Rapport d'essai intermédiaire 2019 :
Impacts des Plantes de Services sur la fertilité des sols et sur la gestion de l'enherbement des parcelles vivrières

Action 2 : Élaboration d'itinéraires techniques innovants basés sur l'agriculture de conservation et la fertilisation organique des parcelles pour le maintien ou la restauration de la fertilité des sols.

Tâche 2.4 : Intégration de Plantes de Services dans les Systèmes de culture vivriers

Rébert Emeline (Cirad) & Huat Joël (Cirad)

Durée de l'étude : Janvier 2019 – Décembre 2019

Date de parution : Mars 2020

Ce projet est cofinancé par le Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural. L'Europe Investit dans les zones rurales.

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION 3
1. Contexte de l'étude 3
2. Le projet BIOFERM 3
2. MATERIEL ET METHODES 5
1. Échantillonnage et méthode de suivi 5
a. Sélection des exploitations et des parcelles 5
b. Matériel végétal utilisé 6
2. Dispositif de l'essai plantes de services / bananiers 6
a. Objectifs et hypothèses 6
b. Dispositif expérimental 6
c. Itinéraire technique de la parcelle d'essai 7
d. Observations et Indicateurs retenus 8
e. Prélèvements et analyses 10
f. Test du Tea Bag 11
3. Analyses statistiques 12
3. RESULTATS DE L'ESSAI ET DISCUSSION 14
1. Suivi de l'évolution de la croissance du bananier 14
a. Evolution du pseudotronc 14
b.Mesure du nombre de rejets 15
2. Evaluation des rendements 16
a. Analyses descriptives 16
b. Analyses statistiques 18
3. Suivi du développement des plantes de services et de la flore spontanée 19
4. Suivi de l'évolution de la qualité du sol 22
a. Analyses de sol 22
b.Analyses du Tea Bag Index (TBI) 23
4. CONCLUSION 25
BIBLIOGRAPHIE 26
ANNEXES 28
Annexe 1 : Suivi phénologique des bananiers de l'essai 28
Annexe 2 : Courbe de croissance de la circonférence des bananiers dont le régime a été récolté 32
Annexe 3 : Résultats des tests statistiques menés 35

1. INTRODUCTION

1. Contexte de l'étude

A Mayotte, l'agriculture se compose quasi exclusivement de petites exploitations agricoles familiales pratiquant de la poplyculture de manière extensive, parfois associée à l'élevage. Ces systèmes très diversifiés, appelés « Jardins Mahorais » sont constitués d'une association d'espèces fruitières, vivrières, maraîchères et fourragères (**DAAF, 2011 ; Alim'agri, 2011**). Néanmoins, malgré les avantages de ce type de système, notamment concernant la résilience du milieu et la richesse en biodiversité qu'il engendre, des contraintes sont à déplorer en ce qui concerne les performances et la pérennité de ces systèmes. En effet, les abattis-brûlis successifs réalisés, la culture intensive menée sur les terrains dû au manque de foncier et à la pression démographique explosive qui empêchent la mise en place de parcelles de jachères, et les fortes pentes présentes sur le territoire (**Lopez et al., 2015**) engendrent des problèmes conséquents en ce qui concerne la restauration des sols. En outre, l'agriculture mahoraise fait face à deux problématiques majeures, à savoir le maintien ou la restauration de la fertilité des sols et la lutte contre l'érosion des sols (**Barthès, 2003** ; **Michellon, 2003** ; **Chaballier, 2006**). En effet, les sols mahorais, de par leur origine volcanique, sont riches en nutriments, mais tendent de plus en plus à s'épuiser (**Latrille, 1981**).

Or, malgré l'épuisement avéré des sols, l'augmentation de la production sur les surfaces agricoles exploitées est nécessaire pour répondre aux enjeux démographiques du territoire. De ce fait, des itinéraires techniques innovants basés sur l'agriculture de conservation (**Tillard et al., 2017**) pourraient permettre d'exploiter les services écosystémiques de certaines espèces végétales, dites plantes de services, pour lutter efficacement contre les problématiques d'érosion et de fertilité des sols.

Ainsi, accroître la diversité de plantes au sein des systèmes agricoles, en augmentant le nombre d'espèces en rotation et/ou en diversifiant spatialement le nombre d'espèces, à travers notamment l'association culturale, offre un intérêt significatif (**Finney et al., 2016**). En effet, la modification de la diversité fonctionnelle à travers l'association culturale permet de mieux gérer la flore parasitaire, d'enrichir le sol en élément minéraux, et de mieux gérer la pression des bioagresseurs dans le cas d'un aménagement adéquat et adapté à la culture principale (**Villeneuve et al., 2017**). De manière générale, ces plantes de services doivent permettre de produire une ressource alimentaire énergétique (animale et/ou humaine), de réguler la qualité de l'eau, de gérer le développement spontané en adventices et de soutenir le cycle des éléments nutritifs.

A l'heure actuelle, les agriculteurs sont encore peu sensibilisés aux enjeux que peuvent présenter une gestion réfléchie de leurs opérations culturales. Il est donc important de leur montrer les enjeux et les bienfaits que peuvent apporter des plantes de services en association avec les cultures déjà en place (**Lefevre, 2013** ; **Van Donk et Klocke, 2012**).

2. Le projet BIOFERM

Dans ce contexte, Le projet Bioferm (Gestion conservatoire des BIOmasses, des nutriments et de la FERtilité des sols dans les petites exploitations familiales de Mayotte) a pour objectif de mettre en place des itinéraires techniques innovants facilement transférables aux agriculteurs afin de valoriser au mieux les ressources naturelles tout en améliorant les performances agronomiques des systèmes

de culture, en prenant en compte les deux enjeux principaux au sein de l'agriculture mahoraise : les problématiques liées à l'érosion et à la fertilité des sols.

Le projet s'articule autour de trois actions principales :

- WP1 : La coordination et l'animation scientifique et technique.
- WP2 : L'élaboration d'itinéraires techniques innovants basés sur l'agriculture de conservation et la fertilisation des parcelles pour le maintien ou la restauration de la fertilité des sols.
- WP3 : Le transfert et la production de références techniques sur les performances du système.

L'action WP2 vise à améliorer la durabilité des systèmes de culture en proposant des itinéraires techniques agro-écologiques innovants pour l'agriculture et pour l'élevage, par le biais de la fertilisation organique des cultures et l'exploitation des services écosystémiques des plantes de services introduites dans les systèmes de culture (**Tillard et al., 2017**).

Cette action s'articule autour de quatre tâches. La tâche concernée ici est la tâche 2.4 qui a pour objectif de mettre au point, d'évaluer et de favoriser l'appropriation de systèmes de culture innovants à base de plantes de services (PdS) pour améliorer la fertilité des sols et la production de biomasse.

2. MATERIEL ET METHODES

1. Échantillonnage et méthode de suivi

a. Sélection des exploitations et des parcelles

Initialement, des visites d'exploitation ont été réalisées en 2015 par la COOPADEM (Coopératives des éleveurs de Mayotte) et la CAPAM (Chambre d'Agriculture, de la Pêche et de l'Aquaculture de Mayotte) afin d'échanger avec les exploitants agricoles sur les problèmes rencontrés sur leurs parcelles quant à la diminution de la fertilité des sols et de la baisse des rendements. Ces visites ont également permis de faire un état des lieux des pratiques et des savoirs locaux en matière de gestion de la fertilisation (**Balandier, 2017**).
Les visites combinées aux connaissances des différents partenaires ont permis d'établir un premier échantillon d'exploitations potentielles à suivre. La sélection s'est portée de préférence sur des agriculteurs déjà insérés dans les réseaux d'échanges (projet CASDAR agroécologie de la COOPADEM, projet Défi-Ferme Ecophyto, le Groupement de Vulgarisation Agricole d'Acoua, le Groupement de Vulgarisation Agricole de Tsingoni). La liste des agriculteurs partenaires et des parcelles vivrières à suivre, initialement établie en 2016 entre le CIRAD, la CAPAM et la COOPADEM, a été affinée d'année en année en fonction de la motivation et l'investissement des producteurs dans la bonne conduite des essais.

En 2019, seulement deux parcelles d'essai concentrées au Nord de l'île sont suivies au sein de la tâche 2.4 concernant l'évaluation de l'insertion de plantes de services dans des bananeraies (Figure 1). Le suivi est assuré par la CAPAM et le CIRAD. Ces parcelles ont été mises en place en janvier 2018.

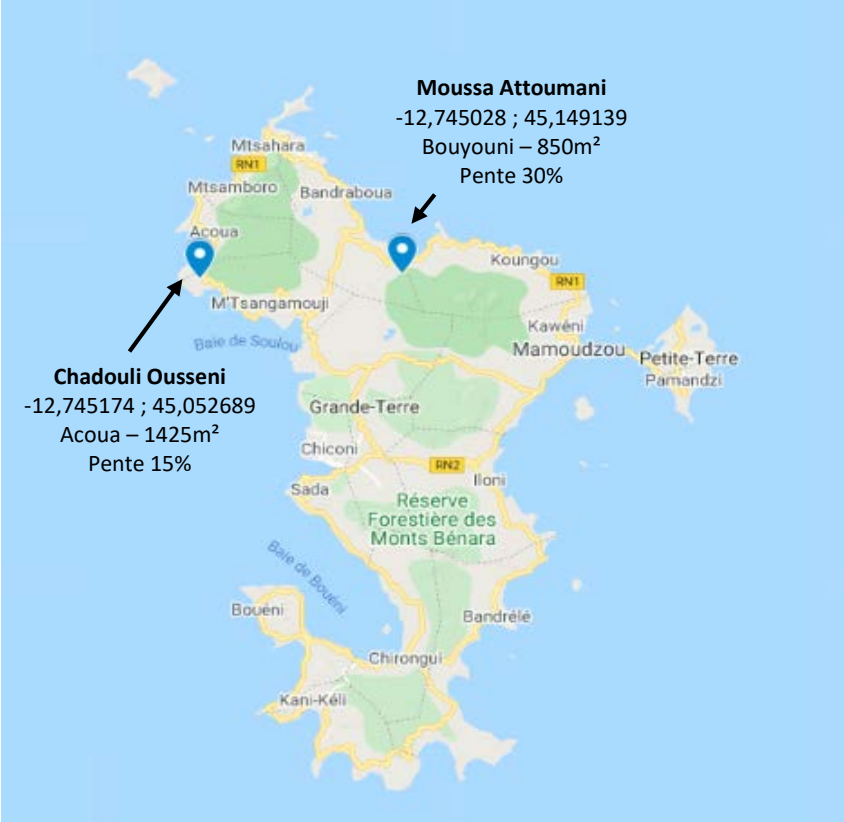


Figure 1 : Carte de la disposition géographique des deux parcelles d'essai de bananiers en association avec des plantes de services

b. Matériel végétal utilisé

Afin de limiter les biais induits par du matériel hétérogène, le choix a été fait de fournir des rejets de bananiers de la même variété et sains issus de la méthode PIF (Plants issus de Fragments de tiges). Des plants de la variété Kontriké âgés de 3 mois, ont été implantés sur les parcelles d'essai.

La méthode PIF est une méthode utilisée pour obtenir des plants de bananiers indemnes de charançons et de nématodes. Elle permet d'activer les bourgeons latents et de produire hors-sol, sous abri fermé et dans des délais relativement courts (3 à 4 mois), des quantités importantes de rejets sains (entre 10 et 100 par souche). La qualité de l'assainissement dépend principalement des techniques de parage et de désinfection mobilisées au moment du découpage des fragments, de la qualité sanitaire du substrat et de celle de l'eau.

A la suite des différents travaux réalisés sur l'agriculture de conservation dans les années 2000 (**Vandamme et al., 2001** ; **Chabierski et al., 2003** ; **Autfray et al., 2004**), un état des lieux a été dressé sur les savoirs et pratiques locales sur l'utilisation des plantes de service (**Balandier, 2017**). Ainsi, 28 espèces ont été présélectionnées et suivies en station expérimentale en 2016 et 2017. Ce travail a permis de caractériser les traits de vie de ces plantes de services, leurs services écosystémiques (**Deltreil, 2016**), ainsi que les pratiques et les attentes des agriculteurs mahorais (**Balandier, 2016** ; **Froemer, 2017**).

Les plantes de services ainsi retenues pour les essais menés entre 2018 et 2019 sont *Vigna unguiculata, Arachis hypogaea*, *Canavalia ensiformis* et *Vigna umbellata*. Le choix des PdS a été fait en fonction de leur adaptation à l'environnement mahorais et à un système bananier en association et aussi en fonction de la disponibilité de semences.

2. Dispositif de l'essai plantes de services / bananiers

a. Objectifs et hypothèses

La mise en place de plantes de services de type légumineuse en association avec des bananiers a pour objectif d'améliorer l'activité biologique et de fournir de l'azote au sol. A Mayotte, ce type de conduite de culture est considéré comme innovant. En effet, les agriculteurs, malgré le fait qu'ils favorisent les associations culturales, utilisent majoritairement des espèces vivrières et maraîchères. L'association culturale avec des légumineuses permettant d'améliorer la structure et les composantes chimiques du sol sont rares, notamment en raison de la volonté des agriculteurs de produire pour l'autoconsommation. Compte tenu de cette pratique agricole, les plantes de services choisies doivent donc avoir des fins alimentaires (humaines ou animales).

Les hypothèses que nous cherchons à démontrer lors de cet essai sont les suivantes :

- La mise en place de plantes de services dans un système de culture vivrier permet de maintenir une couverture permanente au sol (vivante en saison des pluies, morte en saison sèche), comparativement à un sol nu. Ainsi, cette couverture permettrait d'améliorer significativement l'activité biologique du sol.
- La présence d'un couvert végétal joue un rôle dans la régulation du taux de décomposition de la matière et dans la diminution du lessivage des éléments minéralisés, permettant de maintenir la composante azotée dans le sol.
- L'association culturale avec des plantes de services sur l'inter-rang permet de mieux gérer la pression adventive de la parcelle.

b. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est géré en trois blocs au sein desquels sont répartis aléatoirement trois modalités. Au total, la parcelle est donc subdivisée en neuf parcelles élémentaires.

La première parcelle identifiée pour l'essai est située sur la commune d'Acoua, chez M. Chadouli OUSSENI. Cette zone reçoit annuellement 1872 mm de précipitation et la température moyenne annuelle est de 27°C. Cette parcelle présente un sol ferralitique remanié brunifié sur colluvions. La parcelle, installée en janvier 2018, mesure 1425 m² (38,5 x 37 m). Elle est subdivisée aléatoirement (boxplot) en neuf parcelles élémentaires de 11,5 m par 11 m au sein desquelles sont plantés 16 bananiers répartis sur 4 lignes. Les modalités expérimentales testées sont (Figure 2) :

- T : Le témoin, présentant un sol nu ;
- CE : L'association de bananiers avec *Canavalia ensiformis* (densité de semis : 4,5 plants/m²) ;
- VU : L'association de bananiers avec *Vigna unguiculata* (densité de semis : 7,5 plants/m²).

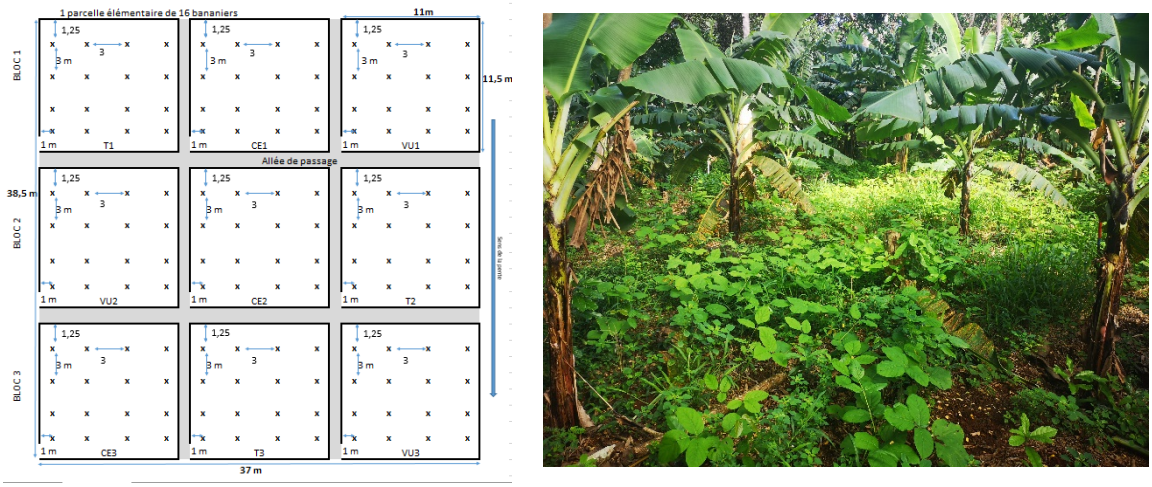


Figure 2 : Dispositif expérimental (à gauche) et photo d'une parcelle élémentaire de Canavalia ensiformis (à droite)

La seconde parcelle, gérée par un agent de la CAPAM, est située sur la commune de Bandraboua, à Bouyouni, chez M. Moussa ATTOUMANI. Le sol est pauvre en éléments minéraux, sujet à l'érosion de par sa forte pente (environ 30%), majoritairement limoneux avec une faible activité biologique. La parcelle, installée en octobre 2018, mesure 340 m² (17 x 20 m). Elle est subdivisée aléatoirement (boxplot) en neuf parcelles élémentaires de 5 m x 6 m délimitées les unes des autres par des rangées d'ananas, au sein desquelles sont plantés 6 bananiers répartis sur 2 lignes. Les modalités expérimentales testées sont :

- T : Le témoin, présentant un sol nu ;
- Cp : L'association de bananiers avec *Cucurbita pepo spp.* (densité de semis : 6 poquets / parcelle élémentaire, sur l'inter-rang entre les deux lignes de bananiers uniquement) ;
- A : L'association de bananiers avec *Vigna unguiculata* (densité : 18 poquets / parcelle élémentaire) et *Canavalia ensiformis* (densité de semis : 24 poquets / parcelle élémentaire).

Chaque bananier de chaque parcelle élémentaire est identifié par un numéro allant respectivement de B1 à B16 chez M. Chadouli Ousseni et de B1 à B6 chez M. Moussa Attoumani.

c. Itinéraire technique de la parcelle d'essai

Dans ce rapport, l'itinéraire technique de la parcelle à Acoua, chez M. Ousseni Chadouli, va être détaillé. L'itinéraire technique réalisé sur la seconde parcelle, située à Bouyouni, est sensiblement identique.

La parcelle a été mise en place entre décembre 2017 et janvier 2018. Le sol a été préalablement préparé, par un défrichage, puis sarclage réalisés deux semaines avant la plantation. Une semaine avant plantation, le piquetage de la parcelle a été réalisé en vue de délimiter l'emplacement de chacune des futures parcelles élémentaires : le témoin est borné par quatre piquets en bois peints en blanc ; la modalité « *Canavalia*

ensiformis » est en bleue et celle « *Vigna unguiculata* » en rouge. Des premiers échantillons de sol ont été prélevés avant la plantation afin d'avoir un état initial de la composition chimique du sol.

Les jeunes bananiers issus de plants PIF ont été ensuite plantés, espacés les uns des autres de 3 m sur la ligne et de 3 m entre les lignes, soit une densité de plantation de 1011 plants/ha. Un trou de 30 cm de diamètre par 30 cm de profondeur a été réalisé manuellement à la pioche pour la plantation. Chaque bananier a reçu 4,5 kg d'un amendement organique à base de fientes de volailles séchées (conditionnées par Avima, centre d'élevage de poules pondeuses et de production d'œufs à Ironi-Be).

Les plantes de services ont été ensuite intégrées au système de culture. Un test de germination a été préalablement réalisé au labo afin de s'assurer du pouvoir germinatif des semences. Les graines ont été semées en poquets : *Vigna unguiculata* a une densité de 40 cm x 40 cm et *Canavalia ensiformis* une densité de 60 cm x 60 cm, en respecatant un espace nu d'un diamètre de 70 cm autour de chaque pied de bananier afin de limiter le phénomène de compétition entre les deux espèces végétales.

d. Observations et Indicateurs retenus

Les observations ont été réalisées sur chacune des neuf parcelles élémentaires comprenant chacune 16 plants de bananiers. Différents types de suivi ont été réalisés sur les parcelles :

- **Suivi de toutes les opérations culturales** réalisées (quantités d'intrants apportées et dates, débroussaillage, plantation, densité, etc.).
- **Suivi bimensuel des cycles de culture** des bananiers (date de d'émergence de la jetée, date de récolte et poids du régime récolté pour chaque bananier afin de connaître la production par pied. En raison des nombreux vols recensés, chaque régime est identifié toutes les deux semaines avec le nombre de mains associé). Pour estimer le poids des régimes disparus, une extrapolation a été faite à partir des poids des régimes récoltés des bananiers de la parcelle et de la mesure du pseudotronc du bananier correspondant au moment de la jetée a été réalisée (Figure 3). Ainsi, il est possible de d'évaluer le rendement potentiel de la parcelle.

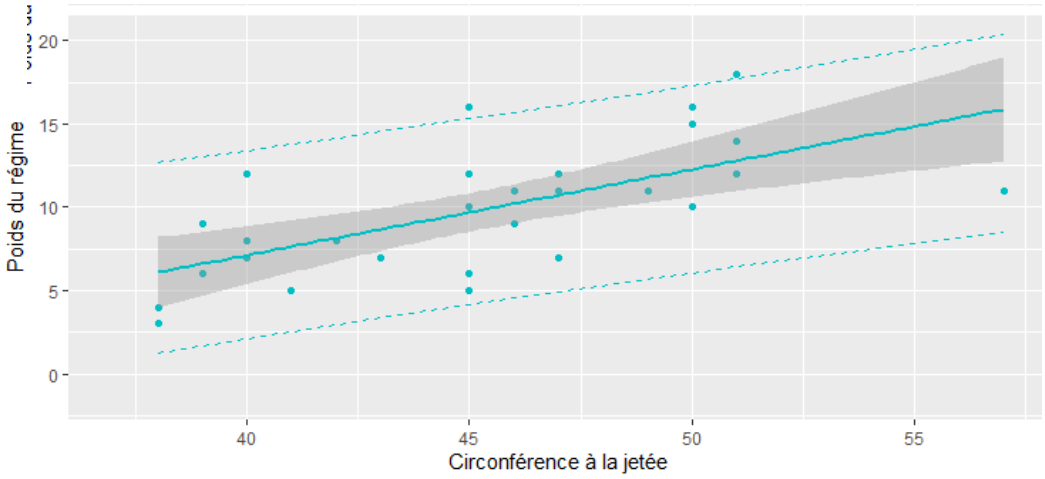


Figure 3 : Relation linéaire entre le poids du régime à la récolte et la circonférence du pseudotronc du bananier correspondant à la jetée

- **Suivi des cycles des plantes de service** (suivi des stades BBCH (Tableau 1 ; **Weber und Bleiholder et al., 1990 ; Lancashire et al., 1991***)*, prélèvements de la biomasse aérienne à floraison sur 1 m², rendement des gousses à la récolte (kg/m²)).

Tableau 1 : Détail des principaux stades phénologiques de l'échelle BBCH
(L'abréviation BBCH dérive des institutions qui ont conjointement développé cette échelle : BBA, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (Centre Fédéral de Recherche Biologique pour l'Agriculture et la Forêt), BSA, Bundessortenamt (Autorité Fédérale pour les Variétés Végétales) and CHemical Industries (Industries phytopharmaceutiques)

Stades	***Description***
0	Germination : levée
10 à 19	Développement des feuilles (tige principale)
20 à 29	Tallage : formation des pousses secondaires
30 à 39	Elongation de la tige, développement des pousses
40 à 49	Développement des parties végétatives et organes de reproduction, gonflement épi
50 à 59	Epiaison : apparition de l'inflorescence
60 à 69	Floraison
70 à 79	Fructification : développement des fruits
80 à 89	Maturation : des fruits ou des grains
90 à 99	Senescence et mort (ou début de la période de dormance)

- **Mesure mensuelle de la croissance du plant** : circonférence du pseudo-tronc à 50 cm du sol jusqu'à émergence de la jetée, nombre de rejets par pied (nombre de pieds non productifs).
- **Relevé bimensuel des adventices** présentes sur chaque parcelle élémentaire : richesse spécifique (nom des espèces) et couverture au sol (%) selon une grille de notation visuelle (tableau 2).

Tableau 2 : Grille de notation visuelle du taux de recouvrement en adventices d'après la « Méthode de suivi de la flore des mauvaises herbes – L'évaluation de la flore » par le CIRAD-CA GEC Amatrop en 2001

Pourcentage	***Description du recouvrement***
1 %	Un seul individu recensé
2 %	Espèce présente, mais rare
5 %	Moins d'un individu recensé par m²
10 %	Au moins un individu recensé par m²
30 %	¼ du sol recouvert
50 %	½ du sol recouvert
70 %	¾ du sol recouvert
80 %	Recouvrement fort du sol
90 %	Sol très peu apparent
100 %	Recouvrement total

- **Prélèvements de sol** (0-20 cm) pour analyse, en début de chaque cycle de culture (début de saison des pluies). Différents paramètres sont étudiés : C, N tot, C/N, Passi, CEC, pH eau, granulométrie. La méthode de prélèvement est détaillée dans la section suivante 2.e.
- **Relevé des données climatiques** (température et pluviométrie) avec un enregistreur automatique TinyTag placé à 1,50 m du sol, sur la parcelle élémentaire VU3 de par sa position dégagée (pas d'arbres à proximité, permettant un bon ensoleillement). Des sondes tensiométriques ont également été positionnées le 15/02/2019 sur six parcelles élémentaires afin de disposer de données hydriques et du pouvoir de succion du sol. Sur chacune des parcelles élémentaires sélectionnées (T1, CE1, VU1, CE2,

T2 et VU3), le positionnement des sondes est matérialisé par un piquet en bois de couleur bleue. Deux sondes par parcelle sont enfouies dans le sol, l'une à 20 cm de profondeur et la seconde à 45 cm de profondeur, séparées l'une de l'autre d'une vingtaine de centimètres. La sonde doit régulièrement être remplie d'eau dégazéifiée. Les mesures se prennent à l'aide d'un boîtier électronique dont l'aiguille est plantée à travers le bouchon de la sonde. En raison de l'incohérence des résultats obtenus, les relevés sont abandonnés et les sondes tensiométriques sont retirées du sol le 25/06/2019.

e. Prélèvements et analyses

Le protocole de prélèvement des plantes, des sols et des matières organiques a été élaboré dans le cadre de l'action WP2 du projet BIOFERM (**Tillard et al., 2017**).

- **Prélèvements de sols**

Sur le terrain, les prélèvements de sol se font à l'aide d'une tarière, sur un horizon 0-20 cm (tarière standard). Celui-ci doit être effectué sur un sol à nu (il est recommandé de « nettoyer » le sol des cultures et résidus présents sur la zone de prélèvement).

Afin d'éviter le traitement d'un échantillon contaminé (fèces, etc.) et d'avoir un échantillon représentatif de la parcelle élémentaire, le protocole sera de prélever à deux reprises trois carottes de sols, espacées de 1 m chacune (Figure 4). On veillera à bien enfoncer la tarière sur 20 cm et le cas échéant réaliser le forage (même trou) en 2 ou 3 fois si nécessaire, notamment sur sol sec.

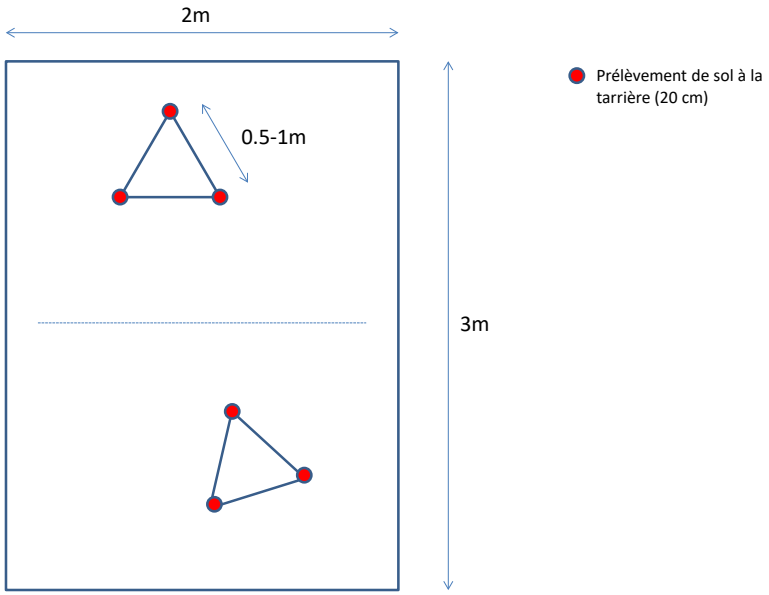


Figure 4 : Schéma d'échantillonnage du sol pour chacune des 9 sous-parcelles. Source : Tillard et al., 2017.

Les six prélèvements menés pour une même parcelle élémentaire seront rassemblés, homogénéisés et placés dans un sachet plastique, fermé, et étiqueté (nom, date, code parcelle et espèce cultivée).

Dans un second temps, au laboratoire, chaque prélèvement est enregistré dans le cahier de laboratoire SOL : [code labo – Exploitant – Date de prélèvement – code de la parcelle – Espèces cultivées]. Le code laboratoire commence par la lettre S à laquelle est incrémentée le numéro du prélèvement (Sx pour le Xe prélèvement de sol) ; pour le différencier des codes Fourrage (Fx), matière organique (Ox) et Plantes (Px).

Le prélèvement Sx est étalé dans une barquette en aluminium propre, tracée et identifiée (portant uniquement le code laboratoire et la date de mise à sécher), en couche fine (2 cm), et pesé. Le poids (sans la barquette) est aussitôt indiqué dans le cahier de laboratoire. Puis le prélèvement est laissé à température ambiante durant

cinq jours, pour un séchage lent, avec 2-3 retournements à l'aide d'un couteau. Au bout de cinq jours, le sol séché est placé dans deux pots à bouchon rouge sur lesquels sont inscrits au marqueur indélébile le code laboratoire. Ces pots sont stockés à température ambiante à l'abri de la lumière. Un de ces deux pots est envoyé au laboratoire du CIRAD de la Réunion pour analyse complète (MS 105 °C, Carbone organique, N total (Dumas), CEC (capacité d'échange cationique), pH, pH KCL, P, K, Mg, Na, Ca), et l'autre reste stocké à Dembeni en archive pour analyse SPIR.

- **Prélèvements de plantes**

Les prélèvements de plantes concernent les prélèvements de biomasse effectués sur les plantes de services lorsque plus de 50% de la culture a atteint la floraison (stade 60-69 de l'échelle BBCH) afin d'évaluer leur production de biomasse. Sur le terrain, un prélèvement par parcelle élémentaire est réalisé. Les plantes de services sont coupées sur 1m² (avec un minimum de cinq plants) à une hauteur de 10cm au-dessus du sol à l'aide d'un sécateur. L'échantillon est placé dans un sac plastique étiqueté (nom, date, code parcelle et espèce cultivée) et placé dans une glacière à 4°C.

Dans un second temps, au laboratoire, chaque prélèvement est enregistré dans le cahier de laboratoire FOURRAGE : [code labo – Exploitant – Date de prélèvement – code de la parcelle – Espèces cultivées]. Le code laboratoire commence par la lettre P à laquelle est incrémentée le numéro du prélèvement (Px pour le Xe prélèvement de sol).

Le prélèvement Px préalablement pesé frais est tout d'abord broyé à l'aide du Viking GE103. Un sous-échantillon suffisant pour remplir une barquette en aluminium est conservé, pesé et identifié en fonction du code laboratoire indiqué dans le cahier de laboratoire. Ce sous-échantillon est séché dans l'étuve pendant 24h à 65°C. Il est ensuite pesé sec et broyé deux fois, à l'aide de l'Electrolux et du Broyeur FOSS. La poudre est placée dans deux pots plastiques de 125 ml au couvercle rouge, étiqueté avec le code laboratoire. Ces pots sont stockés à température ambiante à l'abri de la lumière. Un de ces deux pots est envoyé au laboratoire du CIRAD de la Réunion pour analyse complète, et l'autre reste stocké à Dembeni en archive pour mesure avec l'appareil SPIR (Spectrophotométrie Proche Infra Rouge en vue de comparer les données de N et de C du SPIR avec celles de l'analyse du laboratoire).

f. Test du Tea Bag

La méthode du *Tea Bag Index* est une méthode permettant de mesurer l'activité biologique du sol par comparaison (**Keuskamp et al., 2013**). Le principe de ce test est d'évaluer la dégradation de différents sachets de thé dans le sol par comparaison d'un sachet à l'autre, chacun étant associé à des modalités différentes. Le pourcentage de dégradation du thé contenu dans les sachets étant corrélé à l'activité microbiologique du sol, plus un sachet de thé associé à une modalité est dégradé plus l'activité biologique du sol associée à cette modalité est importante.

Pour se faire, 4 sachets de thé sont prévus par parcelle élémentaire, deux de thé vert, et deux de thé Rooibos, pour un total de 36 sachets par période de 6 semaines. Le protocole est le suivant :

- Mesure du poids initial des 36 sachets de thé auxquels est soustrait le poids de l'emballage (sac, ficelle et étiquette normalisés). Chaque sac de thé est individuellement identifié (numéro de la parcelle élémentaire + G1/2 ou R1/2 respectivement pour les thé vert ou Rooibos) à l'aide d'un marqueur permanent.
- Identification de deux zones sur chaque parcelle élémentaire à l'aide d'un piquet en bois. De part et d'autre de ce piquet sont enfouis les sacs de thé : G1 et R1 sont enfouis à proximité du même piquet ; G2 et R2 à proximité du second piquet de la parcelle élémentaire. Les deux sachets de thé doivent être séparés d'au moins 10 cm, et enfouis à environ 8 cm de profondeur. Les étiquettes restent bien visibles à la surface du sol.

- Retrait des sachets de thé après six semaines ; et positionnement de nouveaux sachets de thé.
- Séchage des sachets de thé pendant 48h à 70°C.
- Pesée des sachets avec ficelle-étiquette et sans ficelle-étiquette.
- Pesée du thé seul après avoir ouvert le sachet et retirer le thé du sachet. Le thé est ensuite intégralement récupéré et mis dans des tubes à essai fermé et étiqueté afin d'être envoyé au laboratoire de la Réunion pour séchage au four à 550°C afin de récupérer les éléments minéraux. En effet, les particules de terre qui pourraient être présentes sur les sachets lors de leur retrait du sol et difficilement visibles à l'œil nu peuvent fausser le poids réel des sachets après passage à l'étuve. Mayotte ne disposant pas d'une tel four, les échantillons sont expédiés au laboratoire du Cirad à la Réunion.
- Calcul du taux de décomposition pour chaque sachet de thé, mis en relation avec la parcelle élémentaire correspondante. Les différents taux de décomposition et de dégradation des éléments minéraux du sol peuvent donc être comparés d'une modalité à l'autre. Suite aux pesées des sacs de thé avant et après avoir été pendant 6 semaines dans le sol, le pourcentage de dégradation du thé est mesuré d'après la formule suivante :

$$Pourcentage\ de\ dégradation = 100 - \frac{100 * \text{Poids initial du thé}}{\text{Poids du thé après 6 semaines}}$$

3. Analyses statistiques

Les analyses réalisées visent à montrer s'il existe des différences significatives entre les trois modalités testées, à savoir l'association *Canavalia ensiformis* / bananier, l'association *Vigna unguiculata* / bananier et la modalité Témoin sans plantes de services. En outre, la croissance (mesure de la circonférence des pseudotroncs et du nombre de rejets) et le rendement (poids et nombre de régimes) des bananiers ayant des plantes de services positionnées en intercalaire seront comparés à ceux appartenant à la modalité Témoin. Des analyses statistiques seront ainsi réalisées. Le développement phénotypique de chaque bananier est détaillé dans l'annexe 1 (date de jetée, date de récolte et poids du régime pour chaque pied).

Le suivi de l'évolution de la croissance des bananiers au cours du temps présente un double objectif. Dans un premier temps, il permet de déterminer si la présence de plantes de services en association permet d'améliorer l'accroissement du développement des bananiers de par un enrichissement des composantes chimiques du sol et donc de par une amélioration de la structure du sol. D'autre part, à l'inverse, s'il est constaté une croissance amoindrie des bananiers, il pourra être fait l'hypothèse de l'existence d'un phénomène de concurrence entre les deux cultures. Ainsi, les circonférences des bananiers de chacune des modalités sont comparées. Des différences significatives sont recherchées par le biais d'une Anova réalisée avec le logiciel Rstudio. En amont des tests de Shapiro-Wilks et de Bartlett sont réalisés afin de vérifier respectivement de la normalité des données et de l'homogénéité des variances.

De même, le nombre de rejets atteste de la vigueur des pieds de bananiers. Une analyse statistique sous le logiciel Rstudio est également réalisée. Suite à des tests de Lilliefors et de Batrlett, un test non paramétrique de Kruskal-Wallis est effectué afin de cherche à mettre en évidence des différences significatives entre modalités.

L'impact de chacune des modalités sur le rendement des bananiers est également recherché. Différents paramètres sont étudiés : le poids des régimes de chaque pied de bananier productif en fonction de la modalité, le rendement obtenu pour chaque parcelle élémentaire, le nombre de régimes produits et le poids moyen pour chacune des parcelles élémentaires. Pour chacun de ces facteurs, deux données sont prises en compte : la donnée réelle (récoltée par l'agriculteur) et la donnée potentielle de la parcelle (incluant les vols et les disparitions de régimes). Dans un premier temps, des analyses descriptives sont réalisées. Puis, des différences significatives sont recherchées entre les différentes modalités par le biais d'analyses statistiques réalisées sur Rstudio. Après vérification de la normalité des données (Shapiro test) et de l'homogénéité des

variances (Bartlett test), des différences significatives ont été recherchées par le biais d'une Anova et d'un test post-hoc de Tukey. Un effet bloc est également recherché pour l'ensemble des facteurs testés précédemment cités.

Enfin, l'hypothèse de cette étude est que les plantes de services apportent des services écosystémiques et agronomiques à la culture principale. De ce fait, la productivité ne doit pas être impactée négativement sur la culture. C'est pourquoi il est important d'évaluer les rendements des bananeraies sous chacune des modalités. Les plantes de services sont donc spécifiquement étudiées. Les stades phénologiques, la durée de couverture au sol, le taux de recouvrement et les valeurs de rendement (biomasses végétales à floraison et à fructification, poids des graines) sont identifiés. Le taux de recouvrement des plantes de services est comparé à celui des adventices. Pour la modalité *Canavalia ensiformis*, il est notamment étudié sous forme de graphique la part d'adventices sur les parcelles élémentaires en comparaison à la part de *Canavalia ensiformis* au cours du temps. Cette étude permet de mettre en évidence la compétitivité de la plante de services sur les adventices à un instant t, mais aussi tout au long de son cycle de croissance.

3. RESULTATS DE L'ESSAI ET DISCUSSION

Nous noterons de manière générale que, en 2019, *Vigna unguiculata* a eu des difficultés à s'implanter et à se développer. Ainsi, pour la modalité qui devait présenter initialement le couvert *Vigna unguiculata*, un sol nu a été mis en place, en comparaison au témoin où la végétation spontanée est laissée. De plus, aucune observation n'a pu être réalisée du 06 février au 10 avril 2018 en raison des mouvements sociaux à Mayotte.

1. Suivi de l'évolution de la croissance du bananier

a. Evolution du pseudotronc

Seule une faible part des bananiers n'a été récoltée par l'agriculteur (Annexe 1), en raison des vols principalement, mais aussi à cause des aléas climatique, comme ce fût le cas de la tempête tropicale Kenneth qui provoqua la chute, et donc la mort de nombreux pieds. De ce fait, pour cette section, ne sont étudiés que les bananiers dont la récolte a pu être effectuée par l'agriculteur, et donc pour lesquels les données de croissance et de développement sont connues dans leur intégralité, jusqu'au régime produit.

Pour chacun de ces bananiers ainsi identifiés, une courbe de croissance a été réalisée en fonction du cumul de pluviométrie (en mm) recensé sur chaque période de 4 semaines entre deux relevés de pseudotronc et en fonction des températures minimales et maximales journalières. La totalité de ces courbes sont visibles en annexe 2. Ainsi, on observe que le pic de croissance des bananiers coïncide généralement avec le pic de pluviométrie.

La circonférence à la jetée et la circonférence maximale des pseudotroncs des bananiers sont résumées dans le tableau 3. En outre, on constate que la circonférence du pseudotronc à la jetée est sensiblement similaire à celle maximale obtenue par le pied de bananier. Les bananiers appartenant à la modalité *Canavalia ensiformis* avaient la circonférence la plus large comparativement aux deux autres modalités, que ce soit la mesure à la jetée ou la mesure maximale relevée (Figure 4). Néanmoins, il s'agit également de la modalité comprenant le moins d'individus.

Tableau 3 : Mesure des circonférences (en cm) moyennes et extrêmes des pseudotroncs ayant porté un régime récolté

		Pseudotronc à la jetée	***Pseudotronc maximal***
Témoin (13 individus)	Moy	46.0	47.2
	Min	38,0	38,0
	Max	51,0	54,0
Canavalia ensiformis *(6 individus)*	Moy	47.5	48.2
	Min	39,0	40,0
	Max	57,0	57,0
Vigna unguiculata *(9 individus)*	Moy	46.7	45.3
	Min	36,0	39,0
	Max	50,0	50,0

Figure 4 : Différence de largeur des pseudotroncs de CE1 (gauche) et VU1(droite) à la jetée

Une Anova effectuée sur les mesures de pseudotronc à la jetée (F=0.615 ; p=0.549) et maximale (F=0.742 ; p=0.487), n'a révélé aucune différence significative entre les modalités de par la superposition des écarts-types (Figure 5). Les modalités testées n'influent donc pas significativement sur le développement du pseudotronc du bananier.

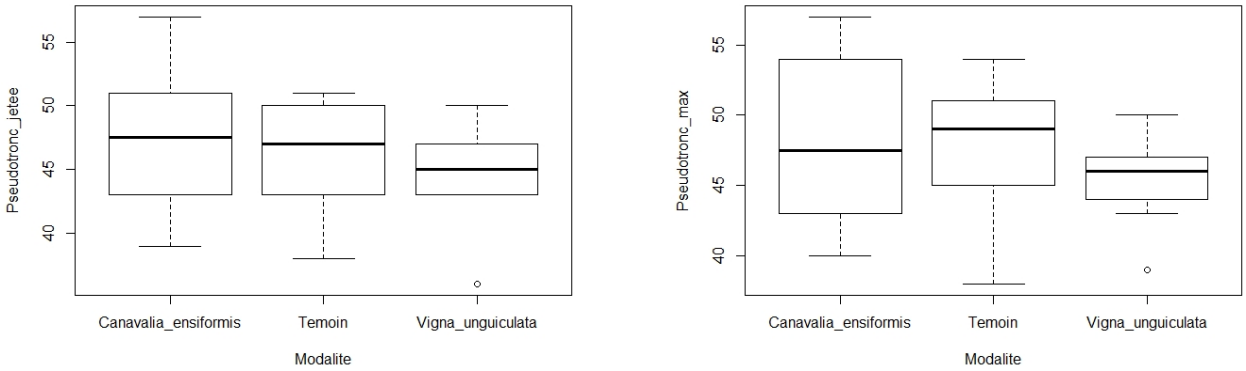


Figure 5 : Boxplot schématisant la répartition des mesures de pseudotronc au moment de la jetée (à gauche) et des mesures maximales de pseudotronc en fonction des modalités

b. Mesure du nombre de rejets

Le nombre de rejets par pied de bananier permet de déterminer la vigueur du bananier (capacité de multiplication). Le tableau 4 récapitule le nombre de rejets recensés à différentes dates du cycle de croissance du pied principal.

Tableau 4 : Données récapitulant le nombre moyen de rejets recensés pour chaque bananier par modalité

		27/06/18	***28/03/19***	***05/06/19***	***03/07/19***	***25/09/19***	***18/12/19***
	Témoin	0.31	1	0.56	NA	0.56	1
Bloc 1	CE	0.06	1.13	0.13	0.88	1	1.81
	VU	0.13	0.69	0.81	NA	0.56	0.81
	Témoin	0.19	0.69	0.75	0.75	0.67	0.25
Bloc 2	CE	0.06	0.29	0.88	0.50	0.57	0.63
	VU	0.06	0.44	0.44	0.56	0.50	0.31
	Témoin	0.06	0.73	0.88	0.50	0.63	0.56
Bloc 3	CE	0	0	0	0	0.067	0.56
	VU	0.06	0.31	0.25	0.25	0.31	0.94
	Témoin	0.19	0.81	0.73	0.63	0.62	0.85
Moyennes	CE	0.04	0.47	0.67	0.46	0.55	0.90
	VU	0.08	0.48	0.50	0.41	0.46	0.69

D'après le tableau ci-dessus, le témoin semble présenter plus de rejets que les deux autres modalités (Figure 5). Un test non paramétrique de Kruskal-Wallis (χ^2=7.4276 ; p=0.02439*), complété par un test post-hoc, vient justifier cette constatation. En effet, la modalité Témoin est significativement différente de celle *Vigna unguiculata* (p=0.028*), mais ne l'est pas de *Canavalia ensiformis* (p=0.132). En outre les deux modalités de plantes de services sont statistiquement identiques (p=1).

Figure 5 : Nombre de rejets recensés sur la parcelle élémentaire T1 (à gauche) et CE1 (à droite)

Les interactions entre modalités et blocs et entre modalités et dates de relevés ont été évaluées, et l'analyse a montré des différences significatives, notamment des différences marquées entre les trois bocs (Blocs 1 et 2, p=0.0000082*** ; Blocs 1 et 3, p=0*** ; Blocs 2 et 3, p=0.0023392**), ce qui justifie d'un effet bloc se répercutant sur la vigueur et le développement des bananiers. D'autre part, des différences significatives ont également été relevées en fonction des différentes dates de suivi (Figure 6). En 2018, il y avait significativement moins de rejets par pied qu'en 2019. De même, le dernier relevé de l'année 2019 (le 18/12/2019) possède plus de rejets de manière significative, ce qui signifie que les bananiers gagnent, et continuent de gagner, en vigueur au cours du temps.

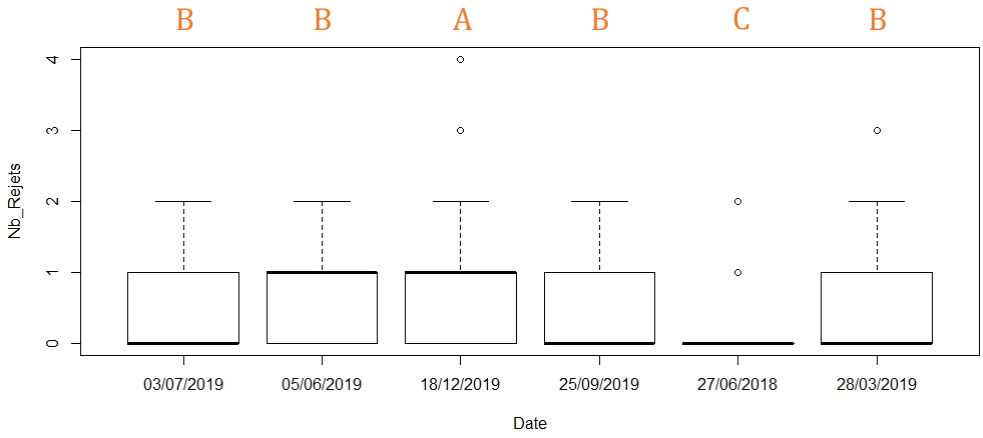


Figure 6 : Boxplot illustrant les différences significatives entre les différentes dates de relevés sur le nombre de rejets comptabilisés par pied de bananier

2. Evaluation des rendements

a. Analyses descriptives

Le tableau 5 résume donc l'ensemble des régimes recensés sur la parcelle. Les régimes disparus correspondent aux régimes n'ayant pas pu être récoltés par l'agriculteur car volés, détériorés (généralement mangés par les makis) ou avortés. Cette dernière catégorie est principalement liée à la chute de nombreux bananiers en cours

de fructification lors de la tempête tropicale Kenneth la semaine du 22 avril 2019. Certains cas isolés correspondent, quant-à-eux, à des chutes d'arbres sur la parcelle, ayant entraînés avec eux des bananiers portant des régimes, dont la fructification a donc été interrompue avant le terme, rendant la récolte impossible.

Tableau 5 : Recensement des régimes présents pour chaque modalité..

	Témoin			***Canavalia ensiformis***			***Vigna unguiculata***		
	Bloc1	**Bloc2**	**Bloc3**	**Bloc1**	**Bloc2**	**Bloc3**	**Bloc1**	**Bloc2**	**Bloc3**
Nbre régimes récoltés	4	4	5	5	1	0	7	1	1
Nbre régimes disparus	9	5	5	8	4	0	4	2	1
Nbre régimes au total	13	9	10	13	5	0	11	3	2

En outre, le tableau 6 récapitule les poids et estimations de rendements pour chacune des modalités, compilant les trois blocs. La colonne de gauche reprend les valeurs des régimes récoltés. La colonne de droite est basée sur les poids des régimes récoltés au réel auxquels sont ajoutées les extrapolations des poids des régimes disparus. Ainsi, il est possible de constater que les régimes volés ou détériorés en raison des chutes de bananiers impactent de manière conséquente le revenu final de l'agriculteur. En effet, les valeurs des rendements estimés à l'hectare sont diminuées de plus de moitié à cause de ces pertes : 57,3% de pertes sont à déplorées sur la modalité Témoin, 65,3% pour *Canavalia ensiformis* et 40,4% pour *Vigna unguiculata*.

Tableau 6 : Recensement des variations de poids et de rendements pour chacune des modalités étudiées

	Etude sur les régimes récoltés			***Etude sur l'ensemble des régimes***		
	Témoin	CE	VU	Témoin	CE	VU
Nombre de régimes	13	6	9	32	18	15
Poids minimal (en kg)	3	6	4	2	4	3
Poids maximal (en kg)	18	15	16	18	18	16
Poids moyen (en kg)	10.23	9.50	8.33	9.69	9.11	8.33
Poids total (en kg/126m²)	133	57	75	310	164	125
Rendement estimé (t/ha)	10.5	4.5	5.9	24.6	13.0	9.9

Visuellement, il semblerait que les modalités disposant de plantes de services possèdent moins de régimes que sur la modalité Témoin. En revanche, la modalité *Canavalia ensiformis* a un poids minimal supérieur aux deux autres modalités. En ce qui concerne le poids moyen des régimes recensés sur les différentes modalités, le Témoin a le poids moyen le plus élevé, suivi de *Canavalia ensiformis,* puis *Vigna unguiculata* (à noter qu'il s'agit en fait d'un sol nu). Le rendement du Témoin est 45 à 60% plus élevé que le rendement des deux autres modalités.

Les boîtes à moustache de la figure 7 corroborent les remarques précédentes. En effet, le témoin semble, de manière générale, se détacher des deux autres modalités étudiées.

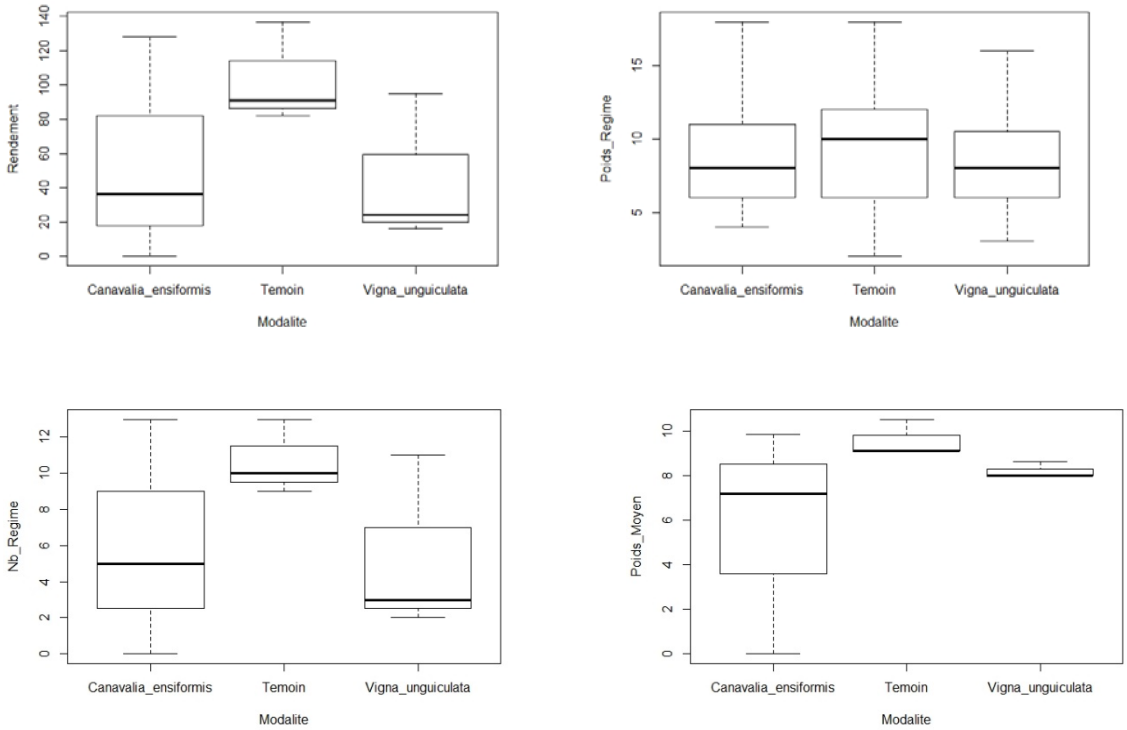


Figure 7 : Boxplot représentant la répartition : des données de rendement (en haut à gauche), de poids par régime (en haut à droite) ; du nombre de régimes recensés (en bas à gauche) ; et de poids moyen (en bas à droite) pour chaque modalité, regroupant l'ensemble des blocs

b. Analyses statistiques

Dans un premier temps, des différences entre les poids des régimes recensés pour chacune des modalités de la parcelle d'essai ont été recherchées. Suite à une Anova réalisée, ayant pour variable le poids des régimes et pour facteurs en interaction la modalité et le bloc, aucune différence significative n'a été relevée. Des analyses supplémentaires ont été effectuées à partir du tableau suivant (Tableau 7).

Tableau 7 : Bilan des estimations de rendements pour chaque bloc de chaque modalité

	Bloc	***Rendement (kg/126 m²)***	***Nombre de régimes***	***Poids moyen régime***
Témoin	1	137	13	10,5
	2	82	9	9,1
	3	91	10	9,1
Canavalia ensiformis	1	128	13	9,9
	2	36	5	7,2
	3	0	0	0,0
Vigna unguiculata	1	95	11	8,6
	2	24	3	8,0
	3	16	2	8,0

Il a été démontré qu'il existe des différences significatives entre les blocs en ce qui concerne le rendement de chaque parcelle élémentaire (p=0,0256*) et le nombre de régimes sur chaque parcelle élémentaire

(p=0,0177*). Ainsi, le bloc 1 est significativement différent des deux autres en ce qui concerne les rendements et le nombre de régimes par parcelle élémentaire.

Le poids moyen des régimes recensés pour chaque parcelle élémentaire a également été analysé. Dans ce cas également, l'Anova réalisée met en évidence des différences significatives entre blocs (p=0.0232*), avec notamment le bloc 1 qui se détache des deux autres. L'Anova, grâce au test post-hoc de Tukey, fait également ressortir une différence significative pour les modalités, et notamment entre *Canavalia ensiformis* et le Témoin (p=0,04893*), ainsi que pour l'interaction bloc/modalité (p=0,0463*).

Pour conclure, les résultats semblent largement influencés par un effet bloc, qui joue sur les résultats d'estimation de rendements de chaque parcelle élémentaire, le bloc 1 ayant fourni beaucoup plus de régimes, impactant ainsi le rendement potentiel de ce bloc sur les deux autres. En revanche, même s'il semblerait, visuellement, que les régimes recensés sur la modalité Témoin soient plus gros et plus nombreux que sur les deux modalités de plantes de services, aucune différence significative n'est visible à ce stade de l'étude. Seul le poids moyen des régimes recensés par parcelle élémentaire révèle une différence significative (Figure 8).

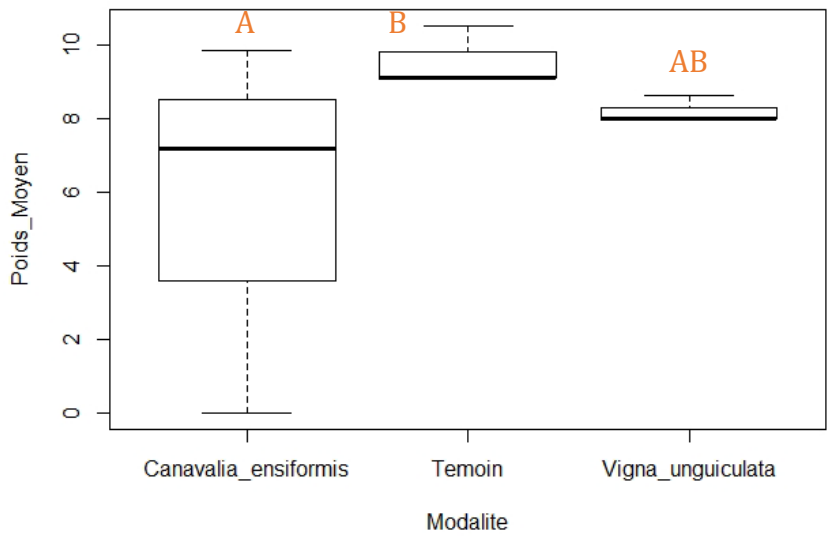


Figure 8 : Boxplot illustrant la significative différence entre Canavalia ensiformis et le Témoin en ce qui concerne le poids moyen des régimes recensés (p=0.04893)*

3. Suivi du développement des plantes de services et de la flore spontanée

Alors qu'un seul cycle de récolte a été effectué (tout au long de l'année 2019), la parcelle d'essai a déjà accueilli deux cycles de développement de plantes de services, le premier lors de la saison des pluies de 2018, et le second lors de la saison des pluies de 2019. A noter qu'en 2018, aucune modalité Témoin n'avait été mise en place. En effet, la troisième modalité, dénommée A, correspondait à une association de *Canavalia ensiformis* et *Vigna unguiculata.* Cette modalité a été abandonnée en 2019 pour être remplacée par une modalité Témoin correspondant à un sol enherbé.

En 2019, la modalité *Vigna unguiculata* a connu également des difficultés d'implantation. De ce fait, la modalité initialement prévue pour accueillir des plantes de services a été remplacée par une modalité Sol nu, avec une végétation spontanée laissée la plus rase possible.

Le tableau 8 récapitule les traits de vie de croissance de *Canavalia ensiformis* et de *Vigna unguiculata* sur les années 2018 et 2019. En ce qui concerne *Canavalia ensiformis*, les cycles sont sensiblement similaires en 2018 et 2019, et ce malgré un décalage d'un mois dans le semis.

Tableau 8 : Traits de vie des différentes plantes de services sur les années 2018 et 2019 (NJ= nombre de jours)

			Semis	***Levée***	***Floraison***	***Fructification***	***Récolte***	***Senescence***
Canavalia ensiformis	2018	Date	09/01	18/01	07/03	15/04	23/06	10/10
		NJ	0	9	57	96	165	274
	2019	Date	06/12	15/12	07/02	13/03	20/06	10/08
		NJ	0	9	63	97	196	247
Vigna unguiculata	2018	Date	09/01	25/01	20/02	05/04	NA	16/05
		NJ	0	16	42	86	NA	127
	2019	Date	07/12	15/12	-	-	-	-
		NJ	0	5	-	-	-	-

Le cycle de *Canavalia ensiformis* est nettement plus long que celui de *Vigna unguiculata* ce qui assure donc une couverture du sol plus longue. Cette différence de couverture temporelle du sol est schématisée sur la figure 9.

Figure 9 : Cycle de vie de Canavalia ensiformis et Vigna unguiculata

La figure 10 représente l'évolution du taux de couverture global pour les trois modalités dans le temps. Une première constatation concerne la modalité *Vigna unguiculata*. En effet, malgré des désherbages réguliers des modalités *Vigna unguiculata* pour tenter de maintenir un couvert ras (une fois tous les 6 semaines environ), la végétation spontanée croît très vite. Sa courbe est donc très souvent mêlée à celle du Témoin, même si elle reste souvent en dessous. On peut donc constater qu'il est difficile de maintenir un sol nu en raison de la vitesse de développement de la flore spontanée.

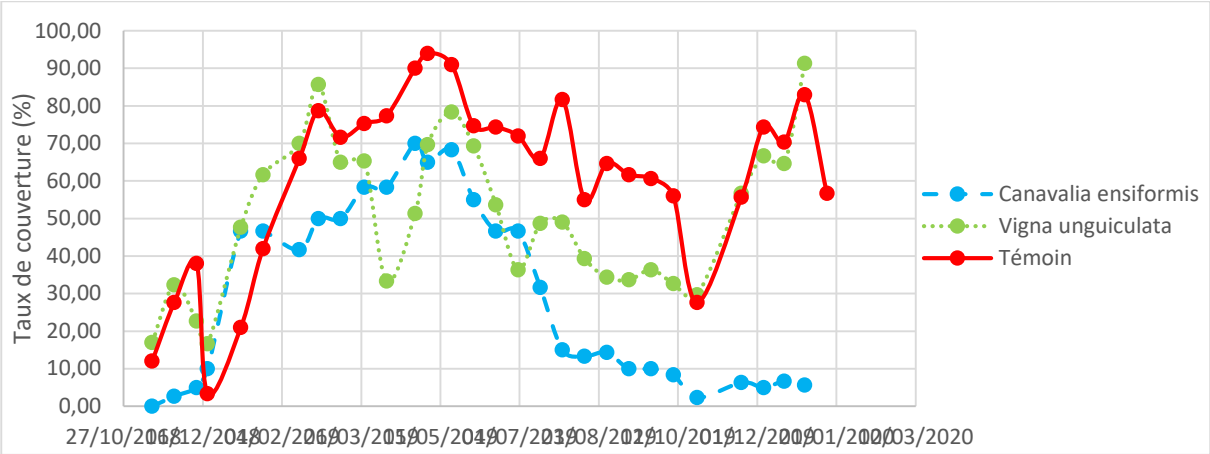


Figure 10 : Taux de recouvrement de Canavalia ensiformis seule, en fonction du taux de recouvrement des adventices pour les deux autres modalités (Témoin et Vigna unguiculata)

En outre, *Canavalia ensiformis* semble avoir un taux de couverture au sol intéressant, même si sa courbe reste en-dessous de celle du Témoin. D'après les chiffres, sur la moyenne des 3 blocs, le taux de couverture maximal de *Canavalia ensiformis* est de 70% et dure une vingtaine de jours à partir du 29/04/2019 (Figure 11). Le taux de couverture est supérieur à 50% pendant environ 175 jours (du 09/01/2019 au 03/07/2019) et est supérieur à 60% pendant environ 55 jours (du 28/03/2019 au 22/05/2019), pour une durée totale de son cycle de croissance de 247 jours entre le semis et la senescence.

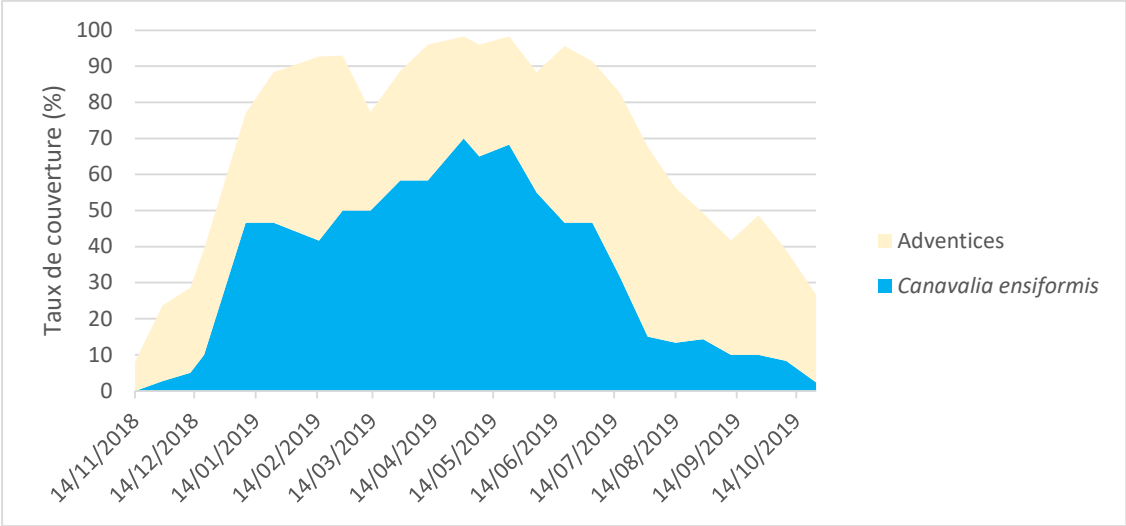


Figure 11 : Part des taux de couverture moyens de Canavalia ensiformis par rapport aux adventices

Le graphique précédent met en évidence le fait que les adventices, toutes espèces confondues, restent bien présentes sur les parcelles élémentaires de la modalité *Canavalia ensiformis*. Le taux de couverture maximal des adventices sur ces parcelles est de 52,7% au 31/07/2019. Ce chiffre est très inférieur au taux de recouvrement maximal atteint sur les parcelles élémentaires de la modalité Témoin (dépassant les 90% entre le 29/04 et le 22/05/2019) et de la modalité *Vigna unguiculata* (compris entre 65 et 85% entre le 15/02 et le 28/03/2019), mais est tout de même conséquent. *Canavalia ensiformis* est donc une plante de services peu compétitive face aux adventices se développant sur la parcelle.

Néanmoins, le taux élevé de recouvrement par les adventices, associé à celui de *Canavalia ensiformis* engendre des taux de couverture du sol supérieurs à 80% sur une durée relativement longue (plus de 6 mois), s'étalant du 09/01/2019 au 17/07/2019.

Parmi les adventices, *Listea glutinosa*, communément appelée Avocat marron, est l'espèce la plus envahissante. A elle seule, elle couvre de 10 à 60 % de la surface des parcelles en tout temps (saison sèche et saison des pluies). Deux autres espèces sont également très présentes, mais une fluctuation du taux de recouvrement est visible en fonction de la saison : *Acalypha indica* et *Brachiaria umbellata* recouvrent de 5 à 30 % du sol en saison des pluies et seulement 0 à 5 % du sol en saison sèche (de juillet à novembre). Trois espèces sont recensées tout au long de l'année sur l'ensemble des modalités, mais ne représentent qu'un faible taux de recouvrement du sol, plafonnant au maximum à 10 % : *Flueggea virosa, Ipomea spp.,* et *Mariscus alternifolius.* Enfin, *Sida urens* a été exclusivement dénombrée en saison sèche, de juillet à octobre, avec un taux de recouvrement fluctuant entre 5 et 15 %.

Les valeurs de biomasse à la floraison et à la fructification, ainsi que le rendement des plantes de services, sont présentés dans le tableau 9. La biomasse (tiges et feuilles) constitue un indicateur pour l'alimentation animale, alors que le rendement des gousses obtenu est un indicateur pour l'alimentation humaine

Tableau 9 : Données récapitulatives des données de biomasse et de rendement obtenues sur les deux cycles de production

			Humidité (%)	***Rendement (t/ha)***
2018	Biomasse à la Floraison	*Canavalia ensiformis*	81% H	3.1 t MS/ha
		Vigna unguiculata	86% H	1.2 t MS/ha
	Rendement en graines	*Canavalia ensiformis*	NA	2.1 t/ha
2019	Biomasse à la Floraison	*Canavalia ensiformis*	72% H	1.1 t MS/ha
	Biomasse à la Fructification	*Canavalia ensiformis*	76% H	2.2 t MS/ha
	Rendement en graines	*Canavalia ensiformis*	NA	0.67 t/ha

En 2018, *Canavalia ensiformis* a produit plus de biomasse à la floraison que *Vigna unguiculata.* Cette dernière présente donc un intérêt moindre pour l'alimentation animale. Il serait toutefois nécessaire de connaître la richesse nutritive de ces deux espèces. En 2019, la biomasse de *Canavalia ensiformis* est nettement amoindrie par rapport à celle de 2018. Or, en 2019, le couvert a connu des difficultés d'implantation, notamment le bloc 3. Le sol étant sec sur cette parcelle élémentaire, *Canavalia ensiformis* était lianescent, relativement ligneux. D'autre part, le bloc 1, relativement rocheux, a rendu la culture plus éparse. Ces raisons peuvent également justifier de la différence significative au niveau du rendement en graines entre les deux années.

Un effet bloc est en effet visible dans la majeure partie de l'étude. En effet, un gradient est visible sur la parcelle. Le bloc 1 est plus rocailleux, plus ombragé, et donc plus humide que le bloc 2 et le bloc 3, ce dernier étant le bloc le plus sec. Les différents blocs correspondent également avec le sens de la pente. Le bloc 1 est situé le plus haut, et le bloc 3 le plus bas dans la pente. Or, le bloc 1 est le bloc présentant les rendements les plus élevés. Il est possible que l'humidité du sol joue en faveur des cultures, notamment en saison sèche lorsque les bananiers souffrent de l'absence d'irrigation. De plus, la présence de rochers dans le bloc 1 peut permettre de tenir le sol et de limiter le lessivage, contrairement aux deux autres blocs. Le bloc 1 ayant alors un sol plus riche (plus d'éléments minéraux car moins de lessivage, plus d'humus car plus humide) que celui des deux autres blocs, cela justifierait de la variation de rendements entre les blocs : en effet, le bloc présente de nombreux régimes, alors que le bloc 2 et 3 a un rendement bien plus faible. Les bananiers du bloc 3 ont notamment des difficultés de croissance. En effet, en 2019, les pieds sont restés chétifs. En octobre 2019, des PIF de bananiers sont venus remplacés les précédents. Ceux-ci ont gagné en vigueur depuis.

4. Suivi de l'évolution de la qualité du sol

a. Analyses de sol

Depuis la mise en place de cet essai, trois prélèvements de sol ont été effectués pour analyses : les 16/02/2018 et 28/10/2018 (avant et après le premier cycle de culture de plantes de services), ainsi que le 02/10/2019 (en fin du second cycle de culture de plantes de services). Le tableau 10 récapitule l'ensemble des informations de sol recueillies, les résultats d'analyses du troisième prélèvement n'étant pas encore connues.

Tableau 10 : Moyenne des données chimiques obtenues sur les parcelles élémentaires de chaque modalité à deux dates

		N (‰)	***P (mg/kg)***	***K (mg/kg)***	***CEC (me/100g)***	***Ca (me/100g)***	***Mg (me/100g)***	***C (%)***	***Na (me/100g)***
Canavalia ensiformis	16/02/18	2.59	40.94	0.30	12.98	9.05	3.52	2.61	0.14
	28/10/18	4.88	53.75	0.12	22.89	17.20	5.68	5.22	0.13
Vigna unguiculata	16/02/18	2.58	36.76	0.11	11.11	7.81	3.19	2.52	0.07
	28/10/18	4.31	36.66	0.03	18.30	13.12	4.89	4.22	0.11

Témoin	16/02/18	2.81	38.58	0.11	13.74	10.21	3.78	2.75	0.08
	28/10/18	4.70	54.39	0.02	19.61	15.09	4.70	4.83	0.11

En 2018, le Témoin était une association *Canavalia ensiformis* et *Vigna unguiculata.* Il n'y a donc pas de vrai témoin sans plantes de services apportant des bénéfices au sol. Néanmoins, il est possible de constater que des variations sont notables entre la date 1 et la date 2, et ce pour les trois modalités (Figure 12).

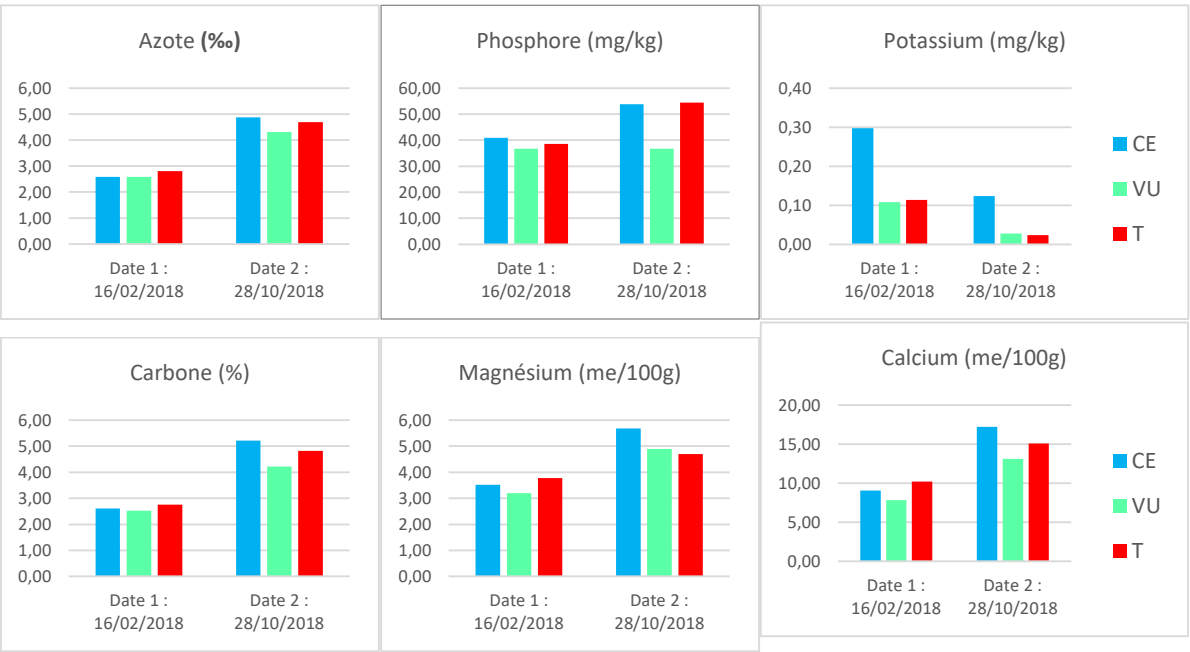


Figure 12 : Evolution de la composition du sol en divers éléments chimiques à deux dates de prélèvements

De manière générale, les éléments chimiques sont présents dans des proportions plus importantes à la seconde date, soit à la fin du premier cycle de culture des plantes de services installées. En revanche, aucune des modalités de plantes de services testées ne se dissocie des autres. Néanmoins, *Canavalia ensiformis* semble enrichir le sol de manière plus conséquente, suivi ensuite de l'association *Canavalia ensiformis / Vigna unguiculata* et en dernier *Vigna unguiculata* seul.

Il faudra attendre les résultats d'analyses des prélèvements supplémentaires afin de pouvoir analyser statistiquement si les plantes de services permettent d'enrichir le sol en éléments chimiques.

b. Analyses du Tea Bag Index (TBI)

Les résultats obtenus suite au premier séchage à 70°C sont centralisés sur la figure 13. En effet, les résultats issus du séchage au four à 550°C au laboratoire de la Réunion ne sont pas encore connus.

D'après le graphique, on constate une différence notable du taux de dégradation entre le thé Rooibos (variant entre 30 et 70%) et le thé Vert (variant entre 10 et 45%). Le thé vert est donc moins dégradé par les microorganismes du sol que le thé Rooibos.

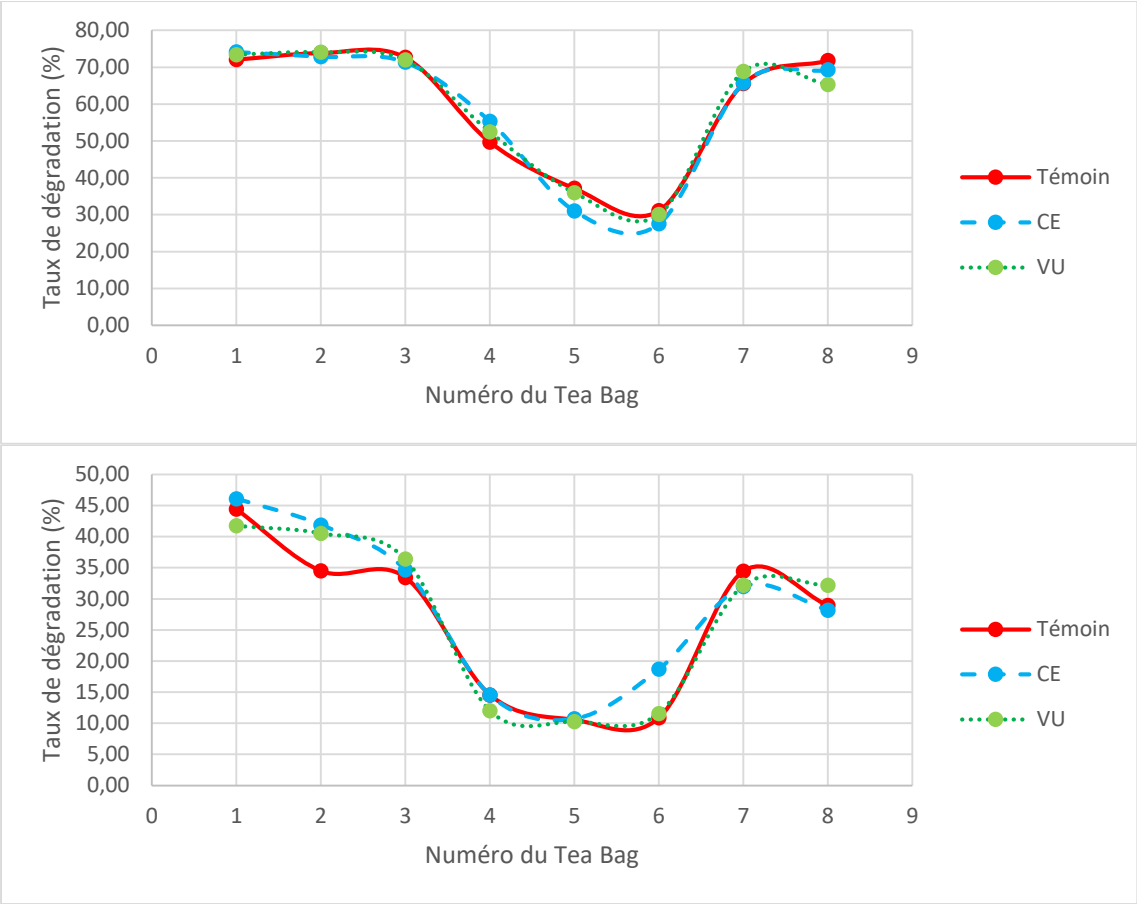


Figure 13 : Taux de dégradation du thé Rooibos (en haut) et du thé vert (en bas) en fonction du temps d'après la moyenne obtenue pour chaque modalité testée

Un décrochage est constaté entre TB3 et TB7 pour les deux courbes (thé Rooibos et thé Vert). Or, d'après le tableau 11 permettant d'associer le numéro de chaque Tea Bag (TB) à la date d'enfouissement et à la date de prélèvement correspondants, il s'agit de la période comprise entre fin avril et début octobre. Ce fort ralentissement de la dégradation du contenu des sachets de thé semble donc corrélé à la saison sèche, la forte diminution de la pluviométrie engendrant une diminution de l'humus au sol et donc une diminution de l'activité microbienne.

Tableau 11 : Correspondances des numéros de Tea Bag (TB) avec les dates d'enfouissements et de prélèvements

	TB1	***TB2***	***TB3***	***TB4***	***TB5***	***TB6***	***TB7***	***TB8***
Date de prélèvement	19/01	06/03	17/04	12/06	24/07	04/09	16/10	21/11
Date d'enfouissement	21/02	12/04	22/05	17/07	28/08	09/10	21/11	24/12

Enfin, les courbes de dégradation du thé Rooibos sont sensiblement identiques, presque superposées, pour les trois modalités. En revanche, les courbes correspondant à la dégradation du thé Vert des trois modalités diffèrent, même si elles gardent la même allure générale. En effet, la chute de la courbe Témoin est plus rapide et plus précoce que celle des deux autres modalités, et notamment que celle de *Canavalia ensiformis* (CE).

De même, les courbes du Témoin et de *Vigna unguiculata* augmentent plus tardivement. La courbe de *Canavalia ensiformis* est donc plus souvent au-dessus des deux autres courbes, ce qui traduit une capacité de dégradation par les microorganismes du sol plus importante pour la modalité *Canavalia ensiformis* que pour les deux autres en période sèche.

4. CONCLUSION

Les résultats observés sur l'association de *Canavalia ensiformis* avec des bananiers ont montré les bienfaits qu'apporte cette légumineuse en termes de compétition vis-à-vis des adventices et de recouvrement du sol (lutte contre l'érosion). En effet, son fort pouvoir couvrant lui confère des propriétés intéressantes au niveau du sol, car le protège de sa potentielle dégradation, mais aussi de la végétation spontanée. En effet, d'une part, cette plante de services a couvert le sol pendant environ 9 mois, que ce soit en 2018 et en 2019, ce qui ne laisse un sol nu fragilisé et sensible à l'érosion que 3 mois sur l'année. D'autre part, son taux de couverture maximal s'élève à 70%, limitant le développement d'adventices.

Ainsi, les plantes de services créent une barrière physique gênant la germination et l'émergence d'adventices non souhaitées sur la parcelle (**Liebman & Davis, 2000** ; **Baastians et al., 2007** ; **Damour et al., 2015)**. En effet, il se crée un phénomène de concurrence pour les ressources (**Berger et al., 2008)**. D'une part, le système racinaire des plantes de services utilise les ressources du sol, qui ne sont alors plus disponibles pour les adventices, rendant la germination et le développement plus difficiles. D'autre part, le fort pouvoir couvrant de la culture au niveau du sol engendre de l'ombre pour les adventices situées en dessous, limitant ainsi l'accès à la lumière, indispensable au développement de la plantule. *Canavalia ensiformis* semble donc présenter un intérêt conséquent en ce qui concerne la gestion de la flore spontanée envahissante.

Toutefois, les bienfaits de *Canavalia ensiformis* ne sont pas aussi remarquables sur la culture de bananiers à laquelle elle a été associée. En effet, la croissance du pseudotronc du bananier était identique pour les trois modalités, et le nombre de rejets générés par le pied principal était moins important pour les modalités *Canavalia ensiformis* et *Vigna unguiculata* que pour la modalité Témoin. De plus, aucune différence significative n'était également visible entre les modalités lorsque les différentes variables de rendement étaient étudiées.

Malgré que plusieurs auteurs ont démontré l'intérêt des plantes de services sur l'amélioration de la structure et des composantes chimiques du sol, notamment en azote (**Palm et al., 2001** ; **McIntyre et al., 2001** ; **Finney el al., 2016**), les interactions entre les communautés végétales au sein du champ cultivé (plantes de services et bananiers) peuvent limiter leur efficacité. Ainsi, des études ont révélé l'existence de phénomènes de compétition aux ressources du sol en cas d'interaction entre les zones d'exploration des racines (**Berger et al., 2008** ; **Casper & Jackson, 1997**) et des phénomènes d'allélopathie (**Belz, 2007** ; **de Albuquerque et al., 2011**). Il s'agit d'un mécanisme par lequel la plante relâche des molécules, jouant ainsi sur la germination des graines, mais aussi sur la physiologie de la plante, sa croissance et sa survie. L'évolution de la richesse du sol ne pouvant pas être analysée à ce stade de l'étude, il est difficile d'en tirer des conclusions. Il pourrait ainsi être intéressant de déterminer si un phénomène d'allélopathie est détecté entre les bananiers et *Canavalia ensiformis,* ou s'il s'agit seulement d'un phénomène de concurrence des ressources du sol (eau et nutriments).

Différentes densités de semis de plantes de services pourraient être testées, notamment pour limiter le caractère étouffant que pourrait avoir *Canavalia ensiformis* sur les bananiers. Des associations de diverses plantes de services pourraient également être expérimentées pour élargir le choix des espèces disponibles et le panel des services rendus.

Canavalia ensiformis présente des propriétés intéressantes et valorisables. Néanmoins, il est important de trouver un équilibre afin que cette plante de services puisse apporter tous ses bénéfices, notamment au niveau de l'enrichissement du sol (stockage de l'azote et incorporation d'autres éléments du sol, bon engrais vert), sans toutefois venir étouffer la culture principale et puiser dans ses ressources, empêchant ainsi les bananiers de pleinement bénéficier des atouts qu'apporte *Canavalia ensiformis*. De plus, *Canavalia ensiformis* est valorisable au niveau de l'alimentation, à la fois humaine et animale.

BIBLIOGRAPHIE

Alim'agri. (2011). Lycée agricole de Coconi : un institut technique pour bientôt [WWW Document]. Alim'agri. URL http://agriculture.gouv.fr/lycee-agricole-de-coconi-un-institut-technique-pour-bientot.

Autfray P., Ferlat C., Chadouli O., Vandamme A. (2004). Perception et utilisation par les paysans d'espèces végétales spontanées à Mayotte. *Naturalistes, Historiens et Géographes de Mayotte*, 9: 27-37.

Balandier M.L. (2017). Co-designing innovative cropping systems using cover crops. *Minor thesis report Wageningen University & Research, ESA Angers*, Cirad, 79 p.

Barthès, C. (2003). L'état et le monde rural à Mayotte. *KARTHALA Editions*, Paris, 250 p.

Bastiaans L., Zhao D.L., Den Hollander N.G., Baumann D.T., Kruidhof H.M., Kropff M.J. (2007). Exploiting Diversity to Manage Weeds in Agro-Ecosystems. *Springer*, Dordrecht, Netherlands

Belz R.G. (2007). Allelopathy in crop/weed interactions and update. *Pest Management Science*, 63: 308-326.

Berger U., Piou C., Schiffers K., Grimm V. (2008). Competition among plants: concepts, individual-based modelling approaches, and a proposal for a future research strategy. *Perspective in plant ecology, evolution and systematics*, 9: 121-135.

Casper B.B., Jackson R.B. (1997). Plant competition underground. *Annual review of ecology, evolution and systematics*. 28: 545-570.

Chabalier, P.-F. (2006). Appui au volet agronomie CIRAD Mayotte. Fertilité physique et chimique des sols, utilisation des boues d'épuration en compost : mission du 25 au 31 octobre 2006. CIRAD, 18 p.

Chabierski S. (2003). Systèmes de culture et pratiques paysannes à Mayotte : quelles perspectives pour les systèmes à base de couverture végétale ? *Mémoire de fin d'études ingénieur*. CNEARC Montpellier, CIRAD, 88 p.

DAAF Mayotte. (2011). Chiffres clés du recensement agricole Mayotte 2010. 4 p.

De Albuquerque M.B., Dos Santos R.C., Lima L.M., Melo P.D., Nogueira R., Da Camara C.A.G., Ramos A.D. (2011). Allelopathy, an alternative tool to improve cropping systems. *A review. Agronomy for Sustainable Development,* 31: 379-395.

Deltreuil V. (2016). Mise en place d'une collection de plantes de services locales et caractérisation des traits de vie à Mayotte. *Stage de césure AgroParisTech*, CIRAD, 4 4p.

Finney D., White C., Kaye J. (2016). Biomass production and Carbon/Nitrogen ratio influence ecosystem services from cover crop mixtures. *Organic Agriculture & Agroecology,* 108 : 39-52.

Froemer H. (2017). Co-conception de systèmes de culture innovants à Mayotte, gestion de la fertilité des sols en bananeraie par l'utilisation de plantes de services. *Stage de césure AgroParisTech*, CIRAD, 61 p.

Keuskamp J.A., Dingemans B.J.J., Lehtinen T., Sarneel J.M., Hefting M.M. (2013). Tea Bag Index: a novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems. Methods in Ecology and Evolution, 4: 1070–1075.

Lancashire P., Bleiholder H., Van den Boom T., Langelüddeke P., Stauss R., Weber E., Witzenberger A. (1991). A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Annals of Applied Biology.* Vol 119, No. 3 : 569-601.

Latrille, E. (1981). Inventaire des terres cultivables et de leurs aptitudes culturales. *Institut de recherches agronomiques tropicales et des cultures vivrières*, IRAT, Montpellier, France, 71 p.

Lefevre V. (2013). Conception de systèmes de culture innovants pour améliorer le fonctionnement des sols en agriculture biologique. AgroParisTech, Paris. *Thèse de doctorat*, 273 p.

Liebman M., Davis A.S. (2000). Integration of soil, crop and weed management in lowexternal-input farming systems. *Weed Res*., 40: 27:47.

Lopez J.-M., Lidon B., Bozza J.-L. (2015). Feuille de Route Erosion Mayotte : Phénomènes et causes de l'érosion des sols en milieu agricole. 14 p.

McIntyre B., Gold C., Kashaija I., Ssali H., Night G., Bwamiki D. (2001). Effects of legume intercrops on soil-borne pests, biomass, nutrients and soil water in banana. *Biol Fertil Soils,* 34: 342-348.

Michellon, R. (2003). Création de systèmes agricoles durables avec couverture végétale permanente à Mayotte. Cirad, 30 p.

Palm C., Gachengo C., Delve R., Cadish G., Giller K. (2001). Organic inputs for soil fertility management in tropica agroecosystems : application of an organic resource database. *Agriculture, Ecosystems & Environment,* 83: 27-42.

Tillard E., Huat J., Thuries L., Rakotomanga D., Aïcé I., Touffa M., Yahaya N. (2017). Protocole d'essai – Réseau d'Innovation et de Transfert Agricole, Projet BIOFERM, Action « Evaluation de l'impact agronomique et environnemental de la fertilisation organique des parcelles de culture fourragère, vivrière et maraîchère » (juin 2016 – décembre 2017), CIRAD, Mayotte, 21 p.

Vandamme A. (2001). Diagnostic sur les espèces spontanées à Mayotte. Perception et utilisation de ces espèces par les paysans. Quelques conséquences sur la mise au point de systèmes agro-écologiques. *Mémoire de fin d'études ingénieur ISTOM Cergy-Pontoise*, CIRAD, 75 p.

Van Donk S., Klocke N.L. (2012). Tillage and Crop Residue Removal Effects on Evaporation, Irrigation Requirements, and Yield. *Proceedings of the 24st Annual Central Plains Irrigation Conference, Colby, Kansas, February 21-22*, 9 p.

Weber E., Bleiholder H. (1990). Eplanations of the BBCH decimal codes for the growth stages of maize, rape, faba beans, sunflowers and peas with illustrations. *Gesunde Pflanzen,* Vol. 42, No. 9 : 308-321.

ANNEXES

Annexe 1 : Suivi phénologique des bananiers de l'essai

Légende

NC	Non connue (la date de jetée n'est pas connue)
	Absence de régimes pour le pied de bananier correspondant
	Régime volé ou malade (le poids entre parenthèses est estimé)
	Chute du bananier (le poids du régime entre parenthèses est estimé quand régime il y a eu)

	Modalité	Bananier	Date jetée	Date récolte	Poids récolte
Bloc 1	Témoin	B1	NC	25/08/2019	5
		B2	10/12/2019	18/12/2019	Malade (2)
		B3	NC	24/09/2019	5
		B4	NC	08/06/2019	Vol (12)
		B5	NC	10/04/2019	Vol (15)
		B6	NC	08/06/2019	Vol (14)
		B7	13/03/2019	10/06/2019	18
		B8			
		B9	27/02/2019	01/06/2019	Vol (12)
		B10	13/03/2019	08/06/2019	Vol (11)
		B11	20/03/2019	08/06/2019	Vol (15)
		B12	NC	17/07/2019	12
		B13	NC	29/04/2019	Mort (6)
		B14	NC	29/04/2019	Mort (10)
		B15		29/04/2019	Mort
		B16		29/04/2019	Mort
	Canavalia ensiformis	B1	15/05/2019	04/07/2019	11
		B2	20/03/2019	08/06/2019	Vol (6)
		B3	20/03/2019	10/06/2019	12
		B4	05/03/2019	10/06/2019	15
		B5			
		B6	NC	29/04/2019	Mort (11)
		B7			
		B8	NC	08/06/2019	Vol (18)
		B9	NC	01/06/2019	Vol (12)
		B10	NC	29/04/2019	Mort (4)
		B11	NC	29/04/2019	Mort (8)
		B12	21/06/2019	24/09/2019	7
		B13			
		B14	21/06/2019	24/09/2019	6
		B15	NC	29/04/2019	Mort (10)
		B16	28/06/2019	24/09/2019	Malade (8)
	Vigna unguiculata	B1			
		B2			
		B3	10/04/2019	06/09/2019	Malade (3)

		B4	10/04/2019	04/07/2019	7
		B5			
		B6	25/04/2019	25/08/2019	7
		B7	25/04/2019	17/07/2019	9
		B8	10/03/2019	10/06/2019	12
		B9	10/03/2019	10/06/2019	11
		B10	10/03/2019	10/06/2019	16
		B11	28/08/2019	28/08/2019	14
		B12			
		B13			
		B14	03/07/2019	24/09/2019	Malade (5)
		B15	28/03/2019	05/06/2019	Vol (14)
		B16	NC	29/04/2019	Mort (7)
Bloc 2	Vigna unguiculata	B1	10/03/2019	10/06/2019	10
		B2	03/07/2019	11/09/2019	Malade (4)
		B3			
		B4		24/10/2019	Mort
		B5		24/10/2019	Mort
		B6		24/10/2019	Mort
		B7		24/10/2019	Mort
		B8		29/04/2019	Mort
		B9	17/07/2019	24/10/2019	Vol (10)
		B10		29/04/2019	Mort
		B11			
		B12		24/10/2019	Mort
		B13		29/04/2019	Mort
		B14			
		B15		29/04/2019	Mort
		B16		29/04/2019	Mort
	Canavalia ensiformis	B1		29/04/2019	Mort
		B2		29/04/2019	Mort
		B3	03/07/2019	11/09/2019	Malade (5)
		B4		07/05/2019	Mort
		B5		29/04/2019	Mort
		B6		25/09/2019	Mort
		B7			
		B8		25/09/2019	Mort
		B9		25/09/2019	Mort
		B10			
		B11	03/07/2019	11/09/2019	Malade (8)
		B12	NC	15/04/2019	Vol (10)
		B13		29/04/2019	Mort
		B14	10/04/2019	04/07/2019	6
		B15	/ 03/07/2019	29/04/2019 11/09/2019	Mort Malade (7)
		B16		24/10/2019	Mort
	Témoin	B1	10/12/2019	18/12/2019	Vol (7)
		B2	10/03/2019	10/06/2019	11
		B3			
		B4			

		B5			
		B6	25/07/2019	24/10/2019	Malade (6)
		B7	05/06/2019	17/07/2019	3
		B8	NC	19/06/2019	Vol (12)
		B9	10/03/2019	10/06/2019	14
		B10	10/03/2019	10/06/2019	16
		B11			
		B12			
		B13		25/09/2019	Mort
		B14	31/07/2019	21/11/2019	Malade (6)
		B15			
		B16	NC	29/04/2019	Mort (7)
Bloc 3	Canavalia ensiformis	B1			
		B2			
		B3		24/10/2019	Mort
		B4		25/09/2019	Mort
		B5			
		B6		21/11/2019	Mort
		B7		05/12/2019	Mort
		B8		05/12/2019	Mort
		B9			
		B10		24/10/2019	Mort
		B11			
		B12		25/09/2019	Mort
		B13			
		B14		21/11/2019	Mort
		B15			
		B16			
	Témoin	B1	26/06/2019	28/08/2019	Mort (6)
		B2	26/06/2019	11/09/2019	Malade (10)
		B3	10/03/2019	10/06/2019	11
		B4	NC	27/06/2019	8
		B5	10/03/2019	10/06/2019	10
		B6		05/06/2019	Mort
		B7	10/03/2019	04/07/2019	8
		B8			
		B9	NC	07/05/2019	Malade (2)
		B10	15/06/2019	11/09/2019	Malade (10)
		B11	10/03/2019	10/06/2019	12
		B12	NC	01/06/2019	Malade (14)
		B13		29/04/2019	Mort
		B14			
		B15			
		B16		24/10/2019	Mort
	Vigna unguiculata	B1		31/07/2019	Mort
		B2			
		B3		24/10/2019	Mort
		B4		24/10/2019	Mort
		B5		24/10/2019	Mort
		B6		24/10/2019	Mort

		B7		29/04/2019	Mort
		B8	05/03/2019	NC	Vol (7)
		B9	28/03/2019	10/06/2019	9
		B10		21/11/2019	Mort
		B11			
		B12			
		B13		21/11/2019	Mort
		B14			
		B15			
		B16		24/10/2019	Mort

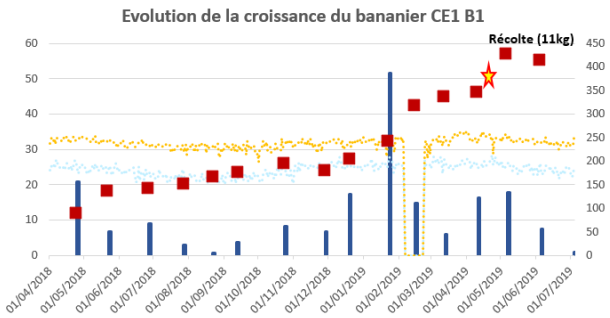
Annexe 2 : Courbe de croissance de la circonférence des bananiers dont le régime a été récolté

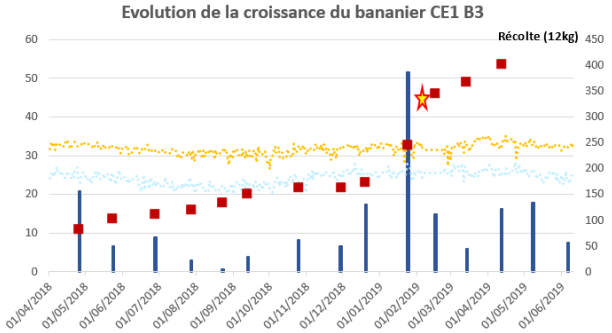
Légende :

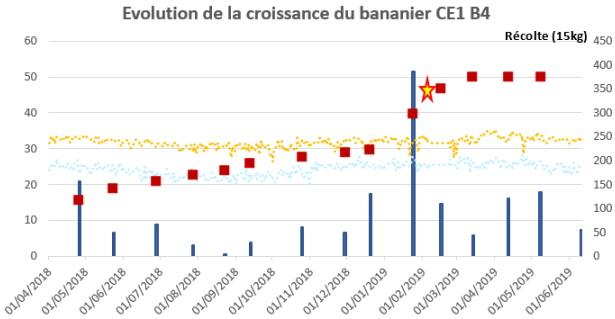
- Cumul précipitations
- Température min
- Température max
- Pseudotronc
- Ietée

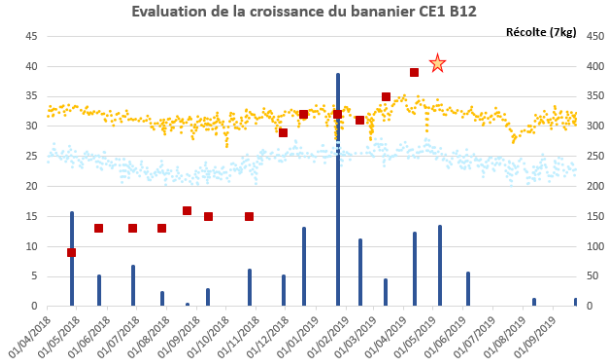
L'axe des abscisses représente le temps. L'axe des ordonnées principal représente à la fois les températures (en °C) et la circonférence du pseudotronc du bananier (en cm). L'axe des ordonnées secondaire correspond au cumul de pluviométrie (en mm) obtenu toutes les 4 semaines, entre chaque mesure de terrain.

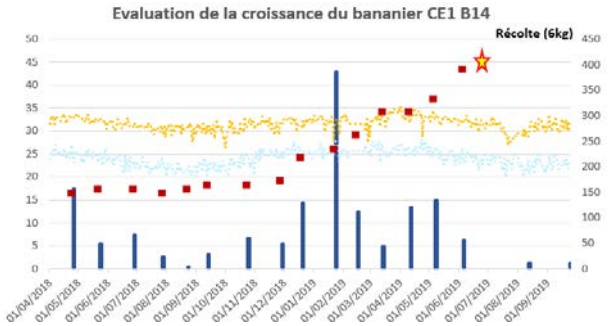
Canavalia ensiformis :

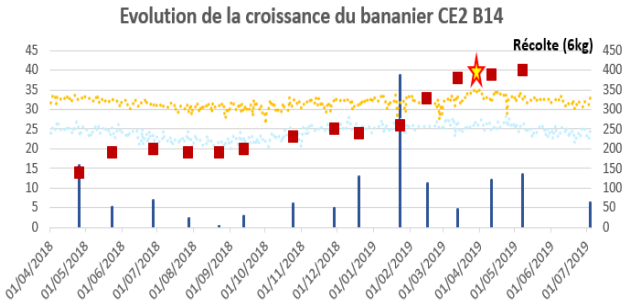




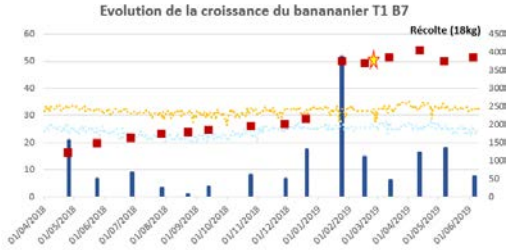


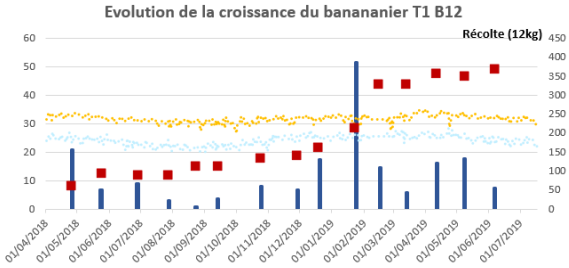


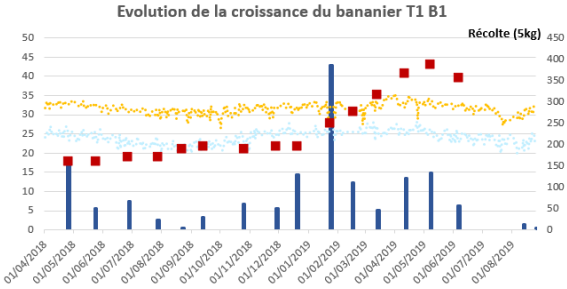


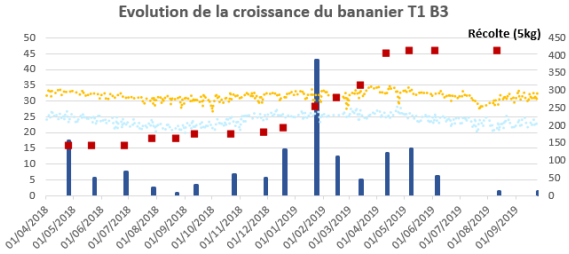


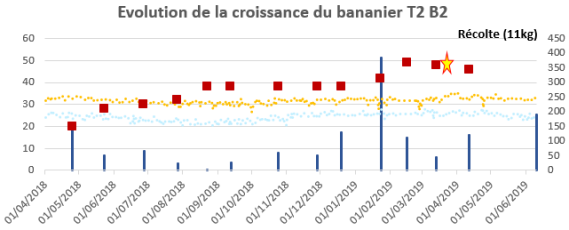
Témoin :

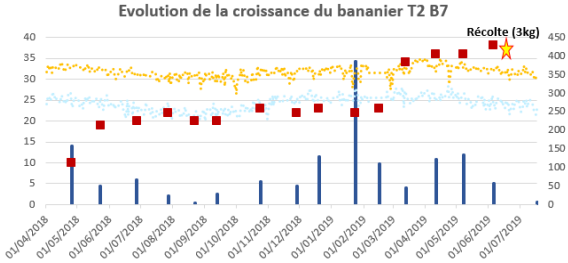

Evolution de la croissance du bananier T1 B7
Récolte (18kg)

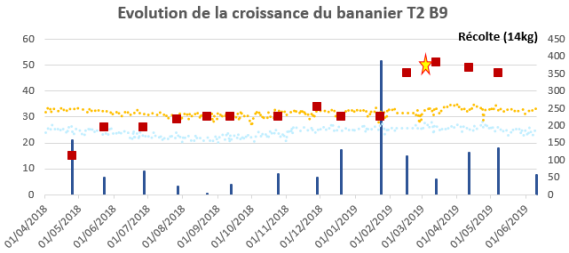

Evolution de la croissance du bananier T1 B12
Récolte (12kg)

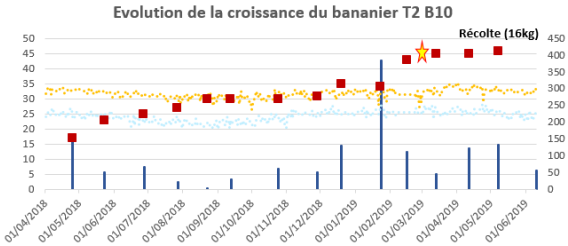

Evolution de la croissance du bananier T1 B1
Récolte (5kg)

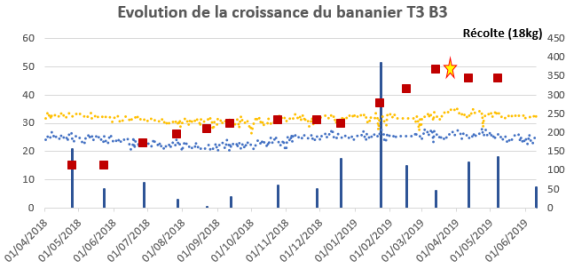

Evolution de la croissance du bananier T1 B3
Récolte (5kg)

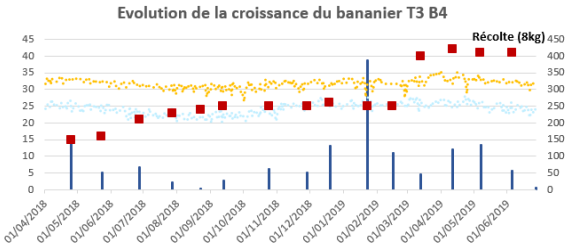

Evolution de la croissance du bananier T2 B2
Récolte (11kg)

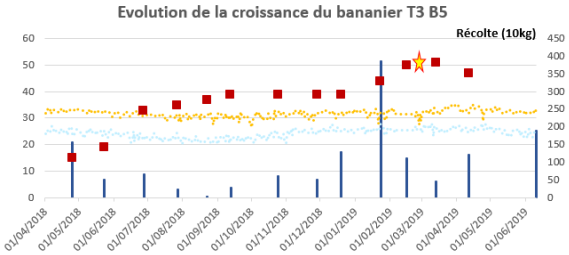

Evolution de la croissance du bananier T2 B7
Récolte (3kg)

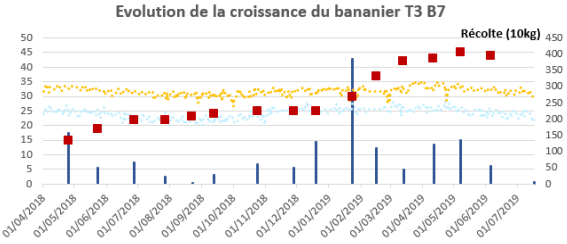

Evolution de la croissance du bananier T2 B9
Récolte (14kg)

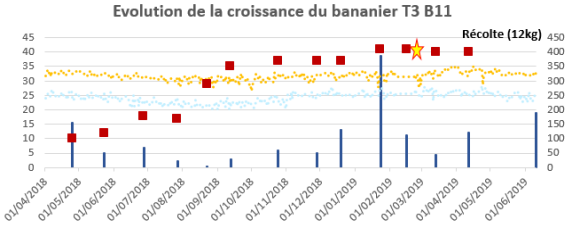

Evolution de la croissance du bananier T2 B10
Récolte (16kg)


Evolution de la croissance du bananier T3 B3
Récolte (18kg)

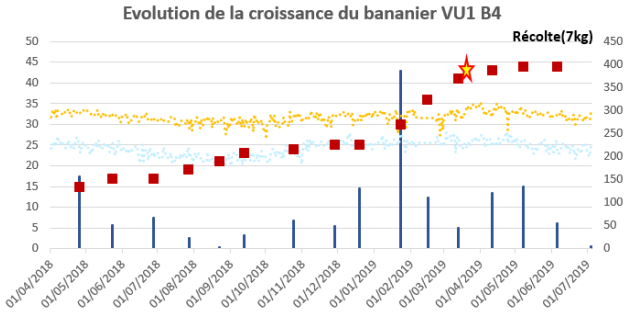

Evolution de la croissance du bananier T3 B4
Récolte (8kg)

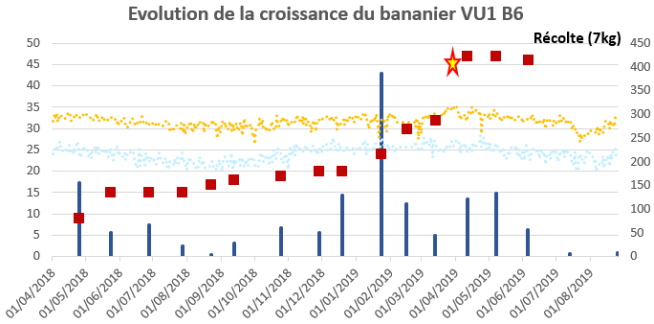

Evolution de la croissance du bananier T3 B5
Récolte (10kg)

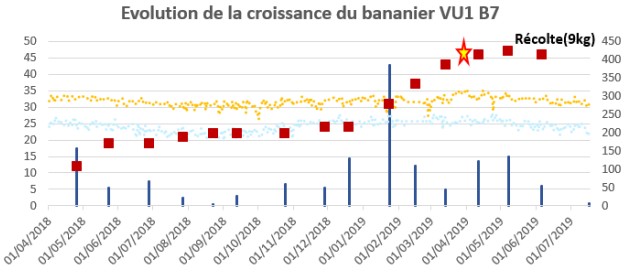

Evolution de la croissance du bananier T3 B7
Récolte (10kg)

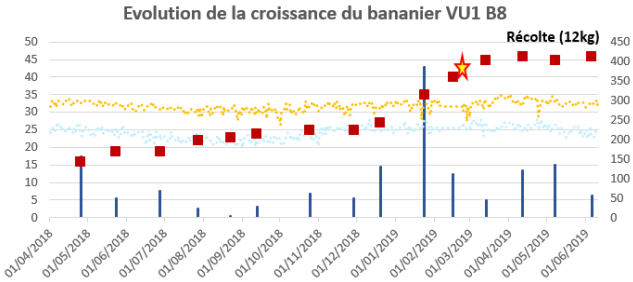

Evolution de la croissance du bananier T3 B11
Récolte (12kg)

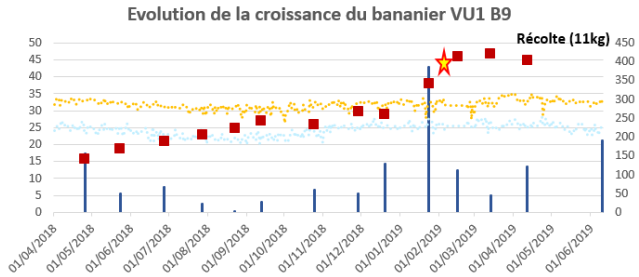
Vigna unguiculata :

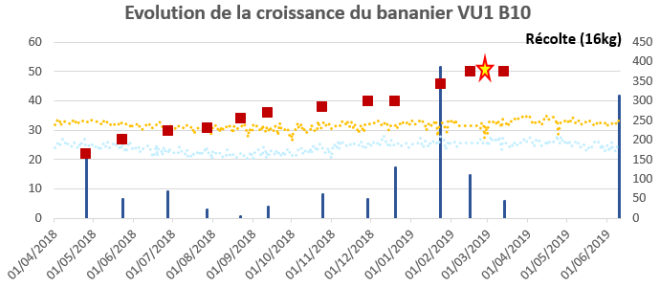


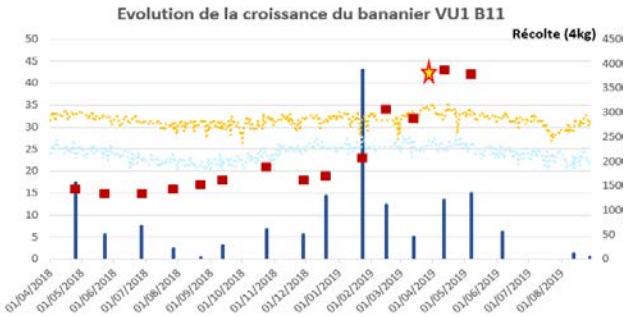


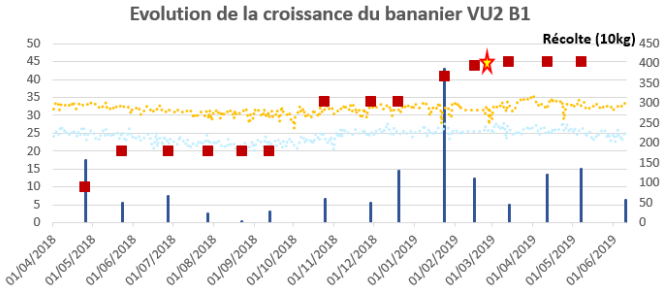


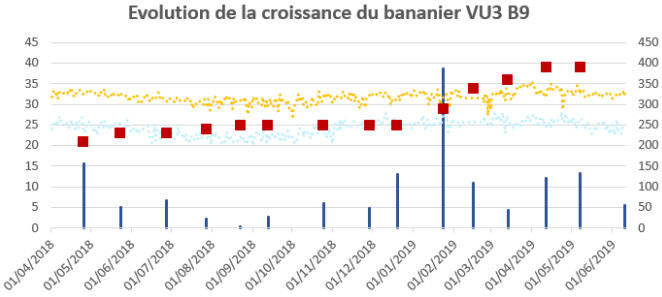












Annexe 3 : Résultats des tests statistiques menés

- **Poids de chacun des régimes recensés** en fonction des modalités et des blocs
  - Lilliefors : D= 0.1106 et p=0.05214 > 0.05 Les données sont normales
  - Bartlett : K^2=0.52119 et p=0.7706 > 0.05 Les variances sont homogènes
  - Anova :

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Modalite	2	17.0	8.500	0.553	0.578
Bloc	1	25.5	25.492	1.660	0.203
Modalite:Bloc	2	13.6	6.801	0.443	0.644
Residuals	60	921.5	15.358		

- **Estimation des rendements recensés** en fonction des modalités et des blocs
  - Shapiro-Wilks : W=0.92373 et p=0.424 > 0.05 Les données sont normales
  - Bartlett : K^2=1.0182 et p=0.601 > 0.05 Les variances sont homogènes
  - Anova : Différences significatives entre les blocs (p=0.0256*)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Modalite	2	5865	2932	4.712	0.1186	
Bloc	1	10668	10668	17.144	0.0256	*
Modalite:Bloc	2	1702	851	1.368	0.3783	
Residuals	3	1867	622			

  - Test post-hoc Tukey : Le bloc 1 est significativement différent des blocs 2 et 3

	Rendement	groups
1	120.00000	a
2	47.33333	b
3	35.66667	b

- **Nombre de régimes recensés** en fonction des modalités et des blocs
  - Shapiro-Wilks : W= 0.90915 et p=0.31 > 0.05 Les données sont normales
  - Bartlett : K^2=1.8014 et p=0.4063 > 0.05 Les variances sont homogènes
  - Anova : Différences significatives entre les blocs (p=0.0177*)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Modalite	2	50.67	25.33	5.494	0.0993	.
Bloc	1	104.17	104.17	22.590	0.0177	*
Modalite:Bloc	2	25.33	12.67	2.747	0.2099	
Residuals	3	13.83	4.61			

  - Test post-hoc Tukey : Le bloc 1 est significativement différent des blocs 2 et 3

	Nb_Regime	groups
1	12.333333	a
2	5.666667	b
3	4.000000	b

- **Poids moyen des régimes recensés** en fonction des modalités et des blocs
  - Shapiro-Wilks : W= 0.70808 et p=0.001763 < 0.05 Les données ne sont pas normales
  - Bartlett : K^2=9.2943 et p=0.009589 < 0.05 Les variances ne sont pas homogènes
  - Pas de transformations possibles des données. Un test non paramétrique étant moins puissant, il a été pris la décision d'effectuer tout de même une Anova.
  - Anova : Différences significatives entre les blocs (p=0.0463*)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Modalite	2	23.488	11.744	9.14	0.0529	.
Bloc	1	23.721	23.721	18.46	0.0232	*
Modalite:Bloc	2	26.032	13.016	10.13	0.0463	*
Residuals	3	3.855	1.285			

  - Test post-hoc Tukey : Le bloc 1 est significativement différent des blocs 2 et 3

```
  Nb_Regime groups
1 12.333333      a
2  5.666667      b
3  4.000000      b
```

Différence significative entre le Témoin et *Canavalia ensiformis* (p=0.04893*)

```
$Modalite
                                        diff          lwr      upr     p adj
Temoin-Canavalia_ensiformis             3.90  0.03241749 7.767583 0.0489294
vigna_unguiculata-Canavalia_ensiformis  2.53 -1.33758251 6.397583 0.1389170
vigna_unguiculata-Temoin               -1.37 -5.23758251 2.497583 0.4133956
```