



Mise en place de la bâche de solarisation pour lutter contre le flétrissement bactérien (*Ralstonia solanacearum*) sur aubergine.



PRESENTATION DES RESULTATS DE L'ESSAI

Expérimentation mise en place d'octobre 2014 à juin 2015
Sur la parcelle de démonstration du CFPPA, Crique Boulanger, CACAO
par Florent GARCIA-VILLAR (CFPPA Est), Eve GENTIL (CFPPA Est), Marianne DUNCOMBES (Chambre d'agriculture), William MONTAIGNE (Solicaz) et Anaïs LAMANTIA (DAAF-SALIM)

Suivi réalisé par :
Florent GARCIA-VILLAR, Eve GENTIL et Anaïs LAMANTIA

Rapport réalisé par :
Anaïs LAMANTIA et William MONTAIGNE, relecture Florent GARCIA-VILLAR et Sophie QUINQUENEL (Chambre d'agriculture)

1. Protocole expérimental

Le protocole détaillé se trouve en Annexe 1

1.1 Historique de l'expérimentation

Dans le cadre des actions d'expérimentations engagées dans le cadre du plan EcoPhyto DOM, l'unité Offre et Qualité Alimentaire du Service de l'alimentation à la DAAF a souhaité mettre en place avec le CFPPA, la Chambre d'agriculture et Solicaz un essai de solarisation pour lutter contre le flétrissement bactérien (*Ralstonia solanacearum*) sur aubergine. L'objectif était de trouver un moyen de lutte efficace face à cette bactérie pour laquelle aucun traitement phytosanitaire n'existe. Différents essais ont déjà été réalisés sur ce sujet, sous serre et en plein champs, avec des bâches plus épaisses (récupération de bâches de serre et film de solarisation de 70 µm). L'objectif est ici de tester l'efficacité d'une bâche de solarisation plus fine (35 µm) et donc moins chère.

En parallèle, Solicaz a réalisé un essai dans le cadre du projet "Guyafer" (rapport disponible sur Guy@gri) sur la mise en place de différentes fertilisations (fertilisation chimique, Terra Preta, compost + fumier). Sur cet essai, 2 types de fertilisation ont été testées : fertilisation chimique et compost + fumier.

1.2 Les hypothèses de départ

Dans la continuité des précédents essais réalisés¹, les hypothèses de départ sont :

- la bâche de solarisation de 35 µm est efficace pour lutter contre le flétrissement bactérien en plein champs à Cacao ;
- la fertilisation à base de compost + fumier permet d'obtenir une meilleure vigueur des aubergines par rapport à la fertilisation chimique pratiquée habituellement par les agriculteurs.

1.3 Le dispositif expérimental

L'essai comprend 3 répétitions de 4 modalités (plan et détail du dispositif expérimental en annexes 1 et 2) :

- solarisation et fertilisation compost + fumier
- solarisation et fertilisation habituelle des agriculteurs (chimique)
- pas de solarisation et fertilisation compost + fumier
- pas de solarisation et fertilisation habituelle des agriculteurs (témoin)

La fertilisation habituelle des agriculteurs (à dire d'expert) correspond à : Engrais 12-12-24 (20 g/plant à la plantation + 20 g/plant en début de floraison) - calcaire broyé (130 g/m linéaire sur le rang) - Fumier en granulés 2.1-1.6-2 (240 g/m linéaire sur le rang).

La fertilisation compost + fumier correspond à : calcaire broyé (260 g/m linéaire sur toute la largeur du billon) - Fumier en granulés 2.1-1.6-2 (480 g/m linéaire sur toute la largeur du billon) - Compost de la station de Matoury (3/4 de brouette/m linéaire sur tout le billon, en surface, environ 10 cm d'épaisseur).

¹ - **Efficacité de la bâche de solarisation pour la maîtrise du flétrissement bactérien au sein d'une culture d'aubergines.** SPV Guyane - PETITE Aubérie, 2011.

- **Projet "Itinéraires techniques de cultures sous abris en vue d'améliorer et de diminuer l'utilisation d'intrants" - Compte-rendu des résultats techniques et économiques.** Agronomie Servies / APAPAG - DEMADE-PELLORCE Laura, SANCHEZ Gilles, VANDAELE Rémi, 2014.

La bâche de solarisation est déposée sur 2 billons et l'inter-rang et laissée pendant 45 jours.



[Photos 1 et 2 : Bâche de solarisation sur les 2 billons \(20/10/14\) et parcelle après plantation des aubergines \(04/12/14\) \(photos DAAF\)](#)

1.4 Les paramètres suivis

- Température du sol lors de la solarisation : Des thermo-boutons sont enterrés à 20 - 30 cm de profondeur sous la bâche de solarisation (profondeur de développement du système racinaire et de présence de *Ralstonia*). Un thermo-bouton témoin est enterré là où il n'y a pas de solarisation. Les mesures se font jusqu'au retrait de la bâche toutes les 30 minutes.
- Taux de mortalité : Suivi du nombre de plants atteints de flétrissement bactérien (test du verre d'eau², kit de détection *Ralstonia*).
- Coût et temps de travail : coût de la bâche de solarisation, temps de travail (mise en place de la bâche, irrigation, retrait)
- Impact sur le sol : Analyse biologique du sol lors du retrait de la bâche de solarisation et en fin de culture.
- Analyses biologiques de sol : Mesure de la respiration (indicateur de la biomasse microbienne totale active), de la dénitrification (indicateur de la « diversité » bactérienne : concerne l'ensemble de la communauté microbienne impliquée dans le cycle de l'azote ainsi que des bactéries appartenant à des groupes taxonomiques très variés comprenant des pathogènes dont *Ralstonia solanacearum*) et du ratio dénitrification/respiration (indicateur de l'état d'équilibre entre biomasse microbienne totale et diversité bactérienne d'un sol). Les mesures ont été faites sur les différentes modalités (pratiques habituelles des agriculteurs et compost + fumier) avec et sans solarisation sur deux périodes : une semaine après l'enlèvement de la bâche de solarisation (au moment de la mise en place des apports organiques ou



[Photo 3 : Filament blanc lors du test du verre d'eau](#)

2 Consiste à tremper un morceau de tige prélevé sur un plant flétrissant dans un verre d'eau et à observer si une substance laiteuse est exsudée à l'extrémité. Si c'est le cas il y a bien présence de la bactérie dans le plant testé (photo 3).

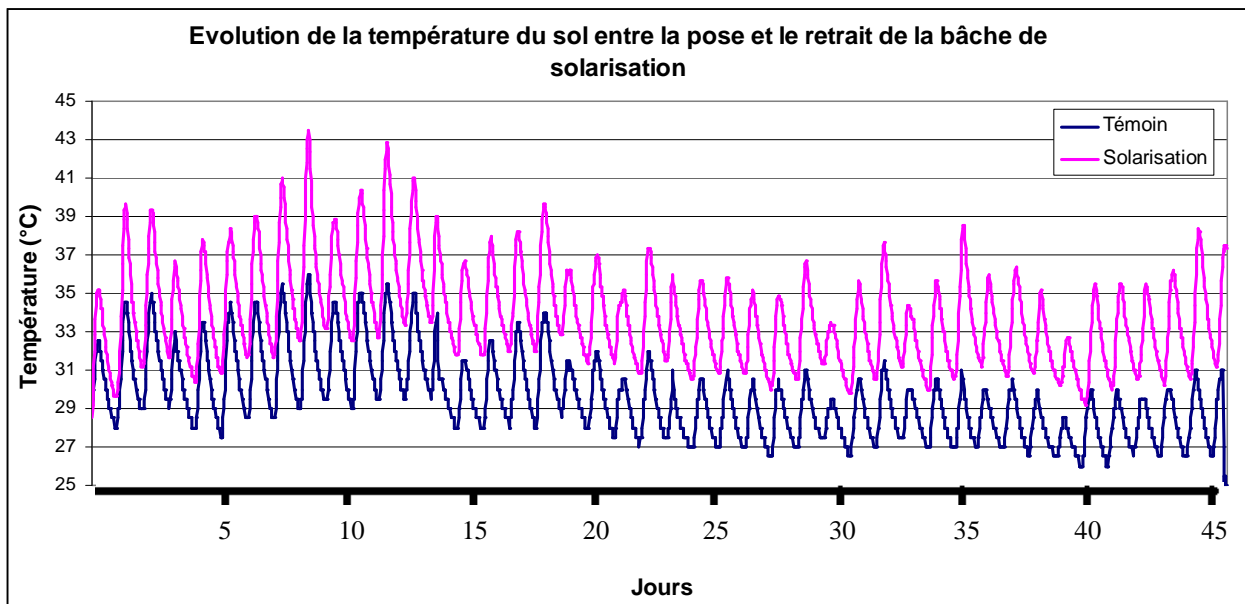
minéraux) et 4.5 mois après le retrait de la bâche. Le détail de la méthode pour ces analyses biologiques est en annexe 3.

Ces mesures ont été prises en charge par le projet GUYAFER (« fertilité des sols en Guyane ») du programme RITA (« Réseau d'Innovation et de Transfert Agricole »).

2. Résultats

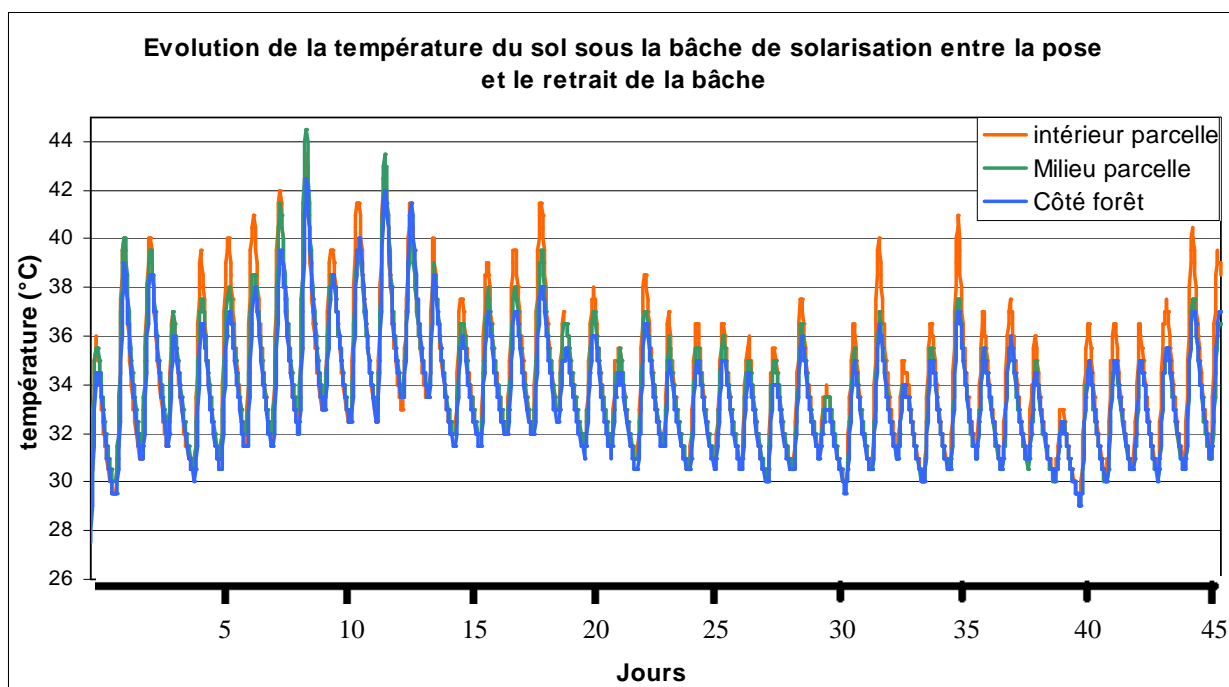
2.1 Evolution de la température du sol

La bâche de solarisation a bien permis une montée en température du sol par rapport au témoin (graphique 1). La moyenne est de 29.5°C pour le témoin et de 33.8°C sous la bâche de solarisation. La température du sol a donc augmenté en moyenne de 4.3°C grâce à la bâche de solarisation et la valeur maximale atteinte est de 44.5°C à 20 - 30 cm de profondeur.



[Graphique 1 : Evolution de la température du sol entre le 20/10/2014 et le 02/12/2014](#)

La solarisation est considérée comme réussie si la température augmente rapidement dans les 2 à 5 premiers jours (INRA Perpignan). De plus, il faut dépasser les 40°C pour atteindre une température potentiellement létale pour *Ralstonia* (Heat Treatment on the Bacterial Wilt Pathogen, *Ralstonia solanacearum*, in Soil - J. Kongkiattikajorn, S. Thepa - 2006). Ici, l'augmentation de température est de +3.3°C entre les jours 2 et 5, atteignant 40°C dès le 2^{ème} jour pour les thermo-boutons 1 et 2 (Graphique 2) et le 9^{ème} jour pour le thermo-bouton 3 (celui-ci, plus proche de la forêt, étant plus souvent à l'ombre).



Graphique 2 : Evolution de la température du sol à 3 endroits sous la bâche de solarisation entre le 20/10/2014 et le 02/12/2014. La zone "côté forêt" est la plus souvent à l'ombre et la zone "intérieur parcelle" est la moins souvent à l'ombre.

2.2 Flétrissement bactérien

Lors de notre essai, aucun plant n'a présenté les symptômes de flétrissement bactérien. Nous ne pouvons donc conclure sur l'efficacité de la bâche de solarisation contre *Ralstonia*.



Photo 3 : Parcelle d'essai avec les aubergines saines 10/02/2015 (photo DAAF)

2.3 Vigueur des plants

Les modalités ayant reçu la fertilisation "compost + fumier", présentent une meilleure vigueur quelques jours après plantation. Ce retard de la modalité "fertilisation habituelle des agriculteurs" est rattrapée vers le 15^{ème} jour mais un mois après plantation, les plants "compost + fumier" sont à nouveau plus vigoureux (50 à 60 cm de haut contre 40 cm de haut pour la modalité "fertilisation habituelle des agriculteurs").

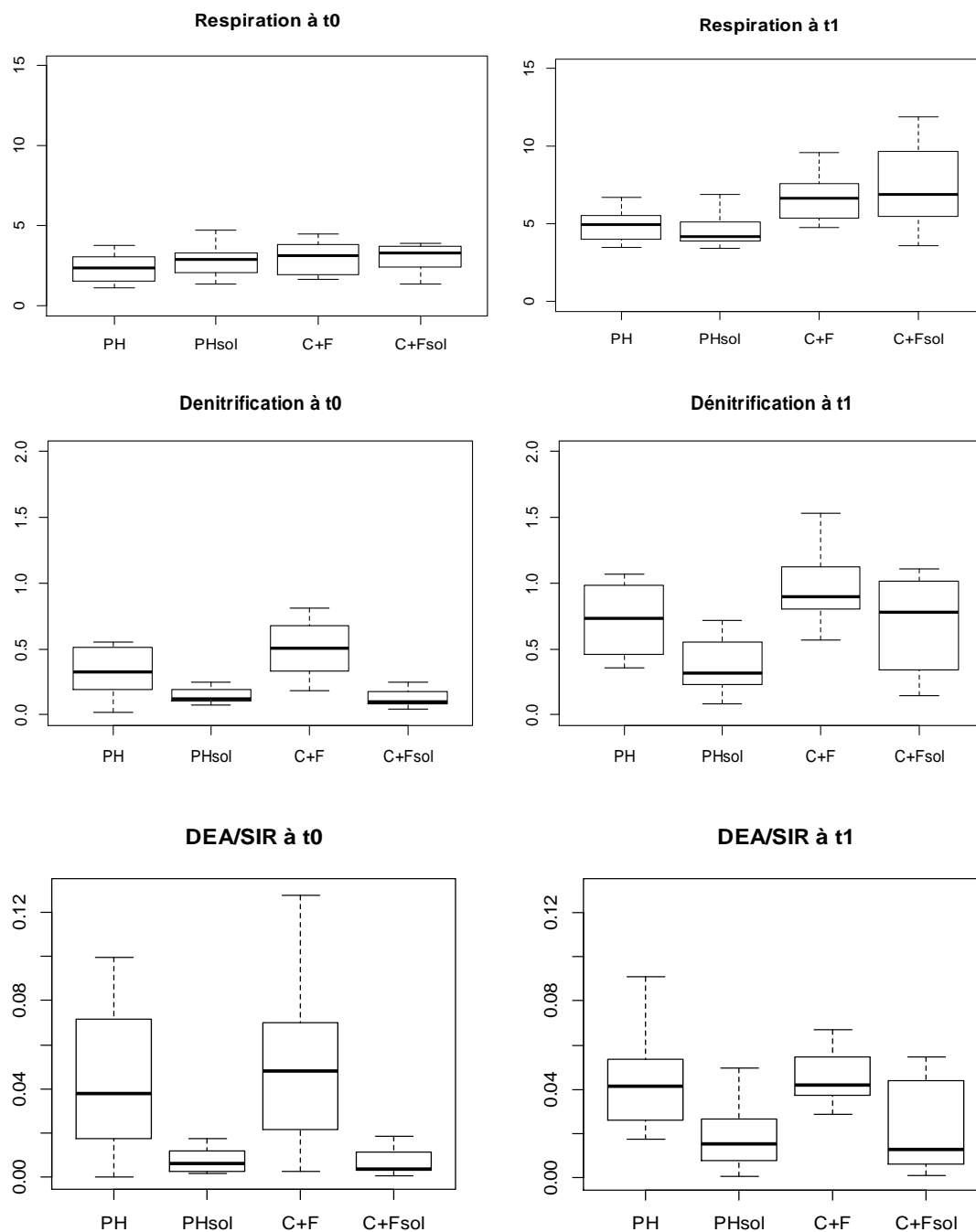
Les plants situés sur la zone solarisée sont également plus vigoureux. Cependant, cette observation est à vérifier car la parcelle d'essai semble présenter une hétérogénéité non prise en compte. En effet le côté solarisé de la parcelle est plus ombragé et on y trouve également des bananiers mieux développés.

2.4 Impact sur la biologie du sol

Les analyses de sol avant pose de la bâche n'ont pas été réalisées. Une semaine après le retrait de celle-ci (t0), on ne remarque pas de différence sur l'activité respiratoire entre les modalités avec et sans solarisation (Figure 1). Cela signifie que la solarisation n'a pas eu d'impact sur la biomasse microbienne active qui a donc bien résisté face à la contrainte environnementale. Cependant, nous remarquons une baisse de l'activité dénitrifiante et du ratio DEA/SIR sous solarisation. La communauté dénitrifiante a alors été fortement impactée. Le *Ralstonia* est une bactérie dénitrifiante du sol, il est donc probable que l'augmentation de la température sous la bâche de solarisation permette de limiter ce pathogène.

4,5 mois après le retrait de la bâche, les mêmes tendances sont observées, mais nous remarquons que les différences de niveau d'activité dénitrifiante et du ratio DEA/SIR sont moins prononcées entre les modalités avec et sans solarisation. Cela veut dire que la communauté dénitrifiante est en train de récupérer progressivement ses fonctions. Toutefois, à 4.5 mois, cette résilience n'est pas complète.

En conclusion, la bâche de solarisation n'a pas d'impact sur l'activité globale des sols (lié à la respiration) : le sol pourra donc remplir ses fonctions liées à la minéralisation de la matière organique afin de nourrir les cultures. Parallèlement, la communauté dénitrifiante en est fortement impactée. Des études complémentaires pourraient déterminer si cela touche le *Ralstonia* qui est partie intégrante de cette communauté.



[Figure 1](#) : Boxplots ou « boîtes à moustache » représentant l'activité respiratoire (en $\mu\text{g C-CO}_2/\text{g sol/h}$), l'activité dénitrifiante (en $\mu\text{g N-N}_2\text{O}/\text{g sol/h}$) et ratio DEA/SIR sur les modalités pratique habituelle (PH), pratique habituelle avec solarisation (PHsol), compost+fumier (C+F) et compost+fumier avec solarisation(C+Fsol) à t0 (mise en place des amendements, retrait de la bâche depuis une semaine) et t1 (4.5 mois après retrait de la bâche).

2.5 Aspects pratiques

- **Coût** : La bâche de solarisation utilisée provient d'un rouleau de 5.8 X 345 m et de 35 μm d'épaisseur à 356€. Le coût de revient est donc de 0.18 €/m².

- Temps de travail :

Date	Activité	Temps	Nb personnes	Temps total
20/10/2014	Irrigation (à l'aide de seaux)	00:15	3	00:45
20/10/2014	Pose de la bâche	00:20	3	01:00
03/12/2014	Retrait de la bâche	00:06	1	00:06
TOTAL				01:51

La mise en place de la bâche de solarisation a demandé au total 35 min à 3 personnes. Il a fallu 15 min à 3 pour irriguer les 2 billons de 13 m de long à l'aide de seaux en s'approvisionnant à un point d'eau disponible en bas de parcelle. La pose de la bâche a pris 20 min à 3, le temps de bien tendre la bâche et de la caler à l'aide de pierres.

Le retrait de la bâche a demandé seulement 6 min.



[Photos 5, 6 et 7 : Apport d'eau au seau, mise en place de la bâche de solarisation et fixation à l'aide de pierres \(20/10/14 - photos DAAF\)](#)

3. Discussion et perspectives

La parcelle présentant une hétérogénéité non prise en compte lors de l'essai, certaines observations comme le développement des adventices et la vigueur des plants d'aubergine, sont difficilement exploitables.

L'absence de flétrissement bactérien ne nous permet malheureusement pas de conclure sur l'efficacité de la bâche de solarisation de 35 µm. L'essai serait donc à renouveler sur une parcelle où *Ralstonia* est déjà présent et/ou après plusieurs cycles de solanacées.

Cependant, le fait d'avoir observé une montée en température au delà des 40°C sous la bâche de solarisation, nous montre déjà que la bâche pourrait avoir un effet pour limiter les populations de *Ralstonia* avant plantation. Cela est également confirmé par les analyses de sol biologiques qui montrent un impact de la solarisation sur les populations de bactéries dénitrifiantes dont *Ralstonia* fait partie. Il serait donc intéressant par la suite de poursuivre ce travail en identifiant précisément les populations de bactéries atteintes par la solarisation.

Cette absence de flétrissement bactérien démontre également qu'en l'absence de précédent cultural (pour rappel, ici le précédent est la forêt), les populations de *Ralstonia* peuvent être suffisamment faibles pour permettre un cycle de culture. L'emploi de méthodes combinées (solarisation, rotation, etc..) devraient permettre de maintenir cet état initial.

Concernant l'impact sur la gestion de l'enherbement, visuellement et d'après le temps passé à désherber par le technicien, le paillage à partir de compost ainsi que la bâche de solarisation ont permis de limiter l'enherbement. Par la suite, il serait intéressant de pouvoir mieux suivre cet aspect, avec si possible des mesures pour avoir une idée chiffrée de l'impact de ces deux facteurs sur les adventices. De même pour la vigueur, la tendance se dégageant est que les plants d'aubergines sont plus vigoureux suite à la solarisation et avec la fertilisation "compost + fumier". En effet, la solarisation est souvent associée à un effet « boost », certainement dû au fait que la minéralisation est favorisée par rapport à la dénitrification. Cela reste cependant à confirmer par un suivi plus précis et sur une parcelle homogène.



[Photo 8 : Visite de la parcelle de démonstration avec les agriculteurs \(12/06/15 - photo DAAF\)](#)

Pour ce qui est de l'aspect pratique, la mise en place et le retrait de la bâche de solarisation ne demande que 1h51 au total pour 2 billons de 13 m. De plus, ce temps de travail peut être réduit si un système d'irrigation est disponible à proximité pour avoir un sol saturé en eau avant de poser la bâche. Par ailleurs, le coût de cette bâche de solarisation reste relativement faible (0.18 €/m²). Pour le moment, les essais en Guyane ont porté sur la bâche de solarisation de 70 µm et son impact sur le flétrissement bactérien a été démontré mais son coût de revient est bien supérieur (1.2 €/m²). Il serait donc intéressant de renouveler les essais sur cette bâche de 35 µm pour savoir si elle est aussi efficace contre le flétrissement bactérien.

Enfin, pour lutter contre le flétrissement bactérien d'autres méthodes sont également à tester comme l'utilisation de plantes de service (travaux en cours au Pôle de Recherche Agroenvironnemental de la Martinique), la biofumigation (utilisation de plantes produisant des composés toxiques contre *Ralstonia* après dégradation de la matière organique) ou encore la désinfection du sol à la vapeur (photos 9 et 10).



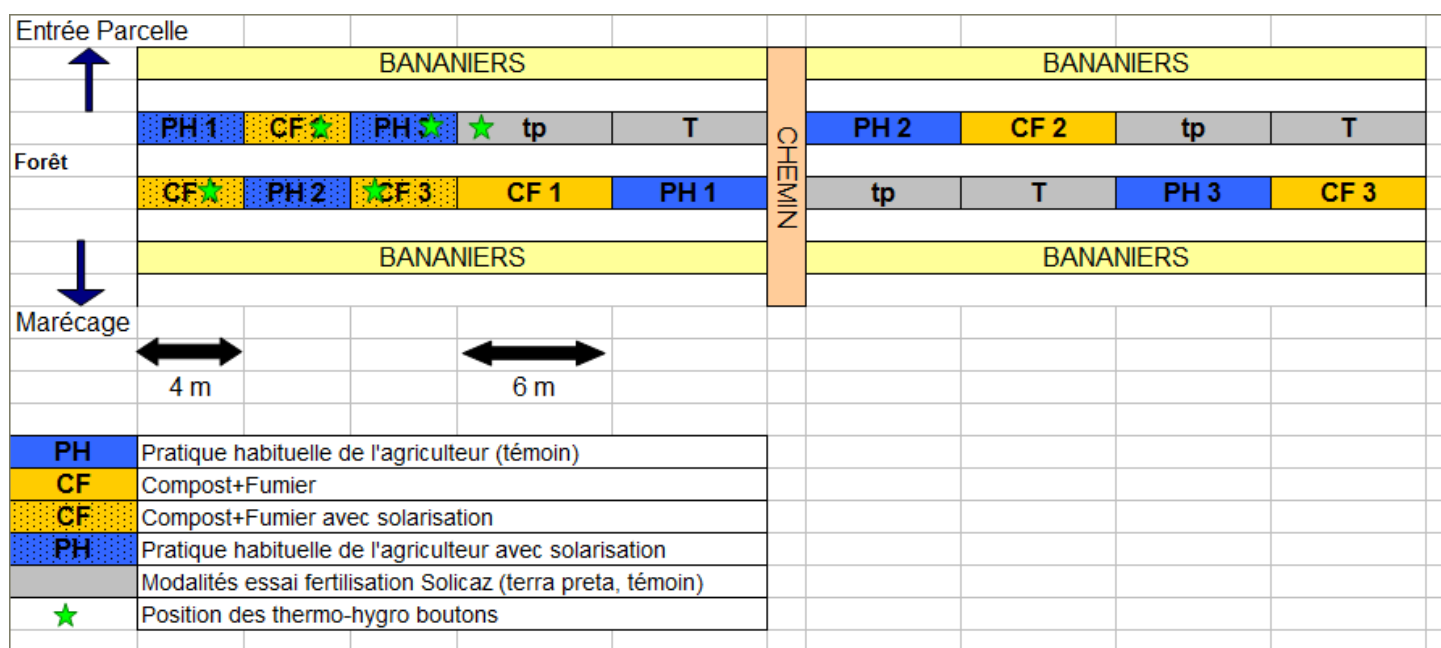
[Photos 9 et 10 : Appareil de désinfection du sol à la vapeur \(30/11/2015 - photo DAAF\)](#)

Annexe 1 : Protocole expérimental

Lieu	Cacao, Guyane, France
Partenaires	DAAF/SALIM, l'EPLFPA, Solicaz, Chambre d'Agriculture de Guyane
Titre	Evaluation de l'efficacité de la solarisation et effet de l'apport de fumier et compost sur l'incidence du flétrissement bactérien (<i>Ralstonia</i>) sur culture d'aubergines.
Introduction	Dans la continuité des actions engagées dans le cadre du plan EcophytoDOM, l'unité Offre et Qualité Alimentaire, l'EPLFPA, Solicaz et la Chambre d'Agriculture de Guyane souhaitent mettre en place un essai solarisation et compost pour limiter l'impact du flétrissement bactérien sur culture d'aubergines à Cacao.
Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluer l'impact de la solarisation et de l'apport de fumier+compost sur la mortalité des plants d'aubergine • Evaluer l'impact de la solarisation sur le développement des adventices
Lieu d'implantation et descriptif de la parcelle d'essai	<p><u>Lieu d'implantation</u> : parcelle de l'EPLFPA, Crique boulanger, Cacao. La parcelle appartient à M. Bézert et a été mise à disposition de l'EPLFPA pour 2 ans par le biais d'une convention.</p> <p><u>Description de la parcelle d'essai</u> : parcelle d'environ 2500 m², entouré de forêt et d'une zone marécageuse, sol assez drainant, première mise en culture après déforestation (brûlage et donc charbon sur certaines zones de la parcelle), billons de 27 m sur 1,5m environ entourés de rangs de bananiers. Les billons ont été désherbés au désherbeur thermique.</p>
Modalités	<p><u>Témoin</u> : absence de solarisation et fertilisation habituelle des agriculteurs (engrais minéral de type 12-12-24 appliqué toutes les 2 semaines).</p> <p><u>3 modalités</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Solarisation pendant 45 jours et fertilisation habituelle de l'agriculteur - Solarisation pendant 45 jours et apport de fumier à la plantation + compost en paillage (provenant de la station de compostage de Matoury) - Absence de solarisation et apport de fumier à la plantation + compost en paillage <p>A T0 (20 octobre), mise en place de la bâche de solarisation sur 2 billons de 13 m.</p> <p>Début décembre (vers le 4/12/2014), retrait de la bâche de solarisation. Le lendemain, plantation des plants d'aubergine (variété <i>Kalenda</i>) et apport de fumier+compost pour les modalités concernées.</p>
Dispositif expérimental	<ul style="list-style-type: none"> • 3 répétitions des 4 modalités donc 12 parcelles élémentaires réparties sur 4 billons. • Une parcelle élémentaire fait 6 m² (1,5 m X 4 m) pour les modalités avec solarisation et 9 m² (1,5 m X 6 m) pour les modalités sans solarisation
Notations	<p><u>Suivi de la température du sol</u> : Mesure de la température du sol sous bâche de solarisation et sur sol nu toutes les 30 minutes pendant 45 jours (entre la mise en place et le retrait de la bâche).</p> <p><u>Taux de mortalité</u> : Suivi du nombre de pieds d'aubergine morts par flétrissement bactérien. Détermination visuelle, test du verre d'eau et éventuellement en cas de doute test grâce à un kit de détection <i>Ralstonia</i>. Suivi réalisé toutes les 2 semaines.</p> <p><u>Impact sur l'enherbement</u>: Relevé du nombre et du temps de désherbage nécessaire pour chaque modalité tout au long du cycle de l'aubergine. Prise de photos avant les travaux de désherbages pour avoir une visualisation de l'impact de la solarisation et du compost sur l'enherbement.</p> <p><u>Impact sur le Sol</u> : Analyse physico-chimique du sol lors du retrait de la bâche de solarisation.</p>

	<p>Analyses biologiques (respiration et dénitrification) lors du retrait de la bâche et en fin de culture. 5 prélèvements seront réalisés par unité expérimentale.</p> <p><u>Coût et temps de travail pour chaque modalité</u> : coût de la bâche de solarisation, temps de travail (pour l'irrigation avant pose de la bâche, la pose de la bâche, son retrait).</p> <p><u>Suivi de l'état sanitaire des aubergines</u></p>
Besoins en matériel	<ul style="list-style-type: none"> - Sceaux, pelles pour la mise en place - Bâche de solarisation - 5 thermo-hygro boutons - Plants d'aubergine - Piquets - Mètre - Appareil photo
Contacts	<p>Anaïs LAMANTIA / Damien LAPLACE Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt Service de l'Alimentation, unité Offre et Qualité Alimentaire Parc Rebard - BP 5002 97 305 Cayenne 06.94.24.47.25</p>
Auteurs du protocole	<p>Anaïs Lamantia Marianne Duncombe Eve Gentil Florent Garcia-Vilar William Montaigne</p>
Calendrier	<p><u>20 Octobre 2014</u> : Mise en eau et pose de la bâche <u>Courant novembre</u> : Mise en place des panneaux d'information <u>4 décembre</u> : Retrait de la bâche et installation de l'irrigation <u>5 décembre</u> : Plantation des aubergines et apport de fumier+compost. Prélèvements pour l'analyse physico-chimique et analyses biologiques à t0. <u>Puis toutes les 2 semaines jusqu'à la fin de culture des aubergines</u> : suivi <u>Juin</u> : Journée de démonstration sur la parcelle <u>A la fin de la culture d'aubergine (aux alentours d'avril)</u> : Prélèvements pour analyses biologiques à t1.</p>
Partage des tâches	<p>Suivi partagé Marianne Duncombe (Chambre d'Agriculture), Florent Garcia-Villar et Eve Gentil (EPLEFPA), William Montaigne (Solicaz) et Anaïs LAMANTIA (DAAF/SALIM) à raison d'environ 1 passage toutes les 2 semaines.</p>

Annexe 2 : Plan de la parcelle d'essai



Annexe 3 : Matériel et méthodes pour les analyses biologiques de sol (Solicaz)

Le fonctionnement biologique du sol permettant de procurer aux végétaux les éléments nutritifs qui sont nécessaires à leur croissance est le résultat de l'action de nombreux microorganismes présents dans ce sol. Ces microorganismes sont plus ou moins sensibles aux facteurs de l'environnement. La complexité du système sol rend difficile l'étude de son fonctionnement global d'où la nécessité d'utiliser des bio-indicateurs capables d'intégrer cette complexité et répondant aux critères nécessaires à l'élaboration d'un indicateur efficace qui doit notamment être facilement mesurable, sensible aux stress sur le système et être intégratif (l'ensemble des indicateurs donne une mesure de la couverture des gradients clé à travers les systèmes écologiques).

Une attention particulière doit donc être portée sur le choix des communautés fonctionnelles microbiennes à cibler. Ces dernières devant impérativement avoir des activités qui rendent compte du fonctionnement global du sol en termes :

- (1) d'importance écologique des flux générés;
- (2) de sensibilité à la perturbation,
- (3) de représentativité par rapport à l'ensemble de la communauté microbienne du sol.

Les fonctions choisies, la respiration et la dénitrification, répondent à ces critères. Ce sont des processus majeurs dans le fonctionnement des écosystèmes et portés par des communautés abondantes et diversifiées, donc représentatives du système sol. Ces fonctions recouvrent le même type de processus métabolique, un processus respiratoire, mais qui va s'exprimer dans des conditions environnementales très différentes (aérobie pour la respiration et anaérobie pour la dénitrification) . Enfin, elles présentent l'avantage de se trouver dans des proportions très différentes dans le sol: la communauté dénitrifiante principalement bactérienne représente 5 à 10 % de la communauté totale des hétérotrophes du sol comprenant bactéries et champignons.

La respiration

La respiration microbienne du sol concerne l'ensemble des micro-organismes dans leur diversité et abondances. Elle peut donc être considérée comme un proxy de la biomasse microbienne totale active et donc de sa capacité biotique, mais également comme proxy de l'activité globale caractérisant la capacité de la communauté hétérotrophe du sol à remplir l'ensemble de ses fonctions.

La dénitrification

La dénitrification est la biotransformation qui permet la conversion du nitrate (NO_3^-) et du nitrite (NO_2^-) en oxyde nitrique (NO), oxyde nitreux (N_2O) et azote atmosphérique (N_2). C'est un processus de régulation du cycle du N qui présente l'avantage d'être porté par une très grande diversité de microorganismes avec des caractéristiques physiologiques très variées et d'être facilement mesurable. D'un point de vue écologique, la dénitrification a un impact direct sur la disponibilité en azote du sol et finalement sur la productivité primaire nette de nombreux écosystèmes terrestres. En raison de ses caractéristiques biologiques, la dénitrification intègre un grand nombre de paramètres environnementaux clefs justifiant son choix de fonction bio-indicatrice particulièrement intéressante pour évaluer l'impact de

perturbations et prédire les évolutions futures du système sol. Enfin, cette fonction concerne l'ensemble de la communauté microbienne impliquée dans le cycle de l'azote ainsi que des bactéries appartenant à des groupes taxonomiques très variés comme les Archaea bactéries qui comprennent bon nombre de pathogènes dont *Ralstonia solenacearum*. Cette fonction peut être utilisée comme un indicateur indirect de la « diversité » bactérienne du sol.

Le ratio dénitrification/respiration

Les différences d'intensité de chacune des fonctions étudiées constituent en elles-mêmes un outil de diagnostic. Cependant, ces mesures élémentaires ne sont pas à même d'apporter des renseignements sur la gravité et le caractère potentiellement réversible ou non des modifications fonctionnelles subies par les sols. L'analyse conjointe (approche en ratio) de la manière dont sont affectées ces fonctions portées par des communautés de diversités différentes permet d'exprimer que non seulement l'intensité des flux est susceptible d'être modifiée, mais également leurs proportions relatives traduisant ainsi une profonde modification du fonctionnement du sol. La modification peut donc être non seulement quantitative mais également qualitative. Ceci est évidemment accentué lorsqu'on s'adresse à des fonctions articulées entre elles comme le sont respiration et dénitrification via l'utilisation du carbone. En particulier, une diminution du ratio dénitrification potentielle/respiration potentielle traduit une diminution de la proportion de dénitrifiants au sein de la communauté hétérotrophe du sol et donc une modification de la structure de cette communauté. Ainsi, ce type de ratio traduit de manière assez fine des modifications du fonctionnement et de la structure des communautés microbiennes du sol. Il peut être utilisé comme bio-indicateur caractérisant l'état d'équilibre entre biomasse microbienne totale et diversité bactérienne d'un sol : c'est un indice de structure de la communauté active du sol.