0.001, \*\* : p-value < 0.01, \* : p-value < 0.05 (Source : A. Cheliout)



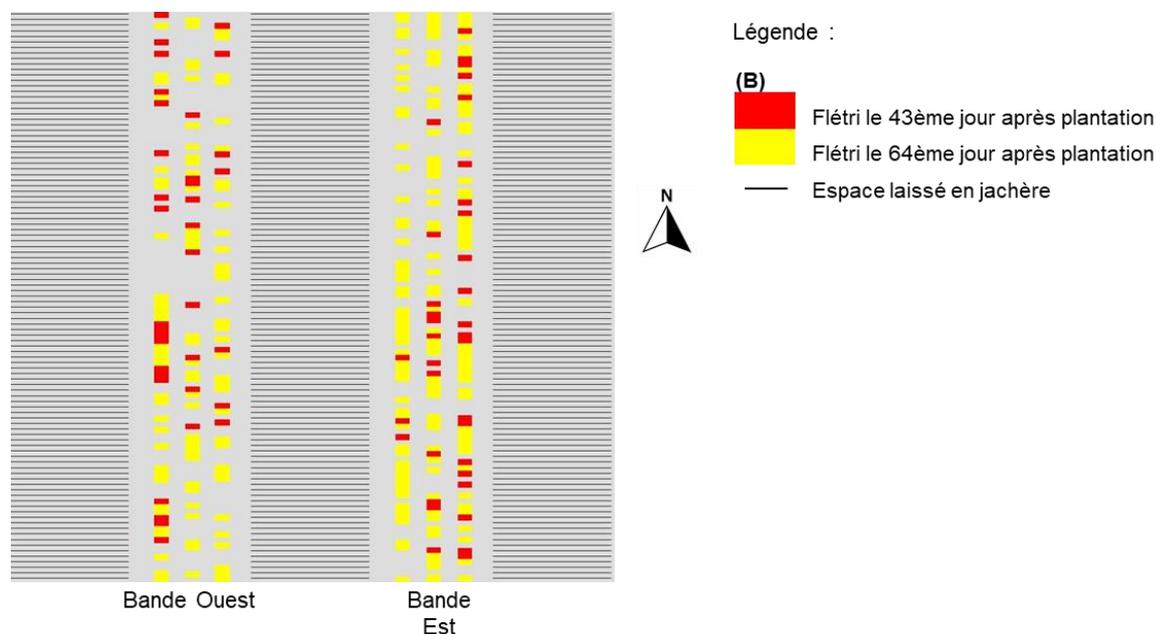
**Figure 8 : Numérotation sur un gradient nord-sud des 10 % de plants de tomates suivis du SdC du Domaine de Duclos, tous rangs compris, suivant leur jour d'apparition du flétrissement bactérien**  
 Les points correspondent aux données des 2 variables récoltées sur les 10% de plants de tomates suivis à Duclos. Les degrés de significativité du test de corrélation de Spearman effectué entre les 2 variables sont : \*\*\* : p-value < 0.001, \*\* : p-value < 0.01, \* : p-value < 0.05. La corrélation entre les 2 variables est caractérisée par le coefficient de corrélation de Spearman noté Rho, la droite de régression et son coefficient de détermination R<sup>2</sup> (Source : A. Cheliout)



**Figure 9 : Croissance et production suivant le jour d'apparition du flétrissement bactérien au Domaine de Duclos**

Les données proviennent des 10% de plants de tomates suivis. Les indicateurs de croissance sont le taux de croissance en nombre moyen de cm pris par jour et le taux de croissance en nombre moyen de feuilles produites par jour. Les indicateurs de production sont le nombre moyen de fruits produits et le nombre moyen de fruits récoltés. Les degrés de significativité des tests de corrélation de Spearman pour chaque couple de variables sont : \*\*\* : p-value < 0.001, \*\* : p-value < 0.01, \* : p-value < 0.05 (Source : A. Cheliout)

À Godet, le flétrissement bactérien n'a touché que 48,90 % des plants de tomates (4 semaines avant la fin des récoltes) et s'est réparti de manière homogène sur toute la parcelle (**Figure 10**). La contamination par la maladie n'a pas impacté significativement la croissance en hauteur, en biomasse et la production de fruits.



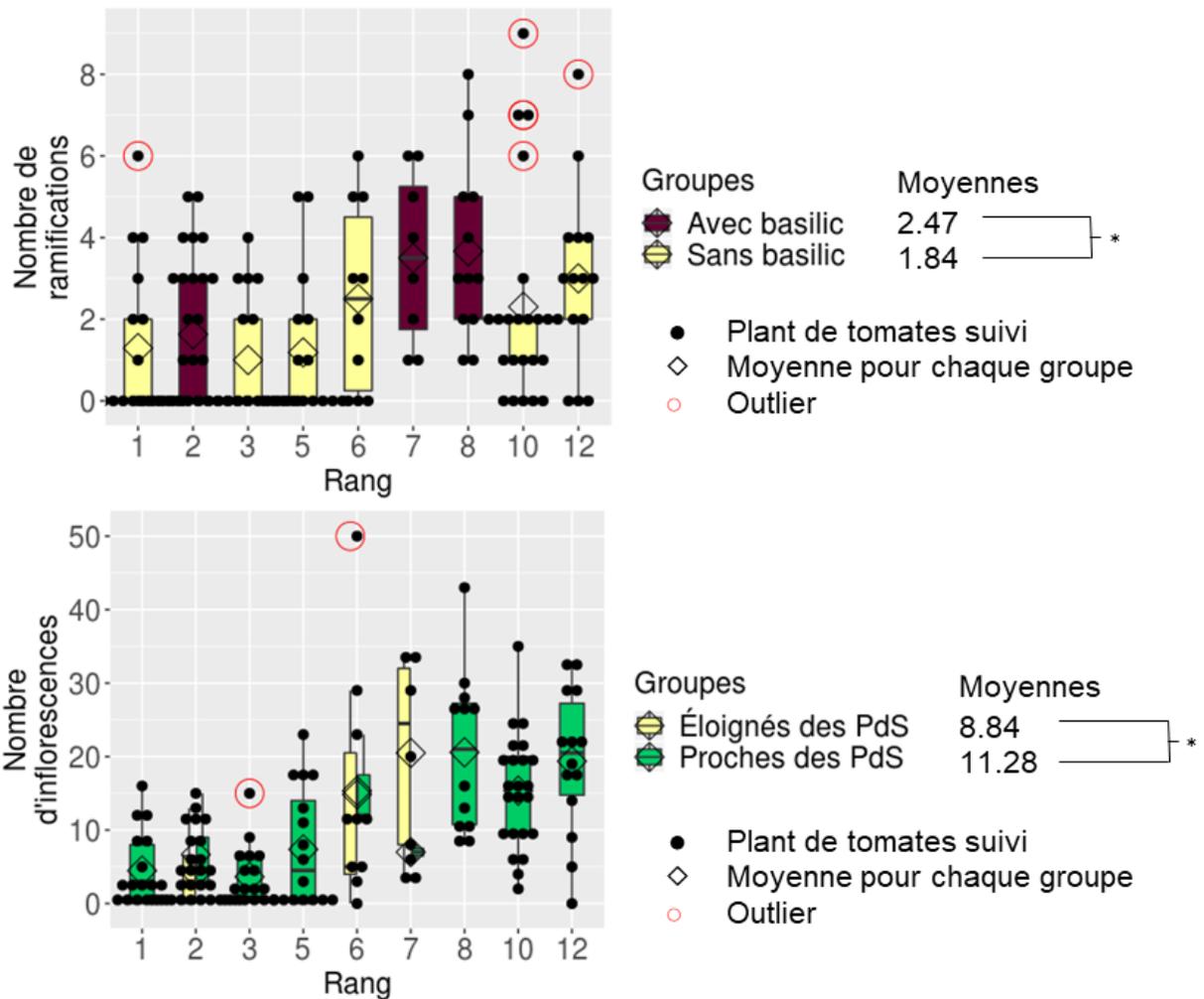
**Figure 10 : Evolution de l'apparition du flétrissement bactérien sur la parcelle expérimentale du Domaine de Godet**

Tous les plants de tomates de la parcelle sont représentés par un code couleur suivant leurs jours d'apparition du flétrissement (cf. légende) (Source : A. Cheliout)

## 2. Impact du basilic situé sur les rangs de tomates et des PdS

À Duclos, le nombre de ramifications des plants de tomates sur les rangs portant du basilic est significativement supérieur au nombre de ramifications des rangs n'en portant pas ( $p\text{-value} = 0.04765$ ) (**Figure 11, haut**). Outre cela, aucun autre indicateur relevé lors du suivi agrotechnique n'a montré de différence significative entre les rangs portant du basilic et ceux n'en portant pas. À Godet, étant donné que tous les rangs de tomates portaient du basilic, nous n'avons pas effectué de comparaison statistique.

A Duclos, le nombre d'inflorescences des plants de tomates proches des PdS est significativement supérieur au nombre d'inflorescences des plants plus éloignés ( $p\text{-value} = 0.04955$ ) (**Figure 11, bas**). Outre cela, aucun autre indicateur relevé n'a montré de différence significative entre les plants proches et ceux plus éloignés des PdS, à Duclos comme à Godet.



### 3. Analyse socio-économique du SdC du Domaine de Duclos

À Duclos, la charge de travail nécessaire à tout le processus du SdC (comprenant la préparation du sol, la mise en place du système d'irrigation, les semis, la mise en place du paillage, le désherbage manuel et mécanique, l'apport de fumier et de compost, la pose des tuteurs et la récolte) s'est élevée à 341 heures (**Annexe 8, A**). Si l'on estime le salaire des personnes ayant travaillé sur le SdC à 9,90 € brut de l'heure (salaire minimum pour un salarié non-cadre dans la fonction agricole, MSA années 2002 et 2009), on obtient un coût de main d'œuvre du SdC égal à 3375,90 €.

De plus, le coût du matériel non réutilisable (e.g. semences, terreau, gaines d'irrigations, sachets) s'est élevé à 1144,41€ (**Annexe 8, B**) sans compter le prix du fumier, du vermi-compost et des produits de BC. Le coût de production estimé du SdC de Duclos s'élève donc à 4520,31€.

À Duclos, la production de tomates atteint 498,072kg. Si l'on se réfère au prix moyen du kilo de tomates du marché de Gourdeliane en avril 2020 à 1,43€ (DAAF de Guadeloupe), la recette en tomates est alors estimée à 712,24€. Concernant les salades, 1410 têtes ont été récoltées. Si l'on se réfère au prix moyen des têtes de salades du marché de Gourdeliane en avril 2020 à 1,41€ (DAAF de Guadeloupe), la recette en salades est alors estimée à 1988,10€. Nous ne prenons pas en compte la production des PdS parce qu'elles ne sont pas communément vendues en Guadeloupe. La recette totale du SdC de Duclos s'élève donc à 2700,34€, ce qui est inférieur à son coût de production.

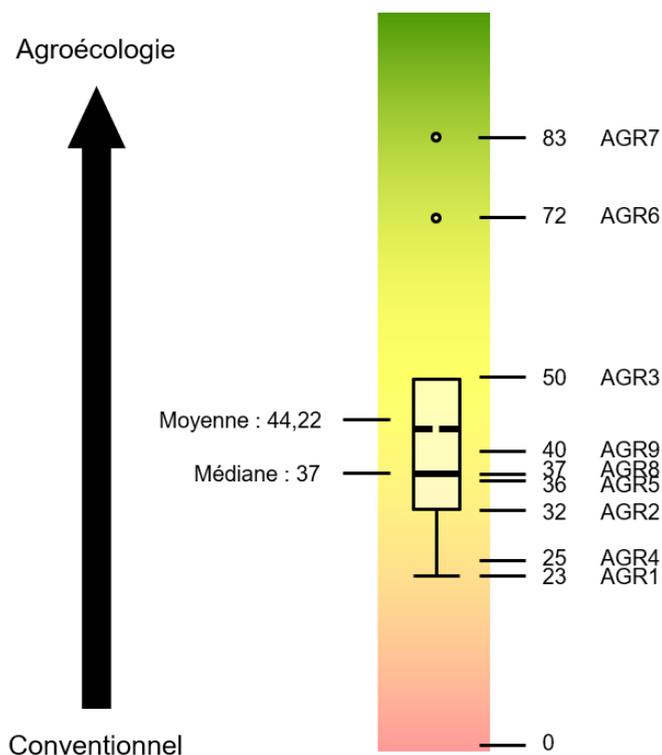
#### 4. Estimation de la mycorhization de 5 plants de tomate du SdC du Domaine de Godet

Les systèmes racinaires des 5 plants de la parcelle du Domaine de Godet sont tous colonisés par des CMA, à des densités de colonisation et des qualités arbusculaires variables (**Annexe 9**).

## B. Analyses des entretiens réalisés auprès des agriculteurs producteurs de tomates

### 1. Degrés d'écologisation des SdC de tomates des agriculteurs interrogés

Grâce à la méthode de Bardet (2018), nous avons calculé le degré d'écologisation des SdC de tomates de 9 agriculteurs interrogés. Ces degrés d'écologisation sont tous positifs (**Figure 12**) ce qui nous permet de dire que tous les agriculteurs interrogés s'investissent dans l'agroécologie. Des diagrammes en radars permettant de voir les points faibles et les points forts des ITK de chaque agriculteur sont mis en **Annexe 10**. Un tableau récapitulant leurs pratiques est donné en **Annexe 11**.



**Figure 12 : Degrés d'écologisation des SdC de tomates de 9 agriculteurs interrogés**  
 Les agriculteurs sont codés de AGR1 à AGR9. Les degrés ont été calculés grâce à la méthode de Bardet (2018). Le *box plot* affiche la médiane, la moyenne, l'intervalle interquartile et les *outliers* de l'ensemble des degrés d'écologisation (Source : A. Cheliout)

AGR1, AGR4 et AGR8 emploient quelques pratiques agroécologiques de manière non volontaire, au milieu d'une majorité de pratiques conventionnelles. En effet, AGR4 s'adapte au retrait de certains produits de synthèse sur le marché en utilisant des produits de BC ou des amendements organiques ; AGR1 réduit son labour à cause de sa culture précédente ; et AGR8 n'a pas d'habilitation à utiliser des produits chimiques et manque de matériel pour utiliser des pratiques plus conventionnelles. Au contraire, AGR2, AGR5, AGR9 et AGR3 ont recours à une majorité de pratiques agroécologiques de manière volontaire, en même temps qu'à quelques pratiques conventionnelles. Et pour finir, AGR6 et AGR7 ont recours exclusivement à des pratiques agroécologiques.

## 2. Identification des freins à la mise en place de pratiques agroécologiques favorisant la mycorhization

Globalement, les freins à la mise en place de pratiques agroécologiques favorisant la mycorhization exprimés par les agriculteurs sont de l'ordre du manque de connaissances, techniques (manque de moyens techniques, temps de travail plus long et donc coûts de production plus élevés) et financiers (manque de soutien de la part des institutions, manque de valorisation commerciale par un label, risques sur la

perte de production liés à l'essai de nouvelles pratiques). En somme pour changer leurs pratiques, « *les agriculteurs mettent beaucoup de temps à se décider* » (AGR6).

Cette liste de freins est la synthèse des freins rapportés spécifiquement pour chaque pratique par les agriculteurs, donnée en **Annexe 12**.

### 3. Identification des leviers à la mise en place de pratiques agroécologiques favorisant la mycorhization

Les leviers à la mise en place de pratiques agroécologiques favorisant la mycorhization présents en Guadeloupe, sont liés aux préoccupations environnementales et de santé publique des agriculteurs, aux moyens de diffusion des connaissances mis à disposition, à la proximité géographique avec un pays « modèle » pour l'agroécologie et à l'utilisation maintenue des pratiques anciennes. Des leviers financiers et institutionnels sont également mis en lumière.

En effet, chez les agriculteurs, l'agroécologie est souvent attractive pour ses avantages sur la santé et sur l'environnement : « *C'est une fierté pour un agriculteur de vendre des produits sains* » (AGR6) ; « *Je ne voulais pas utiliser de produits chimiques pour pouvoir consommer ce que je produisais* » (AGR9). En énonçant le caractère durable de l'agroécologie, les agriculteurs endossent la responsabilité de changer leurs pratiques : « *Si on réfléchit à nos enfants et aux générations suivantes, c'est totalement mieux [...] ce sont des choix qu'il va falloir faire, parce que lorsque l'on voit l'état de la planète...* » (AGR5) ; « *Il faut changer ses pratiques. Aujourd'hui, il faut réfléchir autrement. [...] On doit prendre conscience que si l'on veut protéger la belle île et le beau climat que l'on a, profiter encore et transmettre à nos gamins, il faut que nous aussi on fasse des efforts.* » (AGR7).

Les agriculteurs énoncent également des leviers dans les moyens de diffusion des connaissances en Guadeloupe via des groupements d'agriculteurs, des coopératives, des formations, ou encore des discussions entre collègues. Certains ont également recours à des livres et à internet.

La proximité de la Guadeloupe avec Cuba, considéré communément comme un des pays précurseurs de l'agroécologie, aussi situé dans l'arc antillais, est également un levier au partage de connaissances et à la visualisation de l'application effective de pratiques agroécologiques. En effet, 4 agriculteurs enquêtés avaient déjà visité Cuba pour connaître les pratiques qui s'y employaient et s'en inspirer.

De plus, les pratiques agroécologiques anciennes en Guadeloupe, et notamment celles qui découlent des jardins créoles, sont encore très largement utilisées car leur efficacité a été démontrée dans le passé. AGR3 définit sa stratégie comme l'emploi de pratiques anciennes s'appuyant sur les moyens techniques récents.

Par ailleurs, des leviers de rentabilité sont énoncés par les agriculteurs employant des pratiques agroécologiques. Ils exposent que certaines pratiques comportent un nombre d'avantages parfois démultiplié et qu'elles nécessitent un coût d'application plus bas que leurs équivalences en agriculture conventionnelle. Ils disent aussi obtenir des produits plus gros, de meilleurs goût et de conservation plus longue après

récolte. Enfin, ils énoncent une fidélisation et une attraction de nouveaux consommateurs plus soucieux de leur santé et de l'environnement.

Pour finir, les enquêtes ont soulevé des leviers institutionnels. En effet, la législation nationale et européenne évolue et le retrait de certains produits de synthèse sur le marché pousse les agriculteurs à se tourner vers des solutions de BC. De même, les formations rendues obligatoires donnant la permission d'acheter et d'appliquer certains produits chimiques font barrière à leur utilisation pour certains agriculteurs.

La liste plus détaillée des leviers reliés à chaque pratique est donnée en **Annexe 13**.

#### 4. La question spécifique de la mycorhization comme régulation biologique du flétrissement bactérien auprès des agriculteurs interrogés

Parmi les 9 agriculteurs interrogés, 6 avaient subi du flétrissement bactérien sur leurs tomates allant jusqu'à perdre la production de parcelles entières. Lorsque les principes de la mycorhization leurs ont été présentés comme moyen de lutte contre le flétrissement bactérien, certains se sont montrés sceptiques à propos de l'efficacité (AGR4 « *C'est des recherches, j'attends les résultats* »), tandis que d'autres, enthousiasmés des preuves scientifiques, n'ont pas dénié les prendre en compte un jour dans leurs stratégies.

Les parcours scolaires et universitaires agricoles n'abordent pas du tout la question de la mycorhization. En revanche, les agriculteurs nous ont cités des formations apportant savoir et savoir-faire sur la mycorhization, présentes en Guadeloupe et réalisées à Inrae. De plus, lors de voyages à Cuba, certains agriculteurs ont pu s'informer sur les principes de la mycorhization et visualiser l'application effective de pratiques favorisant ce processus. Néanmoins, cette opportunité n'est pas offerte à tout le monde.

## IV. DISCUSSION ET PERSPECTIVES

---

### A. L'amélioration de l'expérimentation-système grâce au suivi agrotechnique et aux entretiens avec les agriculteurs

#### 1. Une expérimentation-système soulevant de nouvelles questions de recherche

Les résultats issus du suivi agrotechnique des 2 SdC expérimentaux soulèvent des questions et mettent en lumière les limites de cette étude.

##### a. Hypothèse sur la mycorhization des tomates

L'implémentation d'un ensemble de pratiques agroécologiques favorisant la mycorhization sur les 2 SdC de l'expérimentation-système a probablement favorisé les interactions entre les CMA et les plantes cultivées. Les systèmes racinaires des 5 plants de tomates prélevés sur la parcelle de Godet étaient tous mycorhizés. Néanmoins pour confirmer cette hypothèse, il serait nécessaire de mettre en place un dispositif « témoin » dépourvu de cet ensemble de pratiques et de comparer les taux de mycorhization d'un échantillon représentatif des plants de tomates cultivés dans les 2 dispositifs.

##### b. Hypothèses sur l'évolution du flétrissement bactérien

Sur le SdC expérimental du Domaine de Duclos, plusieurs explications peuvent être émises sur l'apparition du flétrissement bactérien à l'est et sa propagation vers le sud et vers l'ouest. Premièrement, une bande adjacente au bord est, correspondant environ à la largeur de 3 rangs, n'avait pas reçu de crotalaires en pré-culture. Or plusieurs études démontrent les capacités de la crotalaire à réduire l'incidence du flétrissement bactérien (Diedhiou-Sall *et al.* 2012 ; Mathurin 2012 ; Crozilhac 2013 ; Chave 2015). Cela s'accorderait à dire que les plants du côté est ont flétri plus tôt parce qu'ils avaient moins bénéficié de l'effet bioprotecteur de la crotalaire. Chave *et al.* (2017) observent un retard de flétrissement de 2,4 jours entre des plants de tomates dont les racines ont été inoculées de CMA via l'effet donneur de crotalaires et d'autres sans crotalaire. Lors de notre étude, nous avons observé un décalage d'environ 12,86 jours entre l'est n'ayant pas reçu de crotalaires en pré-culture, et l'ouest.

Concernant sa propagation au sud, nous supposons que l'eau, s'écoulant en direction du sud à cause de la pente, a entraîné la bactérie pathogène. En Martinique,

Wicker *et al.* (2009) font également l'hypothèse que cette bactérie se propage par l'eau. Les voies de propagation de la bactérie sont encore à étudier. De plus, la stagnation de l'eau constatée au sud de la parcelle a pu rendre le sol plus favorable au développement de la bactérie, mais cette hypothèse est également encore à vérifier scientifiquement. Par ailleurs, nous supposons l'existence d'un gradient de pH nord-sud dans le sol de la parcelle. Li *et al.* (2017) démontrent notamment que plus le sol est acide, plus les cultures subissent du flétrissement bactérien. Des travaux complémentaires à cette étude pourraient permettre d'analyser le pH du sol de cette parcelle.

Pour finir, concernant sa propagation d'est en ouest, nous notons que le vent provient de l'est, or nous savons que les plantes émettent des Composés Organiques Volatiles (COV) témoignant de leur stress, qui peuvent alerter leurs congénères d'un danger imminent (Lenne *et al.* 2013). Nous faisons alors l'hypothèse que les plantes à l'ouest ont reçu via le sens du vent les COV émis par les plantes plus à l'est, et que ces COV ont alerté les plantes à l'ouest de l'attaque de la bactérie qui se sont alors mieux préparées à combattre la bactérie. Par exemple, Kessler *et al.* (2006) démontrent lors d'expériences au champ que le tabac (Solanaceae) active ses défenses chimiques après le rejet de COV par l'armoise (Asteraceae). Des travaux complémentaires à cette étude pourraient porter sur l'émission de COV sur la parcelle de ce SdC et leur effet sur la résistance au flétrissement bactérien.

Pour conclure, cette expérimentation-système a soulevé de nouvelles questions de recherche et a défini des travaux analytiques complémentaires, fonctions des expérimentations-systèmes soulevées par Havard *et al.* (2017).

## 2. Des limites soulevées par le suivi agrotechnique et les entretiens avec les agriculteurs

Certaines contraintes rencontrées sur les SdC n'ont pas été anticipées (e.g. la stagnation de l'eau, le relâchement des piquets tuteurs, l'attaque des fruits, le manque de graines de crotalaires, l'arrachage des plants de maïs lors des désherbages manuels, le mauvais développement du romarin à Duclos). Ces contraintes devront être prises en compte lors de futures reproductions de l'expérimentation-système.

D'après Angeon (2011), les processus d'innovations peuvent se diffuser lorsque les pratiques qu'ils soulèvent sont suivies de retombées économiques positives et concrètes. Le SdC innovant mis en place à Duclos a montré ses défaillances sur le plan économique, il est donc nécessaire de travailler sur l'amélioration de sa productivité, notamment en prenant en compte les résultats du suivi agrotechnique. Morel *et al.* (2015) ont montré qu'une parcelle maraîchère agroécologique de 1000 m<sup>2</sup> (soit environ la surface de la parcelle de Duclos) pouvait générer un revenu mensuel viable avec une charge de travail jugée acceptable par les agriculteurs interrogés. Cette étude pourra servir d'appui à l'amélioration de l'expérimentation-système.

Au fil des enquêtes auprès des agriculteurs, nous avons récolté leurs avis sur l'expérimentation-système en vue de futures améliorations et de la diffusion d'un SdC opérationnel.

Pour commencer, les PdS choisies sont commercialisables mais leur vente n'est pas commune en Guadeloupe, c'est pourquoi les agriculteurs se sont montrés réticents à envisager de les cultiver. Les remplacer par de la cive, du thym ou du persil qui comportent d'après eux les mêmes propriétés et qui sont elles bien vendues en Guadeloupe seraient pour eux plus favorable. En prime, la cive comporte des propriétés mycorhizotrophes (Quinquenel 2012 ; Samson 2013 ; Offroy-Chave 2015) attrayantes pour notre expérimentation, qui réduisent notamment les populations de la bactérie responsable du flétrissement (Deberdt et al. 2012). Cependant, pour valoriser l'efficacité des PdS choisies dans l'expérimentation auprès des agriculteurs, l'augmentation significative du nombre de ramifications et d'inflorescences des plants de tomates observé à Duclos pourra leur être énoncé. On note tout de même qu'un des agriculteurs cultive du maïs comme PdS et l'utilise ensuite pour nourrir ses poules, par le biais desquelles il récupère la fiente.

Par ailleurs, l'association tomate-salade n'est pas la plus avantageuse pour la plupart des agriculteurs à cause de besoins en eau différent. Ils proposent de remplacer la salade par le chou, la carotte, le navet, la cive ou d'autres cultures pérennes telles que la banane ou la maracuja. Pour garder la salade, il faudrait, d'après un agriculteur, planter la tomate en fin cycle de la salade.

### 3. Le cas de l'AGR7

De tous les agriculteurs interrogés, l'AGR7 est le plus avancé dans la transition agroécologique. Après plusieurs années en agriculture conventionnelle, il a repensé entièrement son SdC pour engager une transition agroécologique. En 5 ans, son système est devenu efficient sur le plan agronomique, technique et économique (**Figure 13**). Comprendre quelles ont été ses stratégies de gestion du risque et les changements qu'il a accompli durant cette phase de transition peut aider à développer des SdC innovants (Angeon 2011 ; Lamine 2011).

En débutant dans l'agroécologie, sa première difficulté a été une baisse drastique de rendement. « *En 2015, avec les résultats que j'avais, j'aurais pu arrêter. Mais je me suis dit qu'il fallait que je change mes pratiques, qu'il fallait commencer à réfléchir autrement aujourd'hui.* » Ensuite, sa priorité a été de connaître les organismes présents dans ses parcelles et de comprendre leurs effets et les moyens d'optimiser leurs bénéfices. « *Aujourd'hui on est obligé d'apprendre et de comprendre le biotope qui nous entoure. [...] Être dans ces systèmes, ça nous oblige à être très observateur. [...] Ça m'a quand même pris 4 ans pour bien comprendre comment ça fonctionnait. [...] Ça a été compliqué au début, très très compliqué.* ». Finalement, la contrainte la plus importante qu'il a due prendre en compte a été l'augmentation de la charge de travail, qu'il a résolu en diminuant nettement sa production. À l'inverse de l'AGR6 qui a conservé une production importante en changeant ses pratiques (10 fois plus grande que l'AGR7), lui n'a reçu aucune aide.

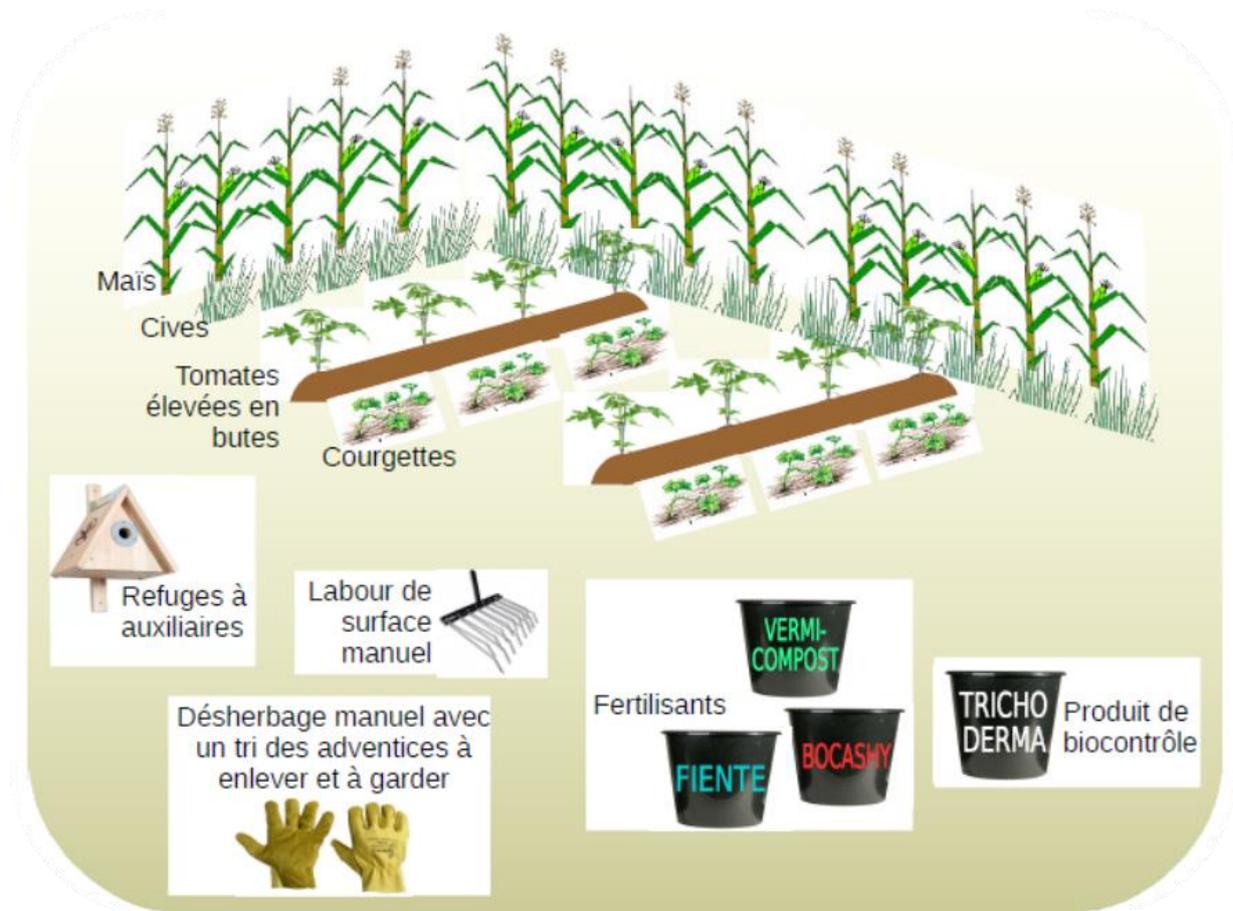


Figure 13 : Schéma du SdC de tomates d'AGR7 présenté par lui-même lors de son entretien (Source : A. Cheliout)

Les améliorations de l'expérimentation-système pourraient être inspirées de son SdC. Néanmoins, il faut garder à l'esprit que la spécificité de certaines pratiques pour certains sites ne les voue pas à se diffuser à large échelle (Duru *et al.* 2015), comme par exemple l'utilisation de certains produits de BC luttant spécifiquement contre certains ravageurs. En effet, il n'existe pas de SdC universel en agroécologie (Doré et Bellon, 2019), tous les agriculteurs sont libres de concevoir leur propre SdC performant (Meynard 2017), ce que AGR7 a bien compris : « *L'avantage c'est qu'il n'y a pas de référentiel qui existe, donc ça nous empêche d'être cloisonnés par des normes* ».

Par ailleurs, en s'orientant vers l'agroécologie, AGR7 a dû baisser drastiquement sa production. L'enjeu de l'expérimentation-système pourrait alors évoluer sur l'extension de la taille du SdC expérimenté. En effet, Doré et Bellon (2019) notent que l'extension des systèmes innovants peut se heurter à des limites économiques ou techniques que les futurs travaux de recherche devront évaluer et contribuer à lever.

## 4. Conclusions sur l'amélioration de l'expérimentation-système

Tous ces résultats participent à la réflexion sur l'amélioration de l'expérimentation-système. L'objectif d'hybrider les connaissances scientifiques avec le savoir profane des agriculteurs guadeloupéens pour créer un SdC de tomates innovant a été accompli. Malgré la nécessité d'appuyer certaines hypothèses concernant cette expérimentation à des recherches scientifiques plus poussées, l'interaction avec l'expertise des agriculteurs a été essentielle pour soulever les points forts et les points faibles de l'expérimentation. Cette étude prouve que la recherche en agronomie ne doit pas toujours débiter par une compréhension fine des processus écophysologiques, idée soulevée par Girard et Navarrete (2005).

*In fine*, pour proposer un SdC de tomates agroécologique aux agriculteurs, il sera important de leur fournir une évaluation de l'impact technico-économique de la mise en place de ses pratiques.

## B. Des pratiques encore mal perçues par les agriculteurs, mais des moyens de transition agroécologique présents en Guadeloupe

### 1. La connaissance, un outil à la transition agroécologique encore mal diffusé auprès des agriculteurs

Cette étude a montré que le manque de connaissances est un frein important à la mise en place de pratiques agroécologiques favorisant la mycorhization. Les agriculteurs ne connaissent pas les pratiques qu'ils peuvent mettre en place, les produits qu'ils peuvent utiliser, les cultures qu'ils peuvent associer, ou simplement les principes sur lesquels repose l'agroécologie. Ce besoin d'apprentissage en Guadeloupe est déjà mentionné quelques années auparavant par Ozier-Lafontaine *et al.* (2014). Des fiches techniques dévoilant de manière pédagogique les principes et avantages des pratiques agroécologiques, favorisant notamment la mycorhization, à l'instar de la fiche technique MycoAgra sur la symbiose mycorhizienne (2019), pourraient être produites pour lever ce frein.

Le manque de preuves locales de l'efficacité de certaines pratiques est également un frein mis en lumière dans cette étude qui peut être relié au manque de connaissances. Dans notre étude, et comme le soulèvent Chave *et al.* (2019), les agriculteurs sont réticents à l'emploi de pratiques dont les avantages et le fonctionnement ne leurs ont pas été montrés, surtout quand il s'agit de pratiques explicitement vouées à favoriser les mycorhizes.

Inrae et le CIRAD (Centre de coopération internationale en Recherche Agronomique pour le Développement), 2 organismes de recherche présents en Guadeloupe, mettent en place différents types d'outils pour diffuser les résultats de la recherche aux agriculteurs et les faire progresser dans la transition agroécologique (e.g. ateliers, formations, fiches informatives, « jeux sérieux »). Pourtant, certains agriculteurs interrogés sont encore insatisfaits du partage de connaissances de la part de la recherche. Pour améliorer ce problème, la diffusion des résultats issus de cette expérimentation-système leurs serait favorable.

De plus, la diffusion des connaissances sur les pratiques agroécologiques en Guadeloupe est possible via plusieurs groupements d'agriculteurs : le RITA, les SICA (Sociétés d'Intérêt Collectif Agricole), le GDA EcoBio (Groupement de Développement de l'Agriculture Écologique et Biologique) de Guadeloupe, le GIEE (Groupement d'Intérêt Économique et Environnemental) de Guadeloupe, l'APECA (Association Pour Une Agriculture Paysanne et Ecologique dans la Caraïbe), l'UPG (Union des Producteurs de Guadeloupe), la FREDON (Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles), l'Assofwi (Association de producteurs de fruits de Guadeloupe) et le réseau DEPHY (Réseau de Démonstration, Expérimentation et Production de références sur les systèmes économes en pHYtosanitaires) animé par la chambre d'agriculture de Guadeloupe et la DAAF (Direction régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt).

Par ailleurs, les pratiques agricoles anciennes encore utilisées aujourd'hui en Guadeloupe ont une place centrale dans la transition agroécologique puisqu'elles portent, pour la plupart, des principes agroécologiques. En les employant, certains agriculteurs n'ont pas conscience de faire de l'agroécologie, d'autres disent qu'« À l'époque de nos grands-parents, ils étaient déjà en agroécologie, mais on ne l'appelait pas comme ça, on a juste mis un beau nom sur une pratique qui existe depuis des décennies. [...] Pour moi il faut garder les pratiques de nos grands-parents ».

Finalement, les résultats de nos enquêtes montrent l'implication des acteurs de la sphère sociale dans le processus de changement de pratiques des agriculteurs. Ce fait a également été relaté par Lamine (2011). L'appui fourni par les organismes de recherche et de développement, ainsi que le soutien des politiques et des institutions, sont requis pour accompagner les agriculteurs dans la mise en œuvre d'innovations (Ozier-Lafontaine *et al.* 2014).

## 2. Des pratiques aux avantages qui attirent les agriculteurs

Des bénéfices de rentabilité ont été énoncés par les agriculteurs employant des pratiques agroécologiques : avantages démultipliés et coûts d'application plus bas, meilleurs rendements, fidélisation et attractivité de nouveaux consommateurs plus soucieux de leur santé et de l'environnement. En plus de ces avantages, les agriculteurs interrogés dans le cadre du projet SMART (visant à développer des modes de maraîchage agroécologiques innovants) énoncent également une répartition des risques de mauvaises récoltes (Léger *et al.* 2019). Pour finir, Morel *et al.* (2015)

montrent que des SdC maraîchers agroécologiques innovants peuvent être viables sur le plan économique. Mais alors que le coût de production est perçu comme plus élevé en agroécologie, le prix des produits doit rester bas (relatif à celui sur le marché), certains agriculteurs soulèvent donc l'utilité d'un label valorisant l'investissement pris par les agriculteurs en agroécologie.

Par ailleurs, une pratique qui a particulièrement soulevé l'enthousiasme des agriculteurs est l'association de culture avec une plante de couverture pour ses multiples avantages (e.g. évite l'enherbement, améliore l'offre commerciale, fertilise le sol). L'implémenter dans les futures expérimentations-systèmes pourrait être très apprécié par les agriculteurs. Néanmoins, les agriculteurs ont mentionné la complexité de prendre en compte les besoins et caractéristiques de chaque culture en association. Il est vrai que l'association de culture peut être incompatible avec d'autres pratiques et peut mener à des impasses techniques (Perrin et Lefevre, 2019).

Et pour finir, compte-tenu qu'aucune solution n'existe à ce jour pour lutter contre le flétrissement bactérien, les agriculteurs subissant la maladie ont tous été enthousiasmés de connaître les bénéfices qu'apporte la mycorhization. D'autres alternatives ont révélé des résultats positifs pour lutter contre le flétrissement bactérien tel que l'emploi de certaines plantes : *Tagetes patula* (Terblanche 2002 cité par Ratnadass *et al.* 2012), *Digitaria decumbens* (Messiaen 1998 cité par Ratnadass *et al.* 2012), de *Sorghum bicolor* (Ratnadass *et al.* 2012) ou encore de *Vigna unguiculata* (Michel *et al.* 1997). La culture de ces 4 plantes tropicales pourrait être envisagée dans l'évolution de l'expérimentation-système.

### 3. Le coût en main d'œuvre et le manque de soutien

Néanmoins, les pratiques agroécologiques sont généralement reliées à une charge de travail plus élevées et donc un coût en main d'œuvre plus important, ce coût augmente d'ailleurs avec la taille des parcelles. Aussi, le changement de pratiques engendre parfois un changement de matériel représentant un réel coût financier pour l'agriculteur (e.g. pulvérisateur à disque pour le labour peu profond, tractopelle et épandeur pour l'application d'amendement organique). Les agriculteurs du projet SMART ont dû prendre en compte des investissements supplémentaires en changeant leur mode de maraîchage, mais l'impact économique final de ces changements s'est avéré être positif (Léger *et al.* 2019).

Face au coût financier souvent rapporté quand il est question de changement de pratiques, les agriculteurs disent manquer de soutiens financiers provenant d'institutions étatiques, régionales ou locales (e.g. l'Union Européenne, le Ministère de la Transition écologique, la Chambre d'Agriculture de Guadeloupe, la DAAF). Pourtant, certaines aides existent. Par exemple, les MAEC (Mesures Agro-Environnementales et Climatique), pilier de la PAC (Politique Agricole Commune), visent à « accompagner le changement de pratiques agricoles afin de répondre à des pressions environnementales identifiées à l'échelle des territoires » et « maintenir les pratiques favorables sources d'aménités environnementales là où il existe un

risque de disparition ou d'évolution vers des pratiques moins vertueuses ». Si elles sont respectées, elles peuvent faire bénéficier aux agriculteurs de 600€ par hectare pour des cultures annuelles (Instruction technique MAEC et BIO, 2015-2020). Aussi, la suppression de produits nocifs pour la santé ou l'obligation d'être formé à utiliser des pesticides, instituée en 2015 dans le cadre du plan EcoPhyto sous le nom de CertiPhyto (Certificat pour sécuriser l'usage des produits Phytosanitaires), contraignent les agriculteurs à changer leurs pratiques. On peut donc voir cela comme un soutien indirect des institutions au changement de pratiques.

#### 4. Cuba, un pays formateur en agroécologie

Situé à 1802 km de la Guadeloupe, Cuba est considéré comme un pays exemplaire en matière d'agroécologie (Doré et Bellon, 2019). En allant visiter les SdC qui y sont mis en place, les agriculteurs guadeloupéens peuvent visualiser des modèles de SdC efficaces et mieux comprendre l'application de certaines pratiques agroécologiques.

## V. BIBLIOGRAPHIE

---

- Altieri M. A., Agroécologie : bases scientifiques d'une agriculture alternative, (1983).
- Angeon, V., De la nécessité d'une agriculture innovante dans les départements français d'Amérique. *CIAG 2011 Carrefours de l'innovation agronomiques* **16**, 217–238, (2011).
- Asensio, R., Minatchi, S., Achard, R., & Fernandes, P., L'activité enzymatique, un indicateur simple et fiable pour prévoir l'impact des pratiques culturales sur la qualité des sols, (2010).
- Assessment, M. E., Rapport de synthèse de l'Évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire, Version provisoire finale. (2005).
- Bakkali, F., Averbek, S., Averbek, D. & Idaomar, M., Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology* **46**, 446–475 (2008).
- Bertrand, P., Les principales contraintes phytosanitaires de la culture de la tomate aux Antilles Françaises. 1936-2017-2237, (1989).
- Bardet, A., Référencement technico-économique et évaluation multicritère des pratiques agroécologiques en Guadeloupe. Doctoral dissertation, France. Institut National d'Études Supérieures Agronomiques de Montpellier (Montpellier SupAgro), (2018).
- Bianchi, F. J. J., Booij, C. J., & Tscharrntke, T., Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **273**, 1715–1727 (2006).
- Bidartondo, M. I., Read, D. J., Trappe, J. M., Merckx, V., Ligrone, R., & Duckett, J. G., The dawn of symbiosis between plants and fungi. *Biology letters* **7** 4, 574–577, (2011).
- Brooker, R. W. *et al.*, Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytologist* **206**, 107–117 (2015).
- Bussière, F., Cabidoche, Y. M., Pétro, D., Sierra, J., Cornet, D., Guyader, S., ... & Pavis, C., Des innovations pour les enjeux multiples des productions vivrières et maraîchères des Antilles. *CIAG 2011 Carrefours de l'innovation agronomique* **16**, 39–51, (2011).
- Cardinale, B. J. *et al.*, Impacts of plant diversity on biomass production increase through time because of species complementarity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **104**, 18123–18128 (2007).
- Chantre, E., Cerf, M. & Le Bail, M., Transitional pathways towards input reduction on French field crop farms. *International Journal of Agricultural Sustainability* **13**, 69–86 (2015).

- Chantre E, Cerf M, Le Bail M., Transitional pathways towards input reduction on French field crop farms. *International Journal of Agricultural Sustainability* **13**, 69–86, (2014).
- Chave, M., Angeon, V., Paut, R., Collombet, R. & Tchamitchian, M., Codesigning biodiversity-based agrosystems promotes alternatives to mycorrhizal inoculants. *Agronomy for Sustainable Development* **39**, (2019).
- Chave, M., Crozilhac, P., Deberdt, P., Plouznikoff, K. & Declerck, S., *Rhizophagus irregularis* MUCL 41833 transiently reduces tomato bacterial wilt incidence caused by *Ralstonia solanacearum* under in vitro conditions. *Mycorrhiza* **27**, 719–723 (2017).
- Chave, M., Angeon, V., Paut, R., Tchamitchian, M., Goasduff, M., Harter, A. C., ... & Ster, H., Du partage de connaissances à la co-conception d'innovations agroécologiques : Exemple de la mobilisation des mycorhizes en Guyane. *Innovations Agronomiques* **64**, 97–111, (2018).
- Crozilhac, P., Evaluation in vitro du potentiel bioprotecteur des champignons mycorrhiziens à arbuscules contre le flétrissement bactérien de la tomate. Doctoral dissertation, Europe. Université Catholique de Louvain (UCLouvain), (2013).
- DAAF Guadeloupe (Agreste Guadeloupe), Mémento de la statistique agricole, (2019).
- Dalgaard, T., Hutchings, N. J., & Porter, J. R., Agroecology, scaling and interdisciplinarity. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **100** **1**, 39–51, (2003).
- Deberdt, P., Perrin, B., Coranson-Beaudu, R., Duyck, P.-F. & Wicker, E., Effect of *Allium fistulosum* Extract on *Ralstonia solanacearum* Populations and Tomato Bacterial Wilt. *Plant Disease* **96**, 687–692 (2012).
- Degras, L., Le jardin créole. *Repères culturels, scientifiques et techniques. Pointe-à-Pitre (Guadeloupe): Jasor (coll. Archipel des Sciences)*, (2005).
- Deytieux V., Vivier C., Minette S., Nolot J.-M., Piaud S., Schaub A., Lande N., Petit M.-S., Reau R., Fourrié L., Fontaine L., Expérimentation de systèmes de culture innovant : avancées méthodologiques et mise en réseau opérationnelle. *Innovations Agronomiques* **20**, 49–78, (2012).
- Diedhiou-Sall, S. *et al.*, Impact of biocontrol plants on bacterial wilt and non-targeted soil microbial communities on a naturally infested soil. 23.
- Dore, T. & Bellon, S., Les mondes de l'agroécologie, 179, (2019).
- Douds Jr., D. D., Nagahashi, G., Pfeffer, P. E., Kayser, W. M. & Reider, C., On-farm production and utilization of arbuscular mycorrhizal fungus inoculum. *Canadian Journal of Plant Science* **85**, 15–21 (2005).
- Duponnois, R., Bâ, A. M., Plenchette, C., Thioulouse, J., & Cadet, P., Effet de la jachère sur des populations de champignons mycorrhiziens à arbuscules au Sénégal. *Fallows in tropical Africa* **1**, 325, (2000).

Duru, M. *et al.*, How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agronomy for Sustainable Development* **35**, 1259–1281 (2015).

Elekcioglu, N. Z., Species composition of coccinellidae (coleoptera) and their preys in Adana (Turkey) with observations on potential host medicinal and aromatic plants. *Applied Ecology and Environmental Research* **18**, 369–388 (2020).

Fanchone, A., Alexandre, G., Chia, E., Diman, J. L., Ozier-Lafontaine, H., & Angeon, V., Caractérisation de la diversité des exploitations des Antilles Françaises via la mise en place de pratiques agroécologiques, (2019).

Farant M. Anais G., Ozier-Lafontaine H., Zebus M. F., Dimean J. L. & Hammouya D., Alternatives à l'intensification de l'agriculture de la Caraïbe : vers l'élaboration de systèmes innovants et durables. *Caribbean Food Crops Society* **41** 2, (2005).

Fernandes, P. *et al.* Des plantes assainissantes candidates pour réduire le flétrissement bactérien de la tomate dans les conditions de la Martinique. 7.

Finlay, R. D. Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium. *Journal of Experimental Botany* **59**, 1115–1126 (2008).

Galland, J., Études sur les Mycorhizes endotrophes. *Revue générale de Botanique* **17**, (1905).

Gard, B., Clerc, H., Goillon, C., Pares, L., Védie, H., & Lefevre, A., Concevoir et expérimenter en réseau des combinaisons de pratiques pour une gestion durable des bioagresseurs du sol. *Innovations Agronomiques* **70**, 165–180, (2018).

Gianinazzi, S. *et al.*, Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza* **20**, 519–530 (2010).

Giovannetti, M., Sbrana, C., Avio, L. & Strani, P. Patterns of below-ground plant interconnections established by means of arbuscular mycorrhizal networks. *New Phytologist* **164**, 175–181 (2004).

Girard, N. & Navarrete, M. Quelles synergies entre connaissances scientifiques et empiriques ? L'exemple des cultures du safran et de la truffe. *Natures Sciences Sociétés* **13**, 33–44 (2005).

Griffon E., extrait du film documentaire « Le retour de l'agriculture ». *La compagnie des réalisateurs associés*, (2009).

Haeckel, E., Ernst Haeckel: Generelle Morphologie der Organismen/Allgemeine Entwicklungsgeschichte der Organismen: Kritische Grundzüge der mechanischen Wissenschaft von den entstehenden Formen der Organismen. De Gruyter, (1866).

Havard, M., Alaphilippe, A., Deytieux, V., Estrogues, V., Labeyrie, B., Lafond, D., ... & Tchamitchian, M., Guide de l'expérimentateur système : concevoir, conduire et valoriser une expérimentation système pour les cultures assolées et pérennes, (2017).

- Hénin S., Les acquisitions techniques en production végétale et leurs applications. *Économie Rurale* **74**, 31–44, (1967).
- Henry, C., Richard, F., Ramanankierana, H., Ducouso, M. & Selosse, M.-A. Comprendre la dynamique des communautés mycorhiziennes lors des successions végétales. 18.
- Hill, S. B. & MacRae, R. J. Conceptual Framework for the Transition from Conventional to Sustainable Agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture* **7**, 81–87 (1996).
- Institut d'émission des départements d'Outre-mer (IEDOM), Rapport annuel 2017, (2017).
- Jennings, D. H., & Jennings, D. H., *The physiology of fungal nutrition*. Cambridge University Press, (1995).
- Johnson, D., Leake, J. R. & Read, D. J. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in carbon and nutrient cycling in grassland. *Fungi in Biogeochemical Cycles* (ed. Gadd, G. M.) 129–150 (Cambridge University Press, 2006). doi:10.1017/CBO9780511550522.007.
- Johnson et al. - 2006 - Role of arbuscular mycorrhizal fungi in carbon and.pdf.
- Jolliffe, P. A. Are Mixed Populations of Plant Species More Productive Than Pure Stands? *Oikos* **80**, 595 (1997).
- Julianus, P., Perrin, B. & Chave, M., Des tomates mycorhizées dès la pépinière pour favoriser la nutrition et la protection des plantes : développement d'un dispositif-pilote. 9.
- Kabir, Z., Tillage or no-tillage: Impact on mycorrhizae. *Canadian Journal of Plant Science* **85**, 23–29 (2005).
- Kessler, A., Halitschke, R., Diezel, C., & Baldwin, I. T., Priming of plant defense responses in nature by airborne signaling between *Artemisia tridentata* and *Nicotiana attenuata*. *Oecologia* **148** **2**, 280–292, (2006).
- Lechenet, M. *et al.* Diversity of methodologies to experiment Integrated Pest Management in arable cropping systems: Analysis and reflections based on a European network. *European Journal of Agronomy* **83**, 86–99 (2017).
- Léger, F., Morel, K., Bellec-Gauche, A., & Warlop, F., Agroforesterie maraîchère : un choix stratégique pour garantir une durabilité en transition agroécologique ? Expériences issues du projet SMART. *Innovations Agronomiques* **71**, 259–273, (2019).
- Lenne, C., Bodeau, O. & Moulia, B., Vrai ou Faux : Les plantes communiquent-elles ?, *Pour la science* **423**, (2013).
- Lesueur Jannoyer M., Ozier Lafontaine H., Malézieux E. (2010). Are agroecological cropping systems suitable for tropical horticultural crops? TropHort 1st International Symposium on Tropical Horticulture, Kingston Jamaica, (2010).

Li, S., Liu, Y., Wang, J., Yang, L., Zhang, S., Xu, C., & Ding, W., Soil acidification aggravates the occurrence of bacterial wilt in South China. *Frontiers in microbiology* **8**, 703, (2017).

Linderman, R. G., Effects of mycorrhizas on plant tolerance to diseases. *Arbuscular mycorrhizas: Physiology and function*, 345–365), (2000).

Mansfield, J. *et al.*, Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology: Top 10 plant pathogenic bacteria. *Molecular Plant Pathology* **13**, 614–629 (2012).

Marliac, G., Impact de la disponibilité et de l'attractivité de la ressource sur les populations d'*Helicoverpa zea* cas d'étude : la tomate et le maïs. Doctoral dissertation, AgroParisTech, (2011).

Matagne, P., Aux origines de l'écologie. *Innovations* **18**, 27 (2003).

Mathurin, F., Etude du potentiel assainissant de plantes de services contre le flétrissement bactérien de la tomate (*R. solanacearum*) en conditions de plein champ. 63.

Meynard, J.-M., L'agroécologie, un nouveau rapport aux savoirs et à l'innovation. *OCL* **24**, D303 (2017).

Michel, V. V., Wang, J.-F., Midmore, D. J. & Hartman, G. L., Effects of intercropping and soil amendment with urea and calcium oxide on the incidence of bacterial wilt of tomato and survival of soil-borne *Pseudomonas solanacearum* in Taiwan. *Plant Pathology* **46**, 600–610 (1997).

Möbius K., Die Auster und die Austernwirtschaft, Verlag von Wiegandt, Hempel & Parey, Berlin, (1877).

Mohamad Tahat, M., The potential of endomycorrhizal fungi in controlling tomato bacterial wilt *Ralstonia solanacearum* under glasshouse condition. *African Journal of Biotechnology* **11**, (2012).

Morel, K., Guégan, C., & Léger, F. G., Can an organic market garden based on holistic thinking be viable without motorization? The case of a permaculture farm. *International Symposium on Innovation in Integrated and Organic Horticulture (INNOHORT) 1137*, 343–346, (2015).

Multeau C., Quels sont les freins et les leviers au développement du biocontrôle et des biostimulants aux Antilles-Guyane ? Règlementation européenne et nationale sur le Biocontrôle et la Biostimulation : dynamiques récentes et à venir. Inrae Guadeloupe, (2020).

Navarrete, M., Lefevre, A., Dufils, A., Pares, L., & Perrin, B., Concevoir et évaluer avec les acteurs des systèmes de culture adaptés à leurs cadres de contraintes et d'objectifs en production maraichère sous abri. Mise en pratique et enseignements dans les projets GeDuNem et 4SYSLEG. *Innovations Agronomiques* **61**, 33–49, (2017).

Offroy-Chave, M., Ingénierie agroécologique et santé des cultures : Conception innovante de systèmes de cultures recourant aux plantes mycorrhizotrophes pour la

bioprotection de la tomate contre le flétrissement bactérien. Doctoral dissertation, Antilles-Guyane, (2015).

Ozier-Lafontaine H., Les associations de cultures : une alternative pour une agriculture de qualité et durable aux Antilles ? *L'agriculture autrement, la qualité reconnue*, 1-6, (2000)

Ozier-Lafontaine, H., Boval, M., Alexandre, G., Chave, M., & Grandisson, M., Vers l'émergence de nouveaux systèmes agricoles durables pour la satisfaction des besoins alimentaires aux Antilles-Guyane. *Innovations Agronomiques* **16**, 135–152, (2011).

Parniske, M., Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nature Reviews Microbiology* **6** **10**, 763–775, (2008).

Pereira, A. L. C., Taques, T. C., Valim, J. O., Madureira, A. P., & Campos, W. G., The management of bee communities by intercropping with flowering basil (*Ocimum basilicum*) enhances pollination and yield of bell pepper (*Capsicum annuum*). *Journal of insect conservation*, **19** **3**, 479-486, (2015).

Perrin, B., & Lefevre, A., L'association culturale, un levier pour améliorer santé des plantes, fertilité du sol et production des systèmes de culture maraichers diversifiés ? *Innovations Agronomiques* **76**, 51–70, (2019).

Poveda, K., Gómez, M. I., & Martinez, E., Diversification practices: their effect on pest regulation and production. *Revista Colombiana de Entomologia*, **34** **2**, 131–144, (2008)..

Pretty J.N., Participatory Learning For Sustainable Agriculture. *World Development* **23**, 1247–1263, (1995).

Quinquenel S., encadrée par Chave M., Evaluation de l'impact d'un précédent culturel « Plantes de service mycorrhizotrophes » sur la mycorhization de la tomate lors d'un essai plein champ, rapport de stage de licence professionnelle Protection des Cultures et

Développement Durable. Université de Bretagne occidentale, (2012).

Rasse, C., Andrieu, N., Diman, J.-L., Fanchone, A. & Chia, E. Utilisation de pratiques agroécologiques et performances de la petite agriculture familiale : le cas de la Guadeloupe. *Cahiers Agricultures* **27**, 55002 (2018).

Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J. & Habib, R., Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agronomy for Sustainable Development* **32**, 273–303 (2012).

Samson D, encadrée par Chave M., Pratiques agroécologiques pour stimuler la mycorhization en systèmes de culture maraichers, rapport de stage de licence professionnelle, Lycée Croix-Rivail, Le Lamentin, (2013).

Schüßler, A., Schwarzott, D., and Walker, C., A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research* **105**, 1413–1421, (2001).

Schwartz, M. W., Hoeksema, J. D., Gehring, C. A., Johnson, N. C., Klironomos, J. N., Abbott, L. K., & Pringle, A., The promise and the potential consequences of the

global transport of mycorrhizal fungal inoculum. *Ecology letters* **9** 5, 501-515, (2006).

Sebillotte M., Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. *Cahiers ORSTOM, série Biologie*, 3-25, (1974).

Sébillotte, M., La jachère, éléments pour une théorie. *Blanc-Pamard C, Lericollais A Dynamique des systemes agraires. A travers champs agronomes et géographes. ORSTOM, Paris*, 175-230, (1985).

Sebillotte, M. & Papy, F. Michel Sebillotte, agronome : penser l'action : Propos recueillis par François Papy. *Natures Sciences Sociétés* **18**, 446–451 (2010).

Sidhoum, W., & Fortas, Z., Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth of semi-woody olive cuttings of the variety “Sigoise” in Algeria. *American Journal of Research Communication* **1**, 244–57, (2013).

Solaiman, M. Z. & Saito, M., Use of sugars by intraradical hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi revealed by radiorespirometry. *New Phytologist* **136**, 533–538 (1997).

Stark, F. *et al.*, Crop-livestock integration determines the agroecological performance of mixed farming systems in Latino-Caribbean farms. *Agronomy for Sustainable Development* **38**, (2018).

Stark, F., Alexandre, R., Diman, C., Fanchone, A., Alexandre, G., & Diman, J. L., Intégration au sein des systèmes de type polyculture élevage en Guadeloupe : première caractérisation. *Rencontre autour des Recherches sur les Ruminants* **17**, 421–424, (2010).

Temple, L., La compétitivité de la diversification agricole en Guadeloupe. (1997).

Van Der Heijden, M. G. A. *et al.* Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* **396**, 69–72 (1998).

Verbruggen, E., van der Heijden, M. G. A., Rillig, M. C. & Kiers, E. T. Mycorrhizal fungal establishment in agricultural soils: factors determining inoculation success. *New Phytologist* **197**, 1104–1109 (2013).

Voets L., de la Providencia I., Fernandez K., Ijdo M., Cranenbrouck S., Declerck S., Extraradical mycelium network of arbuscular mycorrhizal fungi allows fast colonization of seedlings under in vitro conditions. *Mycorrhiza* **19**, 347–356, (2009).

Vos, C. M., Yang, Y., De Coninck, B., & Cammue, B. P. A., Fungal (-like) biocontrol organisms in tomato disease control. *Biological control* **74**, 65–81, (2014).

Walder, F. *et al.* Mycorrhizal Networks: Common Goods of Plants Shared under Unequal Terms of Trade. *Plant Physiology* **159**, 789–797 (2012).

Wezel A., L'agroécologie en France et à l'étranger ?, Journée scientifique du 22/03/2011, (2011).

Wicker, E., Grassart, L., Coranson-Beaudu, R., Mian, D. & Prior, P. Epidemiological evidence for the emergence of a new pathogenic variant of *Ralstonia solanacearum* in Martinique (French West Indies). *Plant Pathology* **58**, 853–861 (2009).

Zhang, B., He, H., Ding, X., Zhang, X., Zhang, X., Yang, X., & Filley, T. R., Soil microbial community dynamics over a maize (*Zea mays* L.) growing season under conventional-and no-tillage practices in a rainfed agroecosystem. *Soil and Tillage Research*, **124**, 153-160, (2012).

Zhu HH., & Yao Q., Localized and systemic increase of phenols in tomato roots induced by *Glomus versiforme* inhibits *Ralstonia solanacearum*. *Journal of Phytopathol* **152**, 537–542, (2004).

Zoubiri, S. & Baaliouamer, A., Potentiality of plants as source of insecticide principles. *Journal of Saudi Chemical Society* **18**, 925–938 (2014).



## VI. ANNEXES

**Annexe 1 : Principales caractéristiques des essais factoriels et des expérimentations-systèmes avec un exemple de problématiques auxquelles ils peuvent répondre**  
(Sources : Havard *et al.* 2017 adapté de Deytieux *et al.* 2012)

	<i>Essai factoriel</i>	<i>Expérimentation-système</i>
<b>Objectif principal de l'étude</b>	Comparer plusieurs modalités d'une technique (ou de quelques techniques combinées), les autres techniques du SdC étant gérées toutes choses égales par ailleurs, afin de comprendre l'effet de cette technique appelée « facteur » sur une ou plusieurs variables.	Évaluer la capacité d'un SdC (ou d'un ITK) à atteindre les objectifs qui lui sont assignés.
<b>Objet de l'étude</b>	Une ou plusieurs modalités d'un ou plusieurs facteurs sur une variable : étude de 3 doses d'azote (facteur 1) et de 3 variétés (facteur 2) sur le rendement (variété étudiée), toutes choses égales par ailleurs. Selon le dispositif, possibilité d'analyser les effets de chaque facteur pris indépendamment et leurs interactions.	Un SdC considéré comme un ensemble cohérent et défini par des objectifs à atteindre et des attentes, piloté par un corpus de règles de décision.
<b>Contenu du protocole</b>	Dispositif expérimental (essai bloc Fisher), randomisation totale...) sur des parcelles de « petites surfaces ».	Dispositif expérimental en « grandes parcelles » (à adapter en fonction de la filière).
	Traitement statistique : croisement des modalités prises par chacun des facteurs étudiés.	Description du système prévisionnel, des stratégies de gestion et de l'ITK de chaque culture, les interventions culturales étant pilotées par des RdD.
	Liste des mesures, observations et enregistrements.	Liste des mesures, observations et enregistrements.
<b>Analyses et interprétations des résultats</b>	Analyse de l'écart entre les différents traitements afin d'estimer <i>a posteriori</i> l'opti-	Analyse des résultats obtenus par les SdC par rapport : - À la faisabilité technique et

	<p>mum de la technique.</p> <p>Comparaison statistique (répétitions et randomisation) entre traitements avec parfois un témoin.</p>	<p>à la cohérence agronomique</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aux attentes du pilote et du responsable de l'expérimentation (résultats techniques et agronomiques)</li> <li>- Aux performances du SdC</li> </ul> <p>Comparaison statistique selon les dispositifs (répétitions et randomisation) avec parfois un témoin.</p>
<b>Critère de qualité expérimentale</b>	<p>Différents critères de qualité selon les traitements statistiques retenus : par exemple puissance statistique de l'essai, précision de l'essai (écart-type résiduel) ...</p>	<p>Capacité à garder la cohérence du SdC lors de la mise en œuvre et maîtrise de l'application des règles de décision.</p>
	<p>Maîtrise des hétérogénéités du milieu et des facteurs non étudiés afin de garantir le « toutes choses étant égales par ailleurs ».</p>	<p>Gestion et prises de décisions indépendantes entre SdC de manière à garantir la logique et la cohérence interne de chacun (cas d'un dispositif comprenant plusieurs SdC).</p>
		<p>Traçabilité de l'évolution du SdC, des règles de décision, des stratégies voire des objectifs.</p> <p>Explication des décisions prises, des résultats agronomiques et techniques obtenus, des performances et de l'évolution des états de l'agrosystème.</p> <p>Évaluation de la significativité des résultats (répétitions et contrôle statistique, recours à la modélisation).</p>
<b>Regroupement d'essais/expérimentations</b>	<p>Regroupement d'essais structurés avec un protocole unique et des méthodes communes (traitements à étudier, mesures et observations, méthodes statistiques), adaptés localement si nécessaire.</p>	<p>Regroupement d'expérimentations structurées autour d'objectifs et stratégies communs, d'une liste minimale d'observations et mesures pour chaque objectif assigné au SdC.</p>

		<p>Les SdC à expérimenter sont définis localement en fonction du contexte et des moyens ; les règles de décision et leur application pour atteindre les objectifs sont propres à chaque expérimentation ; certaines règles de décision peuvent être communes à différentes expérimentations.</p>
<p><b>Exemple de problématique en cultures légumières</b></p>	<p>Une diminution de la stabilité du sol des parcelles où sont cultivés des légumes en agriculture biologique est constatée, à cause d'une minéralisation rapide des amendements organiques. Parmi les amendements organiques disponibles, lesquels permettent d'améliorer la stabilité du sol sur le long terme ? Des modalités combinant des produits, des doses d'amendements organiques à différentes dates sont testées.</p>	<p>Une diminution de la stabilité du sol des parcelles où sont cultivés des légumes en agriculture biologique est observée. Comment maintenir, voire augmenter, le taux de matière organique (MO) des sols et avoir une marge nette de 10 000 €/ha ? Un SdC combinant une réduction du travail du sol, un couvert végétal permanent, des apports de MO, est testé.</p>

**Annexe 2 : Caractéristiques météorologiques (A), environnementales et physico-chimiques (B) et techniques (C) des SdC de Duclos et de Godet expérimentés dans le cadre de l'expérimentation-systèmes**  
**Les données en (A) sont celles relevées durant les temps d'expérimentation respectifs des SdC. Les données en (B) et en (C) se rapportent aux parcelles respectives des SdC**

<b>(A)</b>	<b><i>Duclos</i></b>	<b><i>Godet</i></b>
Moyenne des précipitations par jour (en mm)	5,07 (± 8,09)	1,91 (± 3,79)
Moyenne d'humidité de l'air par jour (en %)	87,00 (± 3,59)	76,66 (± 4,33)
Moyenne des températures par jour (en °C)	23,27 (± 0,57)	27,94 (± 0,72)
Vitesse moyenne du vent par jour (en m/sec)	1,41 (± 0,31)	2,98 (± 0,74)

<b>(B)</b>	<b><i>Duclos</i></b>	<b><i>Godet</i></b>
Pente de la parcelle	Nord-sud	Est-ouest
Type de sol	Ferrasols à halloysite friables et fluvisols	Vertisols et sols vertiques à smectite Ca, Argilo-calcaire

<b>(C)</b>	<b><i>Duclos</i></b>	<b><i>Godet</i></b>
Surface de la parcelle	60*23 m soit 1380 m <sup>2</sup>	13*50 m soit 650 m <sup>2</sup>
Période de culture (du semis au dernier jour de récolte)	Décembre-Avril	Mars-Août
Nombre de plants de tomates	1010	638

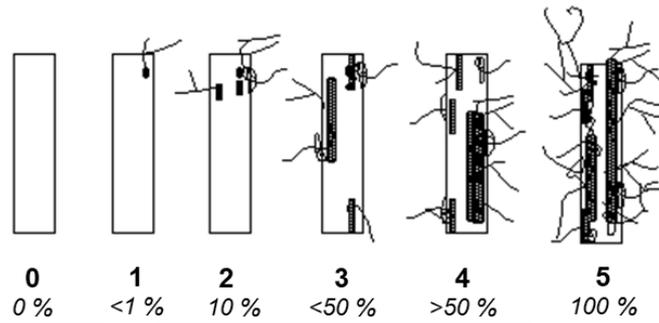
Annexe 3 : Paire de folioles recourbée indiquant l'apparition du flétrissement bactérien sur un plant de tomate  
Photographie prise sur la parcelle expérimentale du Domaine de Godet (Source : A. Cheliout)



Annexe 4 : Protocole d'observation et de notation de l'estimation de la mycorhization de systèmes racinaires  
Ce protocole dérive de la méthode de Trouvelot (Trouvelot *et al.* 1986). Les notes de densité de colonisation varient de 0 à 5. Les notes de qualité arbusculaire varient de 0 à 3.

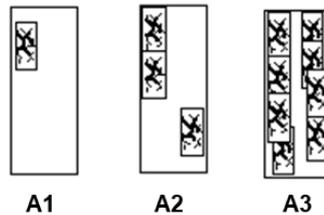
<b>1. Prélèvement</b>	<b>2. Coloration</b>	<b>3. Préparation des lames</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Prélèvements du système racinaire</li><li>• Lavage à l'eau courante sur tamis</li><li>• Section de fragments de racines de 1 à 10 cm à divers endroits</li><li>• Conservation dans de l'alcool à 70° à 5°C</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Incubation des racines dans une solution de soude à 10 % pendant 25 minutes à 80°C</li><li>• Lavage à l'eau courante</li><li>• Incubation des racines dans du bleu de méthylène pendant 10 minutes à 80°C</li><li>• Lavage à l'eau courante</li><li>• Conservation dans de l'eau légèrement acidifiée (avec une goutte de vinaigre) à 5°C</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Section de fragments d'environ 1 cm de racelles et jeunes racines</li><li>• Disposition des fragments entre lame et lamelle avec une goutte d'eau ou de glycérol</li></ul>

## COLONISATION MYCORHIZIENNE DE NIVEAU 0 À 5



## ABONDANCE ARBUSCULAIRE DE NIVEAU 0 À 2

Aucun : A0  
Peu : A1  
Fréquent : A2  
Abondant : A3



### Annexe 5 : Diaporama de l'atelier de discussion sur les pratiques agroécologiques et d'échanges sur l'expérimentation-système

L'atelier devait se dérouler le mardi 17/03/2020 au Domaine de Duclos mais a dû être annulé

Projet AgroEcoTom 1

Mardi 17 mars 2020 – Salle Ridet

Atelier de discussion autour des pratiques agricoles et présentation d'une parcelle expérimentale maraîchère

Bienvenue

Présentateurs :  
Amélie CHELIOUT, Jean-Louis DIMAN, Marie CHAVE,  
Lina ALIDOR, David HAMMOUYA, Maeva HIRCH

INRAE UE PEYI  
UR ASTRO agroParisTech

2

### Déroulé de l'après-midi

14h Échanges sur vos pratiques

15h30 Visite de la parcelle expérimentale maraîchère

16h15 Retour en salle, avis sur l'expérimentation

17h Fin de l'atelier, collation

Atelier de discussion autour des pratiques agricoles et présentation d'une parcelle expérimentale maraîchère  
Date - Domaine de Godet

3

### Présentation des participants

*Dans quelle commune se trouve votre exploitation ?*

*Depuis combien de temps êtes-vous agriculteur ?*

*Quelles sont vos principales productions ?*

Atelier de discussion autour des pratiques agricoles et présentation d'une parcelle expérimentale maraîchère  
Date - Domaine de Godet

4

### L'agroécologie, une alternative à l'agriculture conventionnelle

*Qui pratique l'agroécologie ?*

Atelier de discussion autour des pratiques agricoles et présentation d'une parcelle expérimentale maraîchère  
Date - Domaine de Godet

### Tableau des pratiques agroécologiques



### Les mycorhizes...

*Qui d'entre vous connaît les mycorhizes ?*

*Essayez-vous de les développer dans vos exploitations ?*

Atelier de discussion autour des pratiques agricoles et présentation d'une parcelle expérimentale maraîchère  
Date - Domaine de Godet

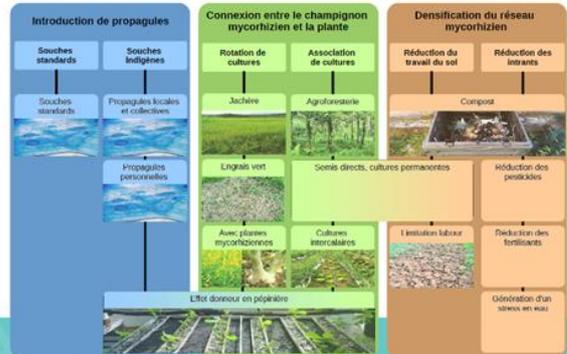
### Présentation des mycorhizes

<https://www.youtube.com/watch?v=VdpsYmo1rOI>



Atelier de discussion autour des pratiques agricoles et présentation d'une parcelle expérimentale maraîchère  
Date - Domaine de Godet

### Pratiques agroécologiques qui favorisent les mycorhizes



### Présentation des producteurs de tomates

*Qui produit des tomates ?*

*Depuis combien de temps ?*

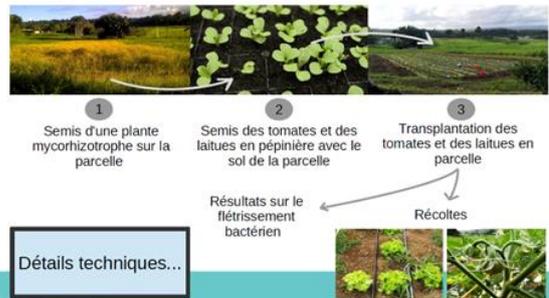
*Quelle est la date de vos semis ?*

*Avez-vous subi du flétrissement ?*

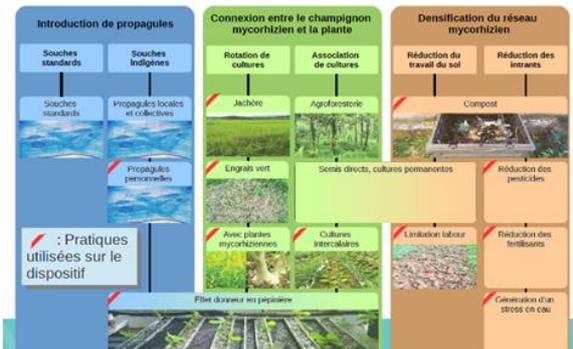
Atelier de discussion autour des pratiques agricoles et présentation d'une parcelle expérimentale maraîchère  
Date - Domaine de Godet

### Dispositif expérimental agroécologique

Origine du dispositif : thèse de Coraline Moulin



### Tableau des pratiques agroécologiques qui favorisent les mycorhizes



### Visite de la parcelle

*Avis et discussion autour de la parcelle*

Atelier de discussion autour des pratiques agricoles et présentation d'une parcelle expérimentale maraîchère  
Date - Domaine de Godet

## Pour les producteurs de tomates

*Proposition d'un suivi de croissance et de production de vos plants de tomates*

## Pour les autres

*Prochain atelier en avril, stade fruits mûrs*

Atelier de discussion autour des pratiques agricoles et présentation d'une parcelle expérimentale maraîchère  
Date : Domaine de Godet

Merci d'être venus !

INRAE

Présentateurs :  
Amélie CHELIOUT, Jean-Louis DIMAN, Marie CHAVE,  
Lina ALIDOR, David HAMMOUYA, Maeva HIRCH

UE PEYI  
UR ASTRO  
AgroParisTech

### Annexe 6 : Détails de la méthode de Bardet (2018) pour le calcul du degré d'écologisation des SdC des agriculteurs interrogés producteurs de tomates

« Chaque indicateur correspond à plusieurs pratiques, et une pratique reçoit une note en 1 et 10 basée sur une grille de lecture ESR. Nous avons décidé qu'une note de 1 correspondait à Conventionnel, 3 à Efficience, 6 à Substitution et 10 à Agroécologie. De Conventionnel à Efficient il y a 2 points, car les changements techniques sont relativement simples à mettre en place au sein d'un mode de gestion conventionnel. D'Efficient à Substitution, la note double car la substitution des intrants et la modification des pratiques entraînent des changements techniques plus importants. Enfin de Substitution à Reconception il y a 4 points, car la mise en place d'un système agroécologique est une décision et des changements à long terme, et la mise en œuvre technique passe par de nombreuses pratiques. La modalité '% substitution' est utilisée lorsque les agriculteurs utilisent une combinaison d'intrants conventionnels et d'intrants biologiques ou naturels. » (Bardet 2018)

### Annexe 7 : Indicateurs et pratiques associées permettant de représenter le degré d'écologisation des SdC de tomates des 9 agriculteurs interrogés (Source : Bardet 2018)

N°	Indicateur et ses pratiques	Valeur de point
1	<b>Gestion de l'enherbement / Réduction des herbicides</b>	
	Produits conventionnels	>3 passages : 1 point, 2 passages : 2 points, 1 passage : 3 points
	Sol nu, désherbé fréquemment	1 point
	Désherbage seulement à la mise en culture et à la période critique puis enherbement	6 points
	Réduction spatiale ou quantitative des applications (que contours, ou interrangs)	2 point
	Enherbement de la parcelle et des contours pendant le cycle de culture	2 points

	Solarisation (bachage/aération)	4 points
	Désherbage mécanique, thermique ou manuel seulement	6 points
	Couverture végétale (semée, culture couvrante)	1 point par 10% de surface couverte
	Paillage (mulch, copeaux, paille)	1 point par 10% de surface couverte
	Paillage plastique	-1 point
	Destruction chimique des couverts herbeux	-1 point
<b>2</b>	<b>Gestion des ravageurs et des maladies / Réduction des pesticides</b>	
	Produits conventionnels	>3 passages : 1 point, 2 passages : 2 points, 1 passage : 3 points
	Produits biologiques	100% substitution : 6 points, 50% substitution : 4 points, <50% substitution : 2 points
	Traitements localisés (aux foyers d'infestation)	1 point
	Destruction manuelle des ravageurs ou des inoculum	1 point
	Utilisation de produits naturels (cendres, purin)	3 points
	Implantation de plantes attractives ou répulsives	3 points
	Lutte biologique par introduction ou par conservation	3 points
	Associations de variétés et de porte-greffe résistants	3 points
	Jachère et pré-cultures de plantes à propriété assainissantes ou allélopathiques	3 points
	Exploitation autonome en intrants extérieurs	7 points
	Aucun passage de produits chimiques ou biologiques	7 points
<b>3</b>	<b>Fertilisation</b>	
	Engrais minéraux	>3 passages : 1 point, 2 passages : 2 points, 1 passage : 3 points
	Engrais organiques	100% substitution : 6 points, 50% substitution : 4 points, <50% substitution : 2 points
	Application d'amendement organique	3 points
	Analyse de sol préalable	2 points
	Apport oligo-éléments, de biostimulants, etc.	2 points
	Cultures non fertilisées	10 points
	Exploitation autonome en intrants extérieurs	10 points
	Travail du sol profond sur plusieurs passages	-1 point

Mise en culture après une jachère	>1 an : 3 points, entre 6 mois et 1 an, entre 1 et 6 mois : 1 points
Restitution des résidus de culture au sol pour amender le sol	3 points
Compost/fumier produits sur l'exploitation	6 points
<b>4 Travail du sol</b>	
Labour profond avec retournement du sol à chaque début de cycle :	1 point
Réduction du travail du sol (en fréquence ou en profondeur)	3 points
Technique du non-labour ou travail manuel superficiel seulement	10 points
<b>5 Rotation de culture</b>	
Nombre d'espèces dans la succession	au moins 1 : 1 point, au moins 2 : 2 points, au moins 3 : 3 points
Si inclusion d'une période de jachère	>1 ans : 3 points, de 6 mois à 1 an : 2 points, jachère courte en interculture : 1 point
Suite de 2 espèces de la même famille	-1 point
<b>6 Diversité Cultivée</b>	
Nombre d'espèces cultivées	1 point par espèce
Nombre de variétés cultivées	1 point pour 2 variétés
Espèces présentes sur la parcelle et la bordure (plantes de service, arbres hors haies)	1 point
Si présence significative (+10%) de légumineuses	2 points
Association de culture	4 points
Pas de présence de biodiversité associée significative	-1 point
Haies plurispécifiques en contour de parcelle (pois d'angle, bananes plantains, cocotiers, espèces florales pérennes)	3 points

**Annexe 8 : Liste des interventions réalisées sur le SdC expérimental du Domaine de Duclos entre décembre 2019 et avril 2020, leur durée et leur main d'œuvre traduites en charge de travail (A) et coût du matériel non réutilisable utilisé sur le même SdC (B)**

**(A)**

<b>Interventions</b>	<b>Durée</b>	<b>Main d'œuvre</b>	<b>Charge de travail</b>
Labour	1 h	1 personne	1 h
Désherbage mécanique	30 min	1 personne	2 h
	30 min	1 personne	
	30 min	1 personne	
	30 min	1 personne	
Désherbage manuel	4 h	2 personnes	22 h
	2 h	2 personnes	
	2 h	2 personnes	
	4 h	3 personnes	
Installation du paillage kraft	4 h	6 personnes	24 h
Épandage de fumier	2 h	2 personnes	52 h
	4 h	3 personnes	
	18 h	2 personnes	
Préparation et épandage du vermi-compost	4 h	2 personnes	9 h
	1 h	1 personne	
Fauchage du crotalaire en pré-culture	2 h	1 personne	2 h
Application des produits de BC	30 min	1 personne	1 h 15
	30 min	1 personne	
	15 min	1 personne	
Installation du système d'irrigation	1 h	3 personnes	8 h
	2 h	2 personnes	
	1 h	1 personne	
Traçage des lignes	3 h	2 personnes	6 h
Semis et plantation en plein-champ	30 min	1 personne	140 h 30
	7 h	1 personne	
	5 h	2 personnes	
	10 h	3 personnes	
	3 h	2 personnes	
	4 h	14 personnes	
	4 h	7 personnes	

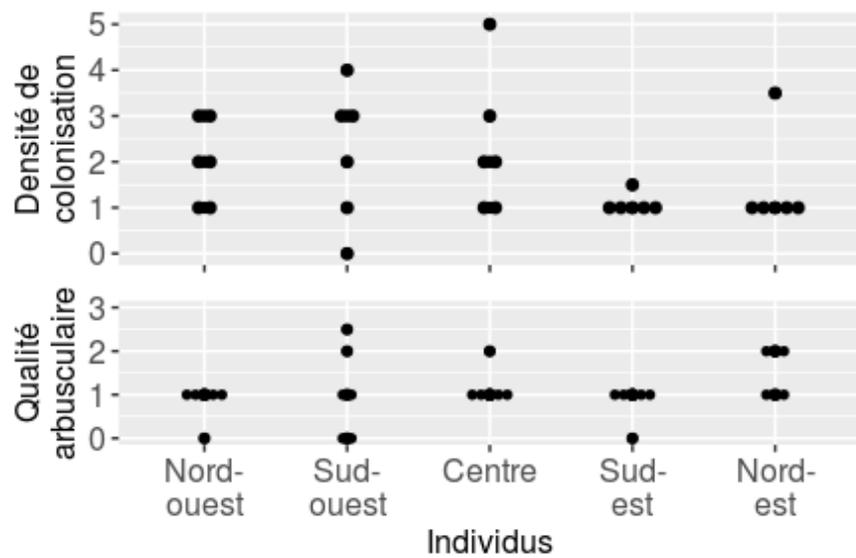
	1 h	2 personne	
	1 h	1 personne	
Tuteurage	2 h	2 personnes	5 h
	1 h	1 personne	
Taillage	1 h 30	2 personnes	3 h
	2 h	3 personnes	
Racourage	1 h	1 personne	9 h
	1 h	1 personne	
	1 h	1 personne	
Arrachage des plants flétris	1 h	2 personnes	
	1 h	2 personnes	8 h
	2 h	2 personnes	
	2 h	2 personnes	
	1 h	1 personne	
	2 h	3 personnes	
	3 h	1 personne	
	1 h	1 personne	
	3 h	2 personnes	
Récolte	3 h	2 personnes	48 h 15
	15 min	2 personnes	
	3 h	1 personne	
	3 h	1 personne	
	3 h	1 personne	
	3 h	1 personne	
	3 h	1 personne	
	3 h	1 personne	
	3 h	1 personne	
Total			341 h

**(B)**

<b>Matériel</b>	<b>Coût</b>
Graines de tomates	301,21 €TTC
Graines de salades	280 €TTC (0,028 €TTC/graines)
Graines de basilic	4,90 €TTC
Terreau	279,75 €TTC (13,98 €TTC/sac de terreau)
Gaine d'irrigation	255,05 €
Sachets	23,5 € (0,05€/sachet)
<b>Total</b>	<b>1144,41 €</b>

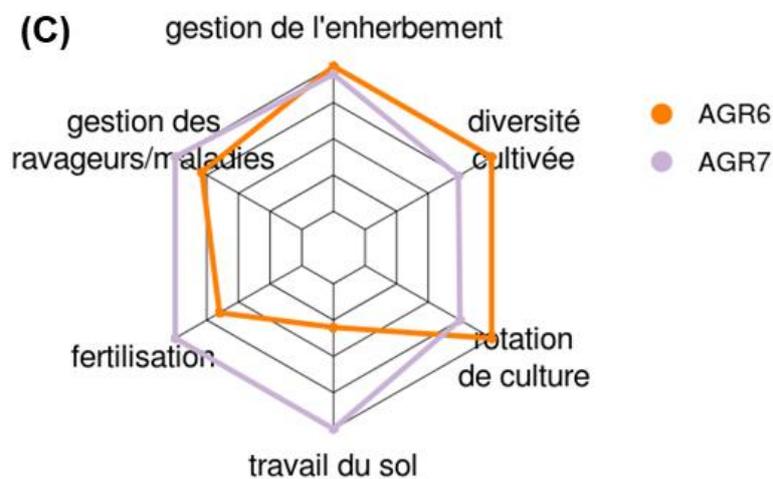
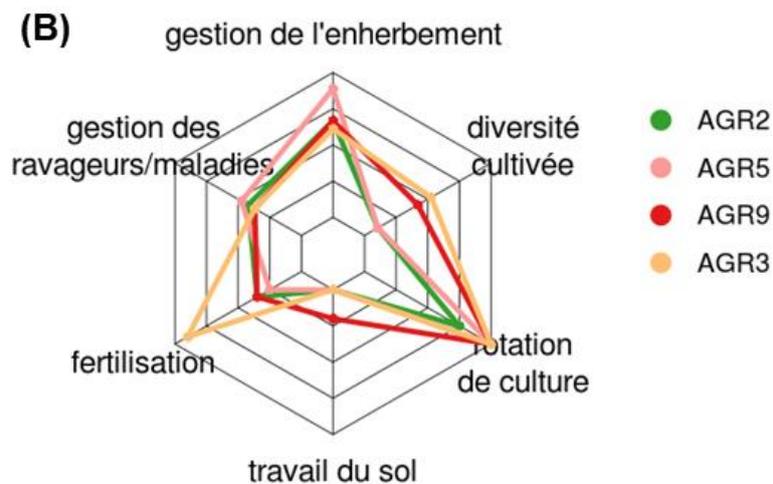
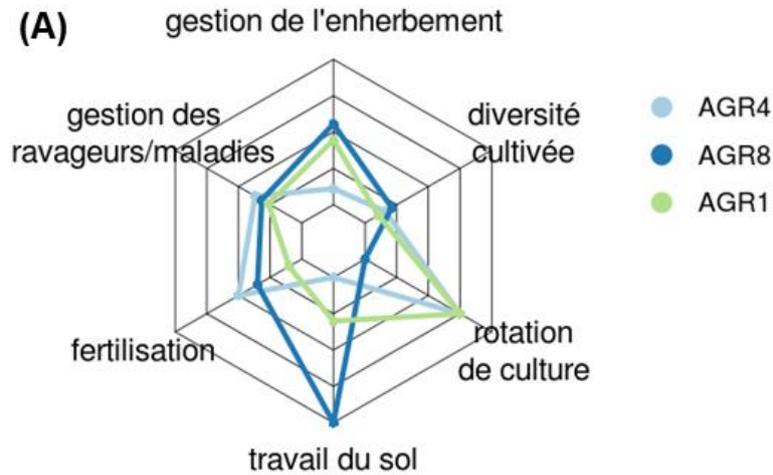
**Annexe 9 : Densité de colonisation et qualité arbusculaire des systèmes racinaires des 5 plants de tomates prélevés sur la parcelle expérimentale du Domaine de Godet**

Les plants sont nommés par leur position sur la bande où ils ont été prélevés. Chaque point correspond au degré estimé d'un fragment racinaire observé, chaque plant est représenté par 6 fragments.



**Annexe 10 : Diagrammes en radars montrant les points faibles et les points forts des itinéraires techniques des 9 agriculteurs producteurs de tomates interrogés**

Les agriculteurs sont regroupés en 3 groupes : les agriculteurs appliquant certaines pratiques agroécologiques involontairement sont en (A), les agriculteurs appliquant des pratiques agroécologiques et non agroécologiques sont en (B) et les agriculteurs appliquant seulement des pratiques agroécologiques sont en (C). Les indicateurs comportent les mêmes échelles de valeurs sur les 3 diagrammes (Source : A. Cheliout)



**Annexe 11 : Liste détaillée des produits et des techniques utilisés par les 9 agriculteurs interrogés sur leurs SdC de tomates**  
(Source : A. Cheliout)

Pratiques	AG R1	AG R2	AG R3	AG R4	AG R5	AG R6	AG R7	AG R8	AG R9
<b>Gestion de l'ennherbement / Réduction des herbicides</b>									
Estern (herbicide)				X					
Roundup (herbicide)				X					
Herbicides non nommés	X		X					X	
Désherbage manuel	X		X		X		X	X	X
Désherbage mécanique		X	X		X	X	X		
Paillage organique			X			X			
<b>Gestion des ravageurs et des maladies / Réduction des pesticides</b>									
Affirm (traitement phytosanitaire chimique)	X								
Fongicide	X								
Traitements phytosanitaires chimiques non nommés		X		X	X				
Bacivert/Dipel (produit de BC)	X	X		X				X	
Huile blanche (produit de BC)		X	X						X
Huile de neem/purin de <i>vepele</i> (produit de BC)					X	X			X
Purin d'ortie (produit de BC)					X				
Piment broyé (produit de BC)						X			
Trichoderma (produit de BC)							X		
Limocide (produit de BC)									X
Produits de BC non nommés						X			
Destruction manuelle des inoculum		X	X						X
Cives en contour de parcelle (plante mycorrhizotrophe)							X		
Conservation de la crotalaire lors des désherbages (plante mycorrhizotrophe)							X		
<b>Fertilisation</b>									
DAP (engrais chimique)	X								
Anse 32 (engrais chimique)	X								
Potasse (engrais chimique)	X								
Nitrate de calcium (engrais chimique)	X								
Engrais chimiques non nommés		X		X	X			X	
Bouilli bordelaise (engrais accepté en agriculture biologique)					X				
Bocashi (fertilisant organique)							X		
Agri2000 (fertilisant organique)						X			
Italpolina (fertilisant organique)							X		X
Sobac (fertilisant organique)							X		
Germiflore (fertilisant organique)									X
Produit composé de bagasse, déchets verts et résidus de stations d'épuration						X			
Cendre de canne de 6 cycles						X			
Compost			X						
Vermi-compost							X		
Fiente de poules de l'exploitation			X				X		
Fiente de poules donnée gratuitement				X		X			
Jachère d'environ 3 mois			X		X				
Jachère d'environ 1 mois						X			X

Enfouissement de la culture précédente	X	X			X	X		
<b>Travail du sol</b>								
Pas de travail du sol							X	X
Labour manuel	X						X	
Labour peu profond	X	X	X			X	X	
Labour profond		X	X	X	X			X
Labour mécanique	X	X	X		X	X		
<b>Rotation de culture</b>								
Pas de rotation de culture		X						X
Culture successive à l'igname	X							
Culture successive au giraumon			X					
Culture successive à la patate douce				X				
Culture successive à la pastèque					X			
Culture successive à la canne à sucre						X		
Culture successive à la courgette								X
Culture successive à une culture non nommée							X	
<b>Diversité Cultivée</b>								
Mono-culture	X	X		X	X			X
Association de la tomate avec de la banane			X					
Association de la tomate avec du concombre							X	
Association de la tomate avec de la maracuja								X
Association de la tomate avec des cives, du thym, du persil et du basilic						X		
Haie de pois d'angole en contour de parcelle						X		
Haie de maïs et de cives en contour de parcelle							X	

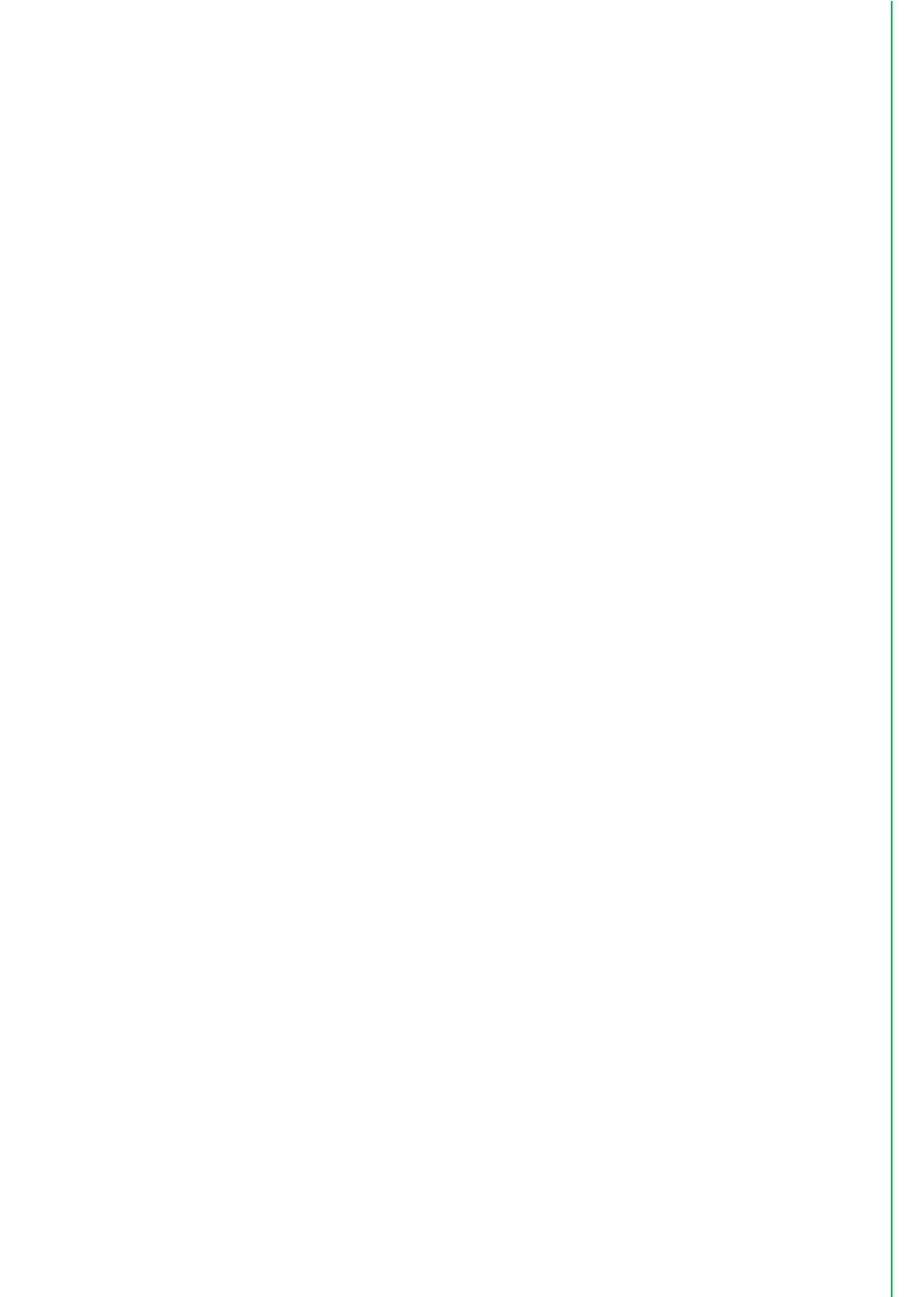
**Annexe 12 : Liste des freins à la mise en place de pratiques agroécologiques énoncés par les 9 agriculteurs producteurs de tomates interrogés, explicités pour chacune des pratiques utilisées dans l'expérimentation-système (Source : A. Cheliout)**

<b>Freins à l'association de culture</b>	<p>Les cultures mises en association doivent valider plusieurs obligations : même demande en eau (ce qui n'est pas le cas de la tomate et de la salade, d'après les agriculteurs) et en fertilisants, même entretien ou développement qui ne gêne pas l'entretien (alors que la tomate nécessite beaucoup d'entretien), pas de mise en compétition (les agriculteurs craignent que le maïs fasse de l'ombre à la tomate et que le cosmos, le doliprane et le gros thym l'envahissent), pas d'attraction des ravageurs, et des périodes de récoltes qui optimisent les périodes de vente. En somme, prendre en compte les besoins et caractéristiques de chaque culture complexifient tout le processus de culture qui ne plaisent pas à certains agriculteurs. « <i>L'association de cultures, c'est possible mais c'est compliqué quand même</i> » (AGR9) ; « <i>moi je pense que l'association de culture, c'est très théorique</i> » (AGR5).</p> <p>Le fait de céder de l'espace en pépinière ou au champ pour des plantes autres que la culture principale est mal perçu par certains agriculteurs qui y voient une baisse de rentabilité.</p>
--	--

<b>Frein à la réduction du travail du sol</b>	Pour faire des sillons, les agriculteurs disent nécessiter de faire du labour profond.
<b>Freins à l'emploi de produits de biocontrôle</b>	<p>Certains agriculteurs perçoivent les produits de BC comme aussi nocifs que les produits conventionnels.</p> <p>Certains agriculteurs perçoivent les produits de BC comme moins efficaces que les produits conventionnels (AGR1 a vu un ami perdre la totalité de sa production à cause d'une mauvaise gestion des ravageurs par les produits de BC, « <i>L'agriculture biologique, ça peut être très productif, mais aussi très risqué, c'est-à-dire que l'on peut perdre des SdC entiers</i> » AGR9). En outre, certains agriculteurs pensent que les produits de BC dépendent trop des conditions climatiques et des types de sol.</p> <p>Les produits de BC sont plus chers que des produits conventionnels. L'offre commerciale de produits de BC est trop faible. Les SICA et les coopératives vendent des produits conventionnels à des prix compétitifs.</p> <p>Les produits de BC sont parfois longs à préparer, et ce temps de préparation augmente proportionnellement avec à la taille des parcelles.</p>
<b>Freins à la réduction de l'utilisation d'herbicides</b>	<p>Le désherbage manuel nécessite beaucoup de main d'œuvre. Ce coût en main d'œuvre est supérieur au coût financier de l'achat d'herbicides.</p> <p>Le paillage de papier kraft est long à poser et se conserve mal.</p>
<b>Freins à l'emploi d'amendements organiques (fumier, compost)</b>	<p>Le transport et l'application d'amendement nécessite du matériel parfois non disponible (e.g. tracteurs, tractopelles, épandeurs) et prend du temps.</p> <p>Les quantités à utiliser sont difficilement accessibles et elles augmentent proportionnellement avec la taille des parcelles.</p> <p>Le vermi-compost est long à préparer.</p>

**Annexe 13 : Liste des leviers à la mise en place de pratiques agroécologiques soulevés par les 9 agriculteurs producteurs de tomates interrogés, explicités pour chacune des pratiques utilisées dans l'expérimentation-système**  
(Source : A. Cheliout)

<p><b>Leviers à l'application d'amendements organiques</b></p>	<p>La visite de SdC à Cuba améliore les connaissances sur cette pratique et offre des exemples d'application.</p> <p>Les pratiques anciennes offrent une preuve de l'efficacité de cette pratique.</p> <p>Les agriculteurs ont la possibilité de se mettre en contact avec des éleveurs et peuvent ainsi récupérer du fumier ou de la fiente gratuitement.</p> <p>Les amendements organiques nécessitent peu d'applications par rapport aux fertilisants conventionnels.</p> <p>Le purin a plusieurs avantages : il fertilise le sol et évite l'enherbement.</p> <p>Le vermi-compost a plusieurs avantages : il fertilise le sol et régule les ravageurs.</p>
<p><b>Leviers à l'utilisation de produits de BC</b></p>	<p>La visite de SdC à Cuba améliore les connaissances sur cette pratique et offre des exemples d'application de certains produits.</p> <p>Les pratiques anciennes offrent une preuve de l'efficacité de certains produits.</p> <p>Les produits de BC sont parfois plus efficaces que les produits conventionnels, ils nécessitent donc moins d'applications.</p>
<p><b>Leviers à l'utilisation de paillage</b></p>	<p>Le paillage a plusieurs avantages : il évite l'enherbement, fertilise le sol et conserve l'eau.</p> <p>Les agriculteurs ont la possibilité de se mettre en contact avec des producteurs de cannes à sucre pour récupérer de la bagasse.</p>
<p><b>Leviers à l'association de cultures</b></p>	<p>La visite de SdC à Cuba améliore les connaissances sur cette pratique et offre des exemples d'application.</p> <p>L'association de cultures peut avoir plusieurs avantages : elle peut éviter l'enherbement, fertiliser le sol, réguler les bioagresseurs, attirer les mycorhizes et diversifier l'offre commerciale.</p>



### **Résumé :**

Le projet AgroEcoTom vise à promouvoir des stratégies agroécologiques innovantes mobilisant les régulations biologiques pour faire face au flétrissement bactérien qui touche la production de tomate dans les Antilles. Pour y répondre, le Centre Inrae Antilles-Guyane expérimente des Systèmes de Culture (SdC) innovants co-conçus avec des producteurs du territoire dans le cadre d'expérimentations-systèmes. La participation des agriculteurs dans ces démarches permet de développer des SdC à la fois performants sur le plan agroécologique et réalisables sur le plan technique dans les exploitations. Dans cette étude, nous analysons une expérimentation-système en Guadeloupe basée sur la culture de la tomate afin de tester un ensemble de pratiques agroécologiques favorisant la mycorrhization. En effet, il a été prouvé que les Champignons Mycorrhiziens à Arbuscules (CMA) indigènes sont un moyen efficace de lutte biologique contre l'impact du flétrissement bactérien. Ce mémoire propose une analyse croisée des données de l'expérimentation et d'enquêtes réalisées auprès d'agriculteurs producteurs de tomates pour répondre à la problématique : quels sont les freins et les leviers à la mise en place de pratiques agroécologiques qui favorisent la mycorrhization ? Le diagramme Efficience-Substitution-Reconception (ESR) a été utilisé pour évaluer le degré d'écologisation des SdC de tomates des agriculteurs interrogés. Les freins mis en évidence sont de l'ordre du manque de connaissances, techniques et financiers. Les leviers sont inhérents aux préoccupations environnementales et de santé publique des agriculteurs, aux moyens de diffusion des connaissances mis à disposition en Guadeloupe, aux interactions avec un pays proche exemplaire en matière d'agroécologie et à l'utilisation maintenue de pratiques anciennes. Des leviers de rentabilité et institutionnels sont également révélés. Concernant l'expérimentation-système, cette étude montre la fragilité économique d'un des SdC testés, notamment à cause du flétrissement bactérien, et elle soulève ainsi de nouvelles questions de recherche. Elle propose des améliorations sur le plan agrotechnique issues de l'hybridation des connaissances scientifiques et de l'expertise des agriculteurs. L'ensemble de ces éléments permettra à Inrae d'avancer dans ses travaux de recherche sur le flétrissement bactérien et de contribuer à faire évoluer la transition agroécologique de ces agrosystèmes en Guadeloupe.

**Mots clés :** *expérimentation-système, système de culture innovant, pratiques agroécologiques, mycorrhization, tomates, flétrissement bactérien, Antilles*

### **Abstract :**

The AgroEcoTom project aims to promote innovative agroecological strategies mobilizing biological regulations to deal with bacterial wilt in tomatoes in the West Indies. To meet this need, Inrae *Centre Antilles-Guyane* designs and tests innovative cropping systems within field experiments. The participation of farmers in these processes enables to develop cropping systems that are both agroecologically efficient and technologically feasible on farms. In this study, we analyze a field experiment in Guadeloupe based on tomato crop in order to test a set of agroecological practices promoting mycorrhization. Native arbuscular mycorrhizal fungi have been shown to be an effective biological regulation for the bacterial wilt. This thesis provides a cross-analysis of experimental data and surveys of tomato farmers, in order to answer the following question: what are the brakes and levers to the implementation of agroecological practices that promote mycorrhization? The efficiency-substitution-redesign diagram was used to assess the degree of agroecology of the farmers' tomato cropping systems. The brakes highlighted are technical, financial, and linked to the lack of knowledge. The levers are inherent to the environmental and public health concerns of farmers, to the available means of knowledge dissemination in Guadeloupe, to the interactions with a close precursor country of agroecology and to the continued use of old practices. Profitability and institutional levers are also revealed. As regards the field experiment, this study shows the economic fragility of one of the cropping systems tested, notably due to bacterial wilt, and thus raises new research questions. It proposes agrotechnical improvements resulting from the hybridization of scientific knowledge and farmers' expertise. All of these elements will enable Inrae to progress in its research works on bacterial wilt and to push forward the agroecological transition in Guadeloupe.

**Keywords:** *field experiment, innovative cropping system, agroecological practices, mycorrhization, tomatoes, bacterial wilt, West Indies*