

ANANABIO – Concevoir des systèmes de production d'ananas en agriculture biologique

Nurbel T.¹, Soler A.^{2,7}, Thuries L.^{3,7}, Dorey E.^{4,7}, Chabanne A.⁵, Tisserand G.¹, Hoarau I.¹, Darnaudery M.⁶

¹Armefilhor, F-97410 Saint-Pierre, Réunion

²CIRAD, UPR GECO, F-97455 Saint-Pierre, Réunion

³ CIRAD, UPR Recyclage et risque, F-97743, St Denis, Réunion

⁴ CIRAD, UPR GECO, F-97130 Capesterre-Belle-Eau, Guadeloupe

⁵ CIRAD, UPR AIDA, F-34398 Montpellier

⁶ CIRAD, UPR HORTYS, F-97455 Saint-Pierre, Réunion

⁷ Université de Montpellier, CIRAD, Montpellier

Avec la collaboration de E. Lucas et L. Vanhuffel (Chambre d'agriculture de La Réunion), M. Poncet et J. Masson (EPLEFPA Forma'Terra), B. Barral, M. Chillet, J.C. Meile, F. Lebellec, T. Michels, J.P Danflous, M. Vignassa, R.M. Payet, G. Tullus, M. Christina, M. Ginestet-Giavelly et B. Rosies (CIRAD), Y. Ah-Hot, E. Bertin, A. Gonthier, R. Graindorge et O. Dougy (Armefilhor), D. Massé (ANSES Réunion), B. Begue, L. Boyer, J.A. Hubert, T. Lauret, J.P. Mezino, M. Moutama et G. Sauveur (Producteurs réunionnais).

Correspondance : alain.soler@cirad.fr

Résumé

ANANABIO est un projet multipartenarial mené de 2016 à 2018, dont l'objectif est de proposer des pratiques innovantes compatibles avec le cahier des charges français pour l'agriculture biologique et issues de collaborations avec les producteurs, et une auto-évaluation de leurs systèmes de culture intégrant ces innovations. Une carte d'évaluation des systèmes de culture a été réalisée. Elle intègre 45 variables dans les domaines agro-environnemental, économique et social. Le projet a proposé des solutions de fertilisation incluant des farines plume et sang et la biomasse de plantes de service (jusqu'à 15 t MS/ha), notamment des espèces de crotalaires utilisées également pour la gestion des adventices et des parasites racinaires (plantes dont le statut d'hôte de *R. reniformis* et des symphyles a été vérifié). Un itinéraire technique de pépinières réalisées à partir de vitroplants pour la production de matériel végétal sain a été proposé pour une meilleure gestion du Wilt de l'ananas par réduction des populations de cochenilles *D. brevipes* associés aux virus du Wilt (jusqu'à 20 plants récoltés/vitroplant planté). Des équipements ont été testés pour broyer finement les vieux plants très contaminés. Cette pratique aide à assainir les parcelles en limitant le développement des inocula parasitaires. Un équipement d'aide à la plantation a été co-conçu et réalisé par les producteurs avec l'appui de L'Atelier Paysan. Au final, les systèmes de culture bio élaborés devront respecter le concept d'agroécologie pour la promotion d'une agriculture qui respecte l'homme dans son environnement.

Mots-clés : Rotation ananas-plantes de couverture, agriculture biologique, bioagresseurs, gestion écologique intégrée, fertilisation bio, conception de système de culture.

Abstract: ANANABIO – Elaborating organic pineapple cropping systems

ANANABIO is a multi-partnership project (2016-2018) in Reunion to design innovative practices following the French specifications for organic production through a collaboration with the producers, and a self-evaluation of their cropping systems integrating some of the innovations. An evaluation form of the cropping systems was designed. It integrated 45 variables in the agro-environmental, economic

and social fields. The project proposed fertilizing solutions including feather and blood meal mixed with the biomass of cover crops (up to 15t DM/ha), in particular species of rattlesnakes (Sunn hemp or others) used also for the management of weeds and root parasites control (plants whose host status for nematodes and symphylids has been verified). A technical itinerary for nurseries made from *in vitro* plantlets to produce healthy planting material has been proposed for better management of pineapple wilt by reducing populations of *D. brevipes* mealybugs associated to Wilt viruses (up to 20 plants produced / tissue culture plant planted). Equipments to shred finely old contaminated plants were evaluated, as this cultural practice helps cleaning up the plots by limiting the development of parasite inocula. Planting assistance equipment was co-designed and made by the producers with the support of "L'Atelier Paysan". Overall, the organic cropping systems elaborated must respect the concept of agroecology for the promotion of an agriculture that respects humans in their environment.

Keywords: Rotation pineapple – cover crops, organic production, pineapple pests, integrated ecological management, organic fertilizing, conception of cropping systems.

Introduction

ANANABIO est un projet collaboratif visant à développer les systèmes de production d'ananas en agriculture biologique. Il réunit l'Association Réunionnaise pour la Modernisation de l'Economie Fruitière Légumière et Horticole (Armefhor - chef de file), le Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD – chef de projet), l'Association Réunionnaise des Organisations de Producteurs de Fruits et Légumes (Arop-FL), la Chambre d'Agriculture de La Réunion, et l'Établissement Public Local d'Enseignement et de Formation Professionnel Agricole (EPLEFPA Forma'Terra).

A la Réunion, l'ananas constitue la première culture de diversification en termes de valeur et de tonnage, avec 16 000 tonnes produites sur 360 ha. Elle se positionne ainsi comme la culture principale après la canne à sucre, dont l'exportation représente 75 % des volumes en fruits tropicaux de l'île. Réduire la pollution induite par l'utilisation de pesticides et d'engrais chimiques est un enjeu crucial pour les petits territoires insulaires. L'agriculture biologique apparaît comme un des leviers de réponse à cet enjeu, dans un contexte de demande sociétale croissante d'une meilleure prise en compte des risques environnementaux et de santé publique. Aussi, les producteurs sont à la recherche de nouvelles méthodes de culture d'ananas leur permettant d'atteindre une double performance environnementale et économique. L'évolution des systèmes de culture intensifs vers une production plus écologique, sera globalement bénéfique pour un petit territoire comme La Réunion, reconnu comme un haut lieu de la biodiversité et classé au patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 2010.

Redessiner les systèmes de monoculture intensifs conventionnels implique d'innover en faveur de pratiques culturales qui restaurent les processus écologiques et les fonctions écosystémiques. L'introduction de la biodiversité permettrait ainsi de rétablir certaines de ces fonctions, par la mise en place de rotations et/ou d'associations avec des plantes sélectionnées à cet effet. Leurs caractéristiques pourraient aider à restaurer les différents services fournis par les agrosystèmes : réduire l'impact de l'enherbement, réduire les populations de pathogènes du sol, augmenter les populations d'organismes bénéfiques (bactéries, mycorhizes), augmenter la régulation naturelle entre les organismes bénéfiques (auxiliaires) et les pathogènes, et en tant qu'engrais vert, augmenter la quantité de matière organique du sol et sa fertilité (Soler et al., 2018).

Le projet ANANABIO vise à développer des pratiques agricoles plus écologiques pour les systèmes de production de Queen Victoria, et de lever les principaux freins techniques à la production d'ananas en agriculture biologique. Le projet s'articule autour de quatre thématiques principales : la fertilisation organique, la gestion de l'enherbement, la gestion des bioagresseurs, et la mécanisation. Une approche participative entre les agriculteurs et les agronomes a contribué à une meilleure appréciation des

innovations techniques par les producteurs. Les indicateurs définis selon leurs critères leur permettent d'identifier les marges de manœuvre qu'ils ont pour améliorer leurs systèmes de production.

1. Matériel et Méthodes

1.1 *Approche participative*

1.1.1 Collectif d'agriculteurs de fermes pilotes

Un collectif de 50 exploitations avait permis d'établir une typologie d'exploitations caractérisant trois systèmes-types de production : les « diversifiés intensifs des Bas », les « monoculteurs traditionnels des Hauts », et les « canniers de l'Est ». L'état des lieux de la diversité des pratiques culturelles était focalisé sur la variabilité des orientations technico-économiques des exploitations, des stratégies de commercialisation et des conditions pédoclimatiques (Dorey *et al.*, 2018).

Cinq fermes pilotes représentatives des 3 systèmes-types précédemment définis ont fourni les références technico-économiques nécessaires à la co-conception et à l'évaluation des techniques innovantes proposées. Les relevés technico-économiques mensuels sur ces fermes ont été intégrés dans la base de données AGREF (Acquérir et Gérer des REFérences agro-économiques). AGREF est un outil en ligne pour la gestion complète des données relatives aux différentes échelles (parcelle, exploitation agricole, filière de commercialisation) des filières de production végétales. Un point zéro établi en 2016 est basé sur la définition de l'itinéraire technique cultural de l'ananas prévisionnel à dire d'acteurs, l'établissement d'un schéma de fonctionnement global de l'exploitation agricole, l'analyse des trajectoires et des changements de pratiques, et enfin l'identification des déterminants des pratiques actuelles par la discussion. Il a été utilisé pour mieux comprendre les choix techniques des producteurs et évaluer l'impact éventuel des innovations proposées par ANANABIO.

1.1.2 Co-construction d'indicateurs d'acceptabilité des innovations techniques

Des enquêtes auprès de 15 producteurs d'ananas ont permis d'établir une liste d'indicateurs d'évaluation avec 45 variables s'appuyant sur 3 piliers de l'évaluation de systèmes d'exploitation (domaines agro-environnemental, économique et social). D'abord réalisée à dire des producteurs, la liste a été ensuite co-construite avec eux en ateliers (échantillonnage représentatif des types d'exploitation et des zones de production).

1.1.3 Co-construction d'indicateurs d'acceptabilité des produits issus de la production en agriculture biologique

Une analyse des circuits de distribution de l'agriculture biologique (AB) à la Réunion a été réalisée. Des ateliers réunissant un ensemble d'acheteurs AB de la filière ont permis d'élaborer une liste d'indicateurs d'acceptabilité des produits issus des systèmes de production d'ananas bio.

1.1.4 Co-construction et évaluation des systèmes de culture d'ananas bio

Une grille d'évaluation multicritère pour l'évaluation des innovations techniques a été utilisée pour proposer une carte d'auto-évaluation (agronomique et environnementale, économique et social) aux producteurs pour apprécier *ex ante* l'impact potentiel d'une ou plusieurs innovations intégrées dans leurs systèmes de production.

1.1.5 Cahier des charges des plantes de service

Un cadre de contraintes pour l'ananas bio, puis un cahier des charges pour les plantes de service (PdS) ont été formalisés avec les producteurs pour recenser et prioriser les services attendus des plantes de service pour la mise en place des différentes innovations techniques.

1.2 Fertilisation organique

1.2.1 Sélection des fertilisants et plan de fertilisation

Les fertilisants alternatifs au fertilisant de synthèse (urée) habituellement utilisé en agriculture conventionnelle ont été sélectionnés en s'inspirant d'une étude qui a démontré les avantages et les limites de l'utilisation de matières organiques (MO) disponibles localement, pures ou en mélange avec des plantes de service (Rothé *et al.*, 2019). Le choix s'est porté sur un engrais organo-minéral (EOM) agréé en AB, une MO d'origine agro-industrielle, la farine de plumes et sang (FARPLS) utilisée pure (ayant démontré son potentiel en tant qu'engrais organique) ou en mélange avec *Crotalaria juncea*, une plante de service combinant plusieurs propriétés (plante non-hôte pour les nématodes, potentiellement nématicide, et produisant une biomasse élevée). Le cycle de l'ananas est long (10 à 14 mois pour le stade végétatif puis 5 à 7 mois jusqu'à la récolte du fruit, suivi de la production de rejets durant 8 à 10 mois). Il a été fait l'hypothèse que l'utilisation d'un mélange de MO combinant les propriétés de transformation du carbone et de l'azote de ses constituants (à la fois la cinétique et l'intensité de la minéralisation) permettrait d'approcher la synchronisation de l'offre en nutriment (ici, l'azote) et les besoins par la plante (période et quantité).

Les doses visées étaient équivalentes à 300 kg d'azote de l'urée (Fournier *et al.*, 2015), la dose de référence en culture conventionnelle. Les résultats d'essais étant peu nombreux voire inexistant pour ces fertilisants organiques ou mélanges dans nos conditions, les coefficients équivalents engrais (K_{eq}) ne pouvaient pas être mobilisés directement pour élaborer le plan de fertilisation. Les doses ont alors été calculées à partir d'incubations en conditions contrôlées en laboratoire, selon la norme AFNOR FD U44-162 (AFNOR, 2016) et en suivant une démarche similaire au criblage des potentiels de transformation des fertilisants et plantes de service pures ou en mélange (Rothé, Darnaudery et Thuriès, 2019). Les résultats étant obtenus sur une période de 91 jours, cette expérimentation de laboratoire a été conduite en amont (10 mois) du calcul et de la mise en place du plan de fertilisation. Le K_{eq} de FARPLS a été estimé à 0,8 et celui du mélange FARPLS + *Crotalaria juncea* à 0,4. La dose équivalente à 300 kg N.ha⁻¹ de l'urée correspondait à 375 kg N.ha⁻¹ de FARPLS seule (soit 3,225 t.ha⁻¹) et à 750 kg N.ha⁻¹ de mélange (soit 1,995 t.ha⁻¹ FARPLS pour 233 kg N.ha⁻¹, et 40 t.ha⁻¹ de *Crotalaria juncea* (poids frais) pour 518 kg N.ha⁻¹).

1.2.2 Expression du potentiel de transformation des matières organiques au champ et estimation des pertes en nitrates

L'expression du potentiel de transformation des fertilisants a été évaluée directement par la mesure des rendements sur des parcelles plantées (66 000 plants/ha). La récolte a été effectuée au stade C2 (half-basal yellow coloration).

La densité de racines de l'ananas diminue fortement avec la profondeur dans les 25 premiers centimètres du sol et devient insignifiante au-delà de 35 cm dans nos conditions (Chopart *et al.*, 2015). Un essai non planté (sol nu) a alors été conduit dans le voisinage immédiat de l'essai planté. Il a été fait l'hypothèse que la présence d'azote minéral dans la solution du sol dans la couche 0-25 cm de l'essai non planté représenterait l'azote potentiellement absorbable par les racines de l'ananas dans un essai planté, alors que la présence d'azote minéral dans la solution du sol mesurée dans la couche 25-40 cm représenterait l'azote potentiellement perdu (c'est-à-dire non accessible aux racines de l'ananas dans un essai planté). Les doses de fertilisants et l'irrigation étaient les mêmes que pour l'essai planté. Les formes minérales de l'azote de la solution du sol prélevée dans les couches 0-25 et 25-40 cm ont été mesurées après extraction au KCl molaire, selon les mêmes procédures utilisées pour les expérimentations de laboratoire (AFNOR FD U 44-162).

1.3 Gestion des adventices

Trois pratiques générales de gestion de l'enherbement ont été évaluées, le précédent cultural, la gestion des adventices sur l'inter-rang et la gestion des adventices sur le rang de plantation de l'ananas. Chacune a fait l'objet d'une formalisation d'un cahier des charges avec les producteurs pour la sélection d'une technique et de plantes de service.

1.3.1 Plantes de service en précédent de la culture d'ananas

- *Deux collections de plantes de service*

Un travail préliminaire d'identification des ressources végétales disponibles localement et des savoirs qui y sont associés a permis d'établir une collection d'une centaine de plantes, principalement des fabacées. La plupart des plantes sont des espèces fourragères et/ou à graines destinées à l'alimentation humaine. Certaines ont été testées en culture pure ou associées sur deux sites avec des situations pédoclimatiques et d'enherbement distinctes (50 m et 150 m d'altitude). La phénologie et les dynamiques de croissance et de développement ont été suivies.

- *Evaluation des plantes de service en collection*

Un essai identique a été conduit sur les deux sites pour apprécier en conditions réelles les capacités des PdS à contrôler l'enherbement observé sur le site. Ils incluaient des dispositifs en blocs de Fisher à 4 répétitions et avec témoins adjacents (enherbement non géré) sur lesquelles des suivis de production de biomasse et de vitesses de recouvrement par les PdS et les adventices ont été effectués. Quatre cultures pures (Fabacées, Poacées et Brassicacées) et 4 mélanges constitués de 2 espèces parmi celles testées en culture pure, et identifiées parmi les plus prometteurs ont été testés sur le site à 150 m. Six cultures pures et 6 mélanges ont été testés sur le site à 50 m. Les taux de recouvrement par les espèces de PdS en culture pure ou associées et les taux de recouvrement par les adventices ont été suivis (méthode des points d'impact et taux de recouvrement à 60 jours).

Certaines PdS ont aussi été testées dans le cadre de la gestion des BAG (voir § 1.4.3).

1.3.2 Gestion de l'enherbement sur l'inter-rang

Quatre modalités ont été évaluées en termes d'efficacité et de coût sur essai factoriel chez un producteur en AB, 3 blocs de Fisher sur une parcelle irriguée de 2 350 m², à partir d'un cahier des charges rédigé avec les producteurs d'ananas : le paillage avec de la paille canne, du broyat de bois issus d'élagage d'espaces verts, le semis d'une luzerne. Elles ont été comparées à l'utilisation d'une débroussailleuse.

1.3.3 Gestion de l'enherbement sur le rang (Systèmes alternatifs au paillage plastique en polyéthylène)

Quatre modalités ont été évaluées en termes d'efficacité et de coût sur essais factoriels, 4 blocs de Fisher sur parcelles de 1000 m² : Polyéthylène 50 µ (témoin), paillage canne, paillage avec un film biodégradable (90 µ ou 50 µ), et implantation d'un couvert végétal type SCV. Elles ont été mises en place sur 2 sites, chez un producteur conventionnel et chez un producteur bio.

1.4 Gestion des bioagresseurs (BAG)

1.4.1 Enquête Parasitisme sur la Réunion

L'enquête parasitisme a été faite sur 40 exploitations réparties sur toutes les zones de production. Un formulaire d'enquête sur les pratiques culturales et la situation parcellaire a été mis au point.

L'évaluation des populations de symphyles a été faite par piégeage/comptage des individus (Soler et al., 2011). Les populations de nématodes ont été évaluées par échantillonnage de sol (1 kg par parcelle prélevé en aliquotes de 100 g) et de racines (aliquotes de 20 g) en parcelles d'ananas en phase végétative. Les extractions ont été faites par élutriation sur le sol ou broyage tamisage sur les racines (Coyne et al., 2010), puis comptage et identification des espèces. Les nématodes recherchés sont : *Rotylenchus reniformis* (semi-endoparasite), *Pratylenchus brachyurus* (endoparasite), *Meloidogyne spp.*, et d'autres espèces ectoparasites qui peuvent nuire aux plants si les populations sont importantes comme *Helicotylenchus sp* et *Criconemoides sp*. Les populations de saprophytes ont été comptabilisées globalement comme indicateurs de santé des sols.

L'évaluation des niveaux d'incidence du Wilt de l'ananas (maladie virale transmise par les cochenilles *D. brevipes* et *D. neobrevipes*) a été faite par observation et attribution de notes de 0 à 5 moyennées pour 3 critères différents. A l'échelle de la parcelle, critère (1) étendue des zones wiltées (symptomatiques) ; critère (2) présence plus ou moins forte de cochenilles et de fourmis ; et à l'échelle de l'exploitation, critère (3) niveau global d'infestation = étendue des zones symptomatiques.

Les résultats concernant les parasites racinaires et le Wilt ont été présentés sur des cartes d'infestation de la Réunion. Une analyse des correspondances multiples (ACM) a été réalisée pour évaluer le lien entre parasitisme et pratiques culturales. Enfin, une évaluation préliminaire de la présence chez l'ananas des virus associés au Wilt a pu être réalisée avec le concours de l'ANSES (PCR et multiplex RT-PCR sur 3 clostérovirus PVWaVs et 1 badnavirus PBCoV, sur 20 échantillons prélevés dans différentes zones de production).

1.4.2 Production de plants sains

Des pépinières plein champ conduites en intégrant diverses innovations proposées par le projet ont été évaluées dans le contexte réunionnais :

1. Fertilisation bio pour l'azote avec la biomasse de crotalaire (*C. juncea*, 40-50 t/ha) produite en précédent cultural, additionnée de granulés ABflhor® (300 kg/ha total) (l'ensemble Biomasse + granulés ~300 kg N/ha), puis K₂SO₄ en pulvérisations mensuelles (6x180 kg K₂O/ha) ;
2. Gestion des adventices par polyéthylène sur le rang et broyat de palette non traitée sur l'inter-rang (12 cm d'épaisseur) ;
3. Levée de la dominance apicale sur des vitroplants sains d'ananas après 6 mois de croissance, par gougeage du cœur (système élaboré au CIRAD Antilles). L'émission de rejets a été suivie mensuellement pendant 6 mois.

1.4.3 Gestion des BAG avec les PdS

Le statut d'hôte vis-à-vis des parasites racinaires de l'ananas de 18 plantes en collection a été évalué en parcelles expérimentales, nématodes (*R. reniformis*, *P. brachyurus* et *Meloidogyne spp*) et symphyles. Des paramètres agronomiques complémentaires ont été recueillis (biomasses produites en fonction des dates de semis (sensibilité à la photopériode), et des contraintes parasitaires des PdS. Un itinéraire technique pour mettre en œuvre une rotation avec l'ananas a été proposé dans le livret technique ANANABIO (Soler et al., 2019). Les dispositifs expérimentaux ont été mis en place en station (micro parcelles), ou chez certains producteurs en parcelles à taille réelle. Les analyses des populations BAG du sol ont été réalisées comme précédemment. La production de biomasse a été évaluée dans différentes conditions (parcelles expérimentales et chez plusieurs producteurs) en prélevant les plantes sur des carrés de 1 m² de surface (3 répétitions à chaque prélèvement).

Les plantes de service sélectionnées étaient : *Arachis pintoï*, *Plantago lanceolata*, *Crotalaria juncea*, *C spectabilis*, *C Zanzibarica*, *Pennisetum glaucum*, *Stilosanthes guianensis*, *Neonotonia wightii*, *Cajanus cajan*, *Raphanus sativus*, *Guizotia ensiformis*, *Canavalia ensiformis*, *Vicia villosa*, *Vigna unguiculata*,

Avena sativa, Chloris gayana (Rhodes grass), Plantago lanceolata (plantain), Sinapis alba (moutarde blanche).

1.4.4 Prototype de système de culture

Un site expérimental de 2500 m² proposant un prototype de rotation « crotalaire, ananas, crotalaire, maraîchage » avec un arrangement spatial (2 blocs de 4 parcelles) et temporel permettant de synchroniser le cycle de l'ananas avec le reste de la rotation, a été mis en place sur la station CIRAD de Bassin Plat. Il a servi de site de démonstration pour plusieurs journées « producteurs ». L'élaboration du prototype a consisté à articuler différentes innovations techniques du projet ayant un impact fort sur les BAG (destruction fine des vieilles cultures d'ananas, assainissement vis-à-vis des BAG du sol, et contrôle des adventices par des PdS, utilisation de plants d'ananas sains).

1.4.5 TIF bio, induction florale artificielle

La technique a été développée par ailleurs (Soler *et al.*, 2006), mais n'est pas homologuée en France. Le projet a appuyé un argumentaire établi par l'IT² et l'Armefilhor, soutenu par l'ITAB (Institut de l'Agriculture Biologique), et déposé auprès de l'ANSES.

1.5 Mécanisation

1.5.1 Evaluation des situations des exploitations et profils de systèmes de plantation

Un état des lieux a permis de faire un point sur les techniques culturales dans les exploitations d'une douzaine de producteurs indépendants ou appartenant à des organisations professionnelles (OP), et sur l'environnement dans lequel les équipements devront être utilisés, en vue de la mise au point d'un cahier des charges adapté aux besoins. Les paramètres comme les niveaux de pente sur les parcelles d'ananas, la taille des rejets ou la densité de plantation et le nombre de rangs par billon ont permis de concevoir un cahier des charges de l'équipement d'assistance à la plantation.

1.5.2 Evaluation des broyeurs

L'évaluation de différents modèles de broyeurs d'acquisition facile à la Réunion, a été faite en comparant la finesse des résidus obtenus sur des plants en fin de culture entre les rotobroyeurs classiques et un broyeur à bois. Des tests chez différents producteurs ont été faits avec ce broyeur.

1.5.3 Co-conception et réalisation d'un équipement d'assistance à la plantation

Un cahier des charges a été élaboré en se basant sur les paramètres de l'enquête, puis la co-conception de la planteuse a été faite avec la participation de plusieurs producteurs. Enfin, la construction d'un prototype a été faite dans le cadre d'ateliers d'auto-construction avec l'appui de l'Atelier Paysan (coopérative d'Intérêt Collectif (SCIC) qui développe une démarche innovante de réappropriation de savoirs paysans et d'autonomisation dans le domaine des agroéquipements adaptés à l'agriculture biologique). Le prototype initial a évolué après les premiers tests réalisés avec les producteurs.

2. Résultats

2.1 Approche participative

Les cinq fermes pilotes sélectionnées pour ANANABIO selon la typologie établie par (Dorey et al., 2018) ont permis de collecter des informations techniques pour établir les quatre objectifs d'amélioration des systèmes de culture qui ont été fixés au projet en y intégrant des plantes de service :

- Substituer les engrais chimiques par des engrais organiques ;
- Maîtriser les adventices sans herbicide ;
- Gérer les nématodes, les symphyles et les vecteurs de la maladie du WILT ;
- Eliminer les risques érosifs.

Ces objectifs d'amélioration peuvent être portés par les principes de l'agroécologie notamment en introduisant dans le système des plantes de service qui favoriseront la restauration de services écosystémiques et contribueront à la durabilité des systèmes mis en œuvre. La démarche globale de sélection des plantes de service s'appuie sur l'implication des producteurs. Elle est résumée dans un cadre de contraintes (Figure 1).

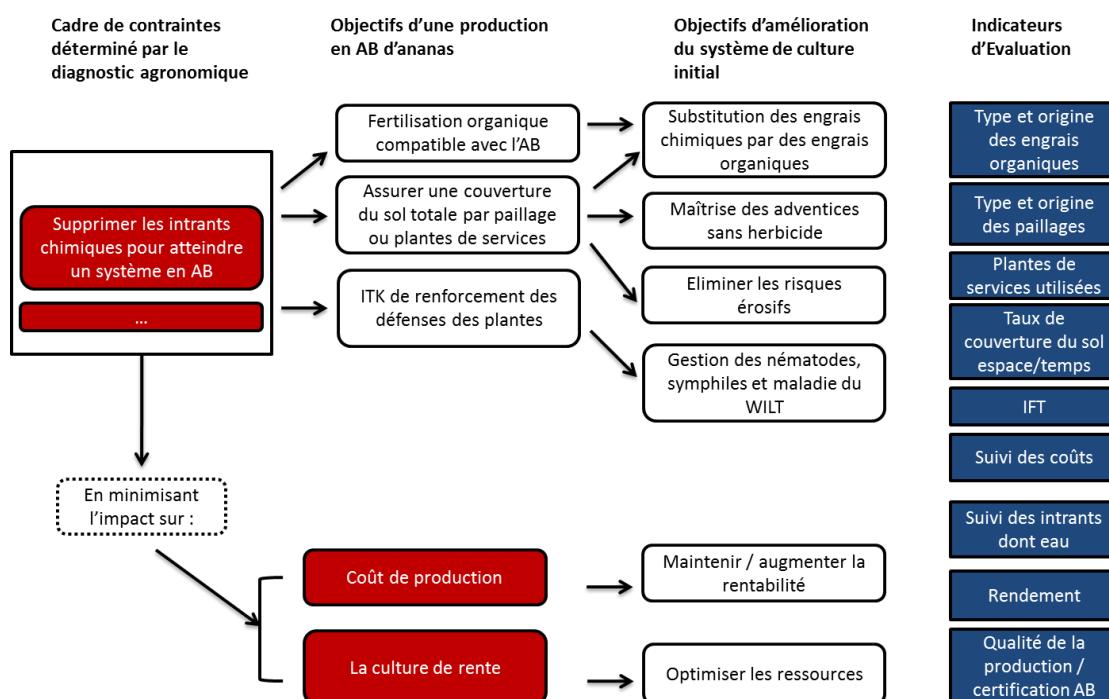


Figure 1 : Cadre de contraintes pour la sélection de plantes de services à intégrer dans les systèmes de culture ananas.

Il en résulte un cahier des charges des PdS très contraignant en fonction des services recherchés et défini comme suit :

- Service d'augmentation de la fertilité des sols dans le cadre d'une rotation ou avant la plantation
 - La vitesse de croissance initiale de la PdS doit limiter la compétition des adventices ;
 - La PdS doit être facilement détruite sans recours au désherbant chimique ;
 - La PdS ne doit pas repousser spontanément ;
 - La PdS doit produire suffisamment de biomasse pour contribuer à la substitution des engrais chimiques et avoir un rapport C/N élevé pour que le sol reste couvert suffisamment longtemps après destruction, ou pouvoir être associée avec une autre PdS à dégradation plus rapide.

Si la PdS est en association avec l'ananas, elle ne doit pas concurrencer l'ananas vis-à-vis de la lumière (ombrage, hauteur inférieure à 15 cm, non volubile), des nutriments (engendrer un minimum de faim d'azote si sa destruction est prévue pour obtenir un paillage en cours de cycle), et de l'eau.

- Service de régulation des bio-agresseurs dans le cadre d'une rotation ou avant la plantation
- La vitesse de croissance initiale de la PdS doit être rapide pour lutter contre les adventices ou avoir un effet allélopathique sur les adventices ;
- La PdS ne doit pas favoriser les symphyles et les nématodes (ou d'autres bio-agresseurs, par exemple ne pas être une plante hôte des cochenilles) *a minima*.

Pour la gestion de l'enherbement entre les rangs par une PdS vivante, les mêmes conditions additionnelles sont requises que celles concernant les nutriments (ombrage, hauteur, etc.). Elle doit aussi doit supporter les fauches mécaniques et avoir une vitesse de repousse rapide pour lutter contre les adventices et limiter les risques érosifs.

La mise en œuvre des rotations culturales et d'implantation des plantes selon ce cahier des charges contribuera de facto au dernier service écosystémique attendu, à savoir la limitation du risque érosif.

Enfin, dernier filtre pour choisir ces plantes de service, celles-ci devront être présentes sur l'île et non inscrites sur la liste des Espèces végétales Exotiques Envahissantes (EEE) (annexes 2 et 3 de l'arrêté préfectoral n°1140, relatif aux bonnes conditions agricoles et environnementales à la Réunion, 25 juillet 2012), et être disponibles sous la forme de semences compatibles avec l'AB.

2.1.1 Co-construction d'indicateurs d'acceptabilité des innovations techniques

Une grille d'évaluation des innovations techniques avec leur impact potentiel a été créée avec les producteurs (Tableau 1). Elle a également été confrontée à l'outil d'évaluation DexiFruit, conçu par un groupe d'experts non agriculteurs et basé sur un autre système fruitier (INRA, 2013 – accessible en ligne). Cette liste d'indicateurs d'évaluation à dire des producteurs s'est révélée être très similaire à des listes d'indicateurs conçues à dire d'experts. Elle s'appuie sur les mêmes piliers fondamentaux pour l'évaluation d'innovations techniques (agronomiques, économiques, environnementaux et sociaux). On y retrouve les mêmes indicateurs et leurs variables, seules varient les échelles d'évaluation en fonction des références personnelles des uns et des autres.

2.1.2 Co-construction et évaluation des systèmes de culture d'ananas AB

La grille d'indicateurs avec leurs variables a servi à réaliser un outil d'auto-évaluation *ex ante* par les producteurs de leur système de culture (SdC) en fonction des innovations qu'ils souhaiteraient adopter. Il s'agit d'une carte d'évaluation reprenant toutes les variables avec un système de notation basique évaluant la performance globale du système (Figure 2). Pour chaque variable, il note la performance en indiquant si le système de culture modifié par l'adoption d'une ou plusieurs innovations techniques a un impact positif (vert), négatif (rouge) ou nul (orange) sur les variables.

Auxiliaires	Pollution	Recyclage	Emballage
1	2	3	4
Etat du sol	Faune	Etat des plantes	Bioagresseurs
10	11	12	13
Marge	Marché	Tonnage	Temps culture
20	21	22	23
Qualité gustative	Risque et exposition	Réceptivité	
30	31	32	33
Pratique	Consommateurs	Pérennité	Prix
39	40	41	43
			44
			45

Figure 2 : Carte de performance d'un système de culture modifié, évalué sur les 45 variables avec un système de couleurs pour indiquer l'impact positif (vert), négatif (rouge) ou nul (orange) du SdC modifié sur les variables

Tableau 1 : Indicateurs d'acceptabilité des innovations et variables prises en compte

	Critères	Indicateurs	Variables
Agroenvironnemental	Biodiversité	Présence d'auxiliaires	Présence d'auxiliaires Enherbement Présence d'abeilles
	Respect de l'environnement	Pollution	Traitements phytosanitaires Risque de fuites d'azote (fractionnement des apports)
		Recyclage	Type de paillage et de recyclage Emballage des produits
	Fertilité du sol	Erosion	Taux de couverture du sol Période durant laquelle le sol est nu
		Etat du sol	Structure du sol Couleur du sol (taux de matière organique) Humidité
		Faune du sol	Présence de vers de terre Rythme des rotations Traitements phytosanitaires
	Santé des plantes	Etat des arbres et des plantes	Stabilité du rendement Vigueur
		Bioagresseurs	Présence d'herbes à risques Présence de maladies Hauteur d'enherbement
Economique	Revenu	Marge brute	Produits moins charges opérationnelles
		Mode de commercialisation	Adéquation avec le mode de commercialisation visé
		Tonnage	Tonnage
	Temps de travail	Temps passé sur la culture	Degré de mécanisation possible Répartition de la charge de travail dans le temps Degré de compétence de la main d'œuvre
Social	Attentes de l'aval	Conservation du fruit	Durée de conservation après récolte
		Qualités visuelles	Calibre Couleur « Non standard » (formes et taches)
		Qualités gustatives	Taux de sucre Acidité Parfum Jus
	Santé humaine	Risque et exposition	Nombre de traitements Dangerosité des produits Exposition du voisinage
	Pénibilité	Répétitivité des tâches	Durée passée sur la même tâche Charges à porter
		Praticité	Aisance de circulation dans la parcelle Abondance de fourmis
	Regard de la communauté	Liens avec les consommateurs	Nombre d'intermédiaires Nombre de traitements
		Vision des agriculteurs	Originalité du SdC par rapport aux standards locaux (Enherbement, fertilisation, gestion des bioagresseurs...)
	Développement local	Pérennité main d'œuvre	Qualité de l'emploi (statut du salarié et durée de contrat)
		Prix juste	Accessibilité pour les consommateurs Prix juste pour le producteur

2.1.3 Analyse des circuits de distribution AB à la Réunion

Cette étude réalisée fin 2016 a permis d'acquérir une vision globale des différents circuits de distribution des fruits et légumes bio (certifiés ou en conversion) existant à La Réunion. L'agriculture biologique est

encore peu répandue (170 producteurs en 2015 cultivent des fruits et légumes (F&L) sur une surface estimée lors de cette étude à 300 ha) et l'offre ne satisfait pas la demande. L'étude a identifié 9 différents types de circuits de distribution des fruits et légumes bio. La majorité des producteurs privilégient les modes de commercialisation par vente directe ou par circuits courts, les circuits longs ne représentant qu'une faible partie bien qu'elle soit en développement.

La vente directe concerne la vente à la ferme, la vente au travers d'AMAP (paniers), la vente par internet, la vente sur des marchés, ou la vente en restauration collective. Le seul point de vente collectif (magasin de producteurs) situé dans l'Ouest a arrêté de fonctionner en 2016. La vente en circuits courts concerne la vente sur des marchés (lorsque le produit est revendu par un intermédiaire), la vente par internet, la restauration collective (les producteurs livrent à une structure type UPROBIO par exemple, qui agit comme un intermédiaire), la vente aux OP et coopératives, la vente en magasins spécialisés ou à l'export. Les circuits longs concernent les OP et les coopératives ainsi que la vente à l'export. Pour chacun des 9 circuits, une synthèse sous forme de matrice a été réalisée.

Les critères retenus pour chacun des circuits sont les suivants : rappel sur le type de circuit concerné (vente directe, circuit court ou circuit long), profils des exploitations utilisant ce circuit, stratégie économique du producteur, place des F&L si d'autres types de produits sont commercialisés, avantages et inconvénients du circuit pour le producteur, supports utilisés pour la commercialisation et facteurs de succès.

2.1.4 Co-construction d'indicateurs d'acceptabilité des produits issus de la production en agriculture biologique (Tableau 2)

Tableau 2 : Indicateurs d'acceptabilité des produits sur les marchés (variables associées)

Critères	Indicateurs	Marché local	Marché export
		Variables	Variables
Production de l'ananas	Période de production	Mi-décembre à mai	Décembre à janvier
Agréage	Aspect extérieur du fruit	<ul style="list-style-type: none"> - Belle couleur jaune - Couleur mi-vert/mi-jaune (haut – bas) - Pas de couleur blême - Pas de défaut externe, uniforme (mais piqué toléré) - Pas de grosse couronne - Yeux bien ouverts - Pas de nécrose à la base 	<ul style="list-style-type: none"> - 1/4 à 4/4 jaune - Indemne d'insectes ou nuisibles - Peau non piquée - Couronne : tolérée penchée mais pas de feuilles jaunes - Pas de nécrose à la base - Pédoncule : 0,5cm
	Aspect intérieur du fruit	<ul style="list-style-type: none"> - Taches noires tolérées - Couleur jaune 	<ul style="list-style-type: none"> - Taches noires tolérées - Belle couleur jaune
	Qualités gustatives	<ul style="list-style-type: none"> - Taux de sucre min 14 % - Peu acide - Bon goût, croquant, juteux, frais en bouche et pas gorgé d'eau - Peu fibreux 	<ul style="list-style-type: none"> - Bon goût - Sucré - Peu acide
	Calibres	<ul style="list-style-type: none"> Gros : 0,8 à 1 kg Moyen : 0,5 à 0,8 kg Petit : 0,3 à 0,5 kg Moins de 0,3 kg = refus 	<ul style="list-style-type: none"> Gros : 0,8 à 1 kg Moyen : 0,5 à 0,8 kg
Commercialisation	Prix	1 à 3 € / pièce	1 à 2 € par kg
Mise en marché	Durée récolte - commercialisation	Entre 24 et 48 h	Début semaine < 48 h Milieu de semaine 3 jours

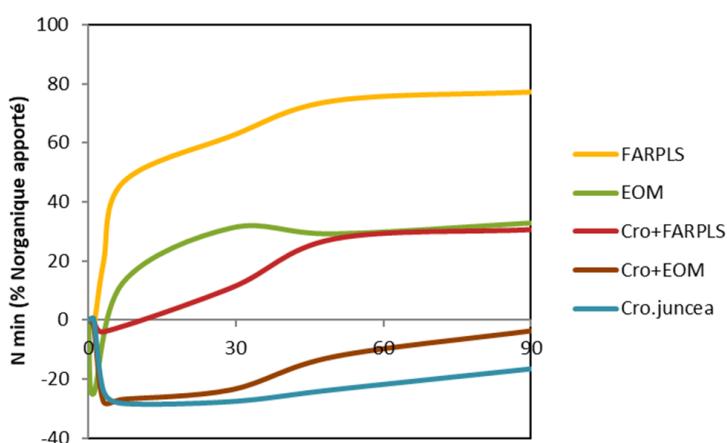
Des indicateurs d'acceptabilité des ananas issus de l'agriculture biologique ont été co-construits avec différents acteurs de la filière de production et de commercialisation des ananas bio à la Réunion, pour

les marchés export et local. Une grille d'indicateurs permet ainsi de mieux évaluer l'acceptabilité de ces produits sur les marchés en prenant en compte notamment une contrainte majeure de production ciblée sur une période très étroite de 2 à 3 mois sur l'année en raison de l'absence d'autorisation d'induction florale artificielle bio (TIF Bio) (Tableau 2).

2.2 Fertilisation organique

L'objectif était de proposer pour la culture d'ananas en agriculture biologique des fertilisants organiques pour les substituer aux fertilisants de synthèse utilisés en production d'ananas conventionnelle. Un engrais organique disponible localement, la farine de plumes et sang (FARPLS), est agréé en AB et commence à être utilisé sur ananas, sans en connaître les intérêts pour la fertilisation jusqu'à présent. Les plantes de service, comme engrais vert, en rotation avec l'ananas représentent une source d'azote potentiellement simple à obtenir.

2.2.1 Potentiel de transformation des Matières Organiques (MO)



FARPLS : Farine de plumes et sang ; EOM : engrais organo-minéral ; « Cro » : Crotalaria juncea

Figure 3 : Fraction de l'azote minéralisé (en % du N organique apporté) mesuré pendant 3 mois en conditions contrôlées.

Les cinétiques de minéralisation de l'azote organique mesurées (Figure 3) sont conformes à celles généralement observées pour ces types de matériaux (Lashermes et al., 2010). La FARPLS a un comportement typique d'un engrais organique d'origine animale, avec une minéralisation de l'azote intense dès l'apport et à un niveau élevé, puis un plateau 1 mois environ après apport. Il ne se minéralise alors plus qu'une petite fraction de l'azote organique initial (thèse CIRAD Rabetokotan, 2013). A l'opposé, on peut observer une immobilisation nette de l'azote de la Crotalaire sur toute la durée de l'expérience. Cela est probablement dû à la qualité de sa matière organique (C/N élevé, C disponible pour la transformation de l'azote). Cette immobilisation n'est pas corrigée avec un mélange de crotalaire et EOM (Cro+EOM), dans les proportions testées. Le mélange Cro+EOM a un comportement intermédiaire entre FARPLS et le mélange crotalaire et FARPLS (Cro+FARPLS). On peut remarquer que l'azote minéral provenant du mélange Cro+FARPLS est immobilisé pendant une très courte période après apport, puis qu'il est libéré progressivement. Ceci peut représenter un avantage pour ce mélange vis-à-vis de la nutrition de l'ananas dont les besoins sont modestes après plantation (où les racines sont peu nombreuses) puis progressifs jusqu'à la floraison.

2.2.2 Expression du potentiel de transformation des MO au champ et estimation des pertes en nitrates

Les différents fertilisants testés n'ont pas entraîné des différences significatives de rendement de l'ananas. On peut donc estimer que le plan de fertilisation élaboré avec les fertilisants choisis a été

en mesure de nourrir les ananas convenablement, et représente une alternative intéressante en AB. C'est un des résultats majeurs de cette étude.

Les formes minérales de l'azote ont été dosées dans les solutions d'extraits de sol. Elles montrent une forte variabilité à mettre en parallèle avec l'irrigation et la pluviométrie. Les parcelles non amendées (0N) produisent toutefois des quantités d'N minéral non négligeables, probablement dues au retournement de la friche qui a précédé l'installation de l'essai (minéralisation de la matière organique).

Quelle que soit la couche considérée, la hiérarchie des teneurs en N minéral est toujours : Témoin < Cro+FARPLS < FARPLS. Il y a un rapport d'environ 1 à 3 entre Témoin et parcelles fertilisées. En moyenne sur la période et dans l'horizon de surface, les parcelles non amendées (0N) ont produit 68 mg de nitrate/kg sol sec, 111 mg pour le mélange Cro+FARPLS et 156 mg pour FARPLS seule. Pour l'horizon plus profond, les productions d'N minéral s'élèvent à 79, 130 et 181 mg/kg sols sec. Les quantités d'N minéral présentes dans l'horizon de surface semblent relativement stables, à la différence de ce que l'on peut observer dans l'horizon plus profond (Figure 4).

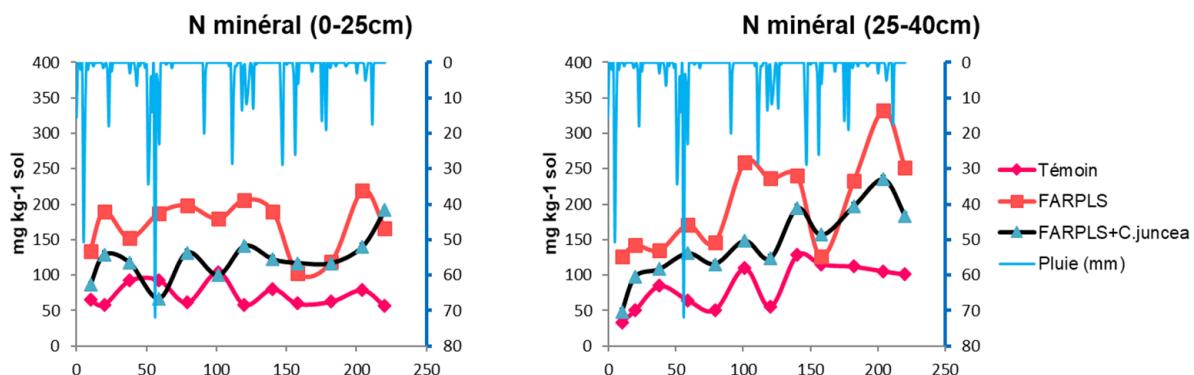


Figure 4 : Azote minéral mesuré pendant 220 jours dans la solution de l'eau du sol de l'essai (sol nu)

2.3 Gestion des adventices

Trois pratiques générales de gestion de l'enherbement ont été évaluées : le précédent cultural, la gestion des adventices sur l'inter-rang et la gestion des adventices sur le rang de plantation de l'ananas. Chacune a fait l'objet d'une formalisation d'un cahier des charges avec les producteurs pour la sélection d'une technique et de plantes de service.

2.3.1 Plantes de service en précédent de la culture d'ananas

- *Evaluation de plantes de service en collection*

Les caractéristiques d'une sélection d'une vingtaine de plantes de service de ces collections et de leur capacité à rendre les services espérés ont été synthétisées dans un tableau du Livret des innovations techniques ANANABIO pages 19 et 20 (Soler et al., 2019).

- *Evaluation des plantes de service (PdS)*

Ces PdS sont évaluées en cultures pures ou en associations. L'intérêt d'associer des PdS est de :

- Combiner les vitesses initiales de croissance et les types de port pour bénéficier d'une dynamique de recouvrement la plus rapide possible ;
- Associer des litières de qualité différente (rapport C/N) afin de trouver les meilleurs ajustements entre les fonctions de couvert végétal et les dynamiques de restitutions organiques ;
- Profiter de PdS à forte croissance initiale pour installer d'autres PdS moins rapides mais ultérieurement plus productrices de biomasse.

Un certain nombre d'espèces sont potentiellement intéressantes en raison de leur vitesse de croissance initiale et de leur capacité à produire une forte biomasse. Il s'agit notamment de : *Pennisetum glaucum*, *Canavalia ensiformis*, *Vigna unguiculata*, *Guizotia abyssinica*, *Raphanus sativus*, *Avena sativa*. Le millet (*Pennisetum glaucum*) a un très bon comportement à la fois en culture pure et en mélange, pour le contrôle de l'enherbement avec sa forte croissance initiale et la biomasse produite (Figure 5). Des effets allélopathiques complémentaires peuvent aussi compléter ces traits fonctionnels.

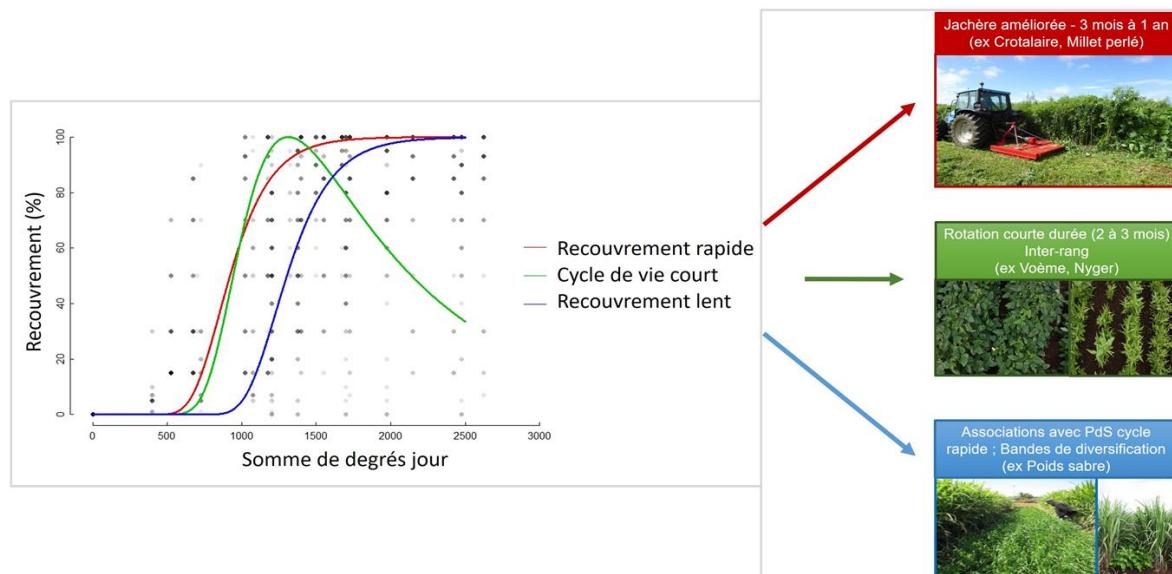


Figure 5 : Analyse du taux et de la vitesse de recouvrement du sol par différentes PdS en collection

Des analyses réalisées en grandes parcelles ont permis d'évaluer le taux de recouvrement à 60 jours pour différentes PdS et l'impact sur les adventices avec un seuil de tolérance établi à 30 %. Elles ont aussi permis d'évaluer le comportement d'associations d'espèces sur le contrôle des adventices (Figure 6). Les biomasses produites ont été mesurées pour les associations de *Crotalaria spectabilis* et *C. juncea*, ainsi que *C.juncea* avec Millet (*Pennisetum glaucum*) dans le cadre des essais pour la gestion des BAG.

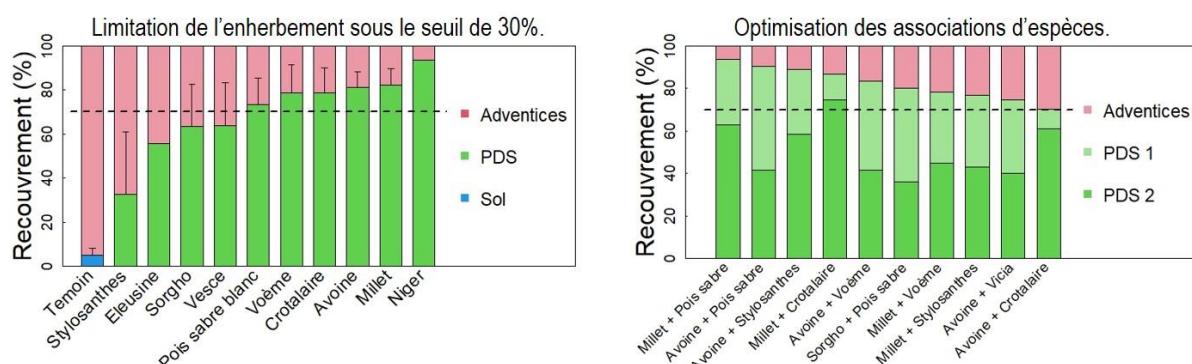


Figure 6 : Gestion des adventices en grandes parcelles (culture pure ou association d'espèces)

Les conclusions de ces observations sont que différents mécanismes interviennent pour le contrôle de adventices par des plantes de service. Il y a une relation claire entre biomasse des PdS et leur pouvoir de contrôle sur les adventices. Le potentiel de gestion des adventices est différent pour chaque plante de service, certaines à cycle court restituent de la MO rapidement au sol, d'autres produisent un paillis plus durable en raison d'une dégradation lente probablement liée à leur composition (rapport C/N) (Figure 7). Enfin il est possible de combiner ces différents services en optimisant l'association de PdS (Christina et al., 2018).

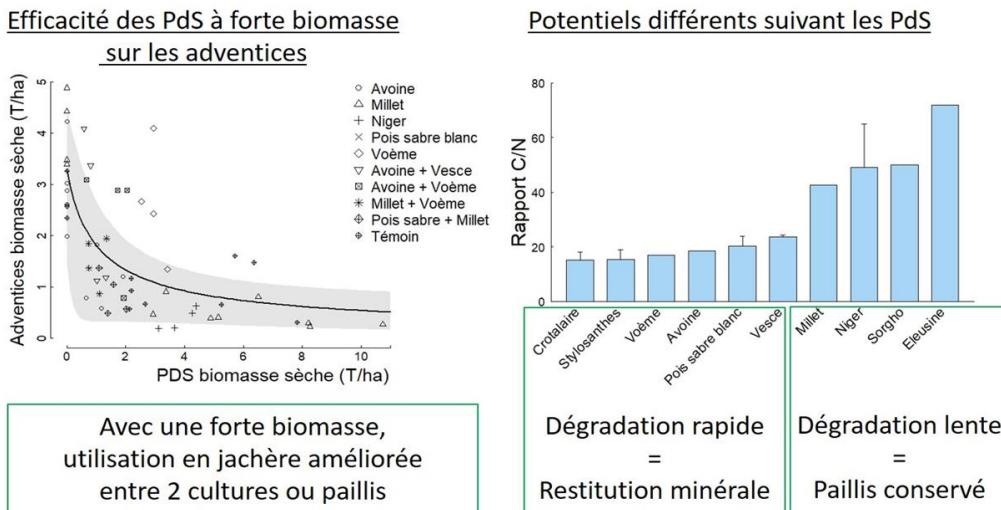


Figure 7: Biomasse, vitesse de dégradation de la MO des PdS et gestion des adventices

2.3.2 Gestion de l'enherbement sur l'inter-rang

La paille canne a permis une gestion de l'enherbement satisfaisante sans différence significative avec la gestion classique à la débroussailleuse ou au rotofil. Une plante de service, la luzerne, a présenté un potentiel très intéressant mais nécessiterait de réduire la largeur des inter-rangs (à 80 cm) pour obtenir des charges équivalentes à celles de la débroussailleuse.

Néanmoins, l'épandage manuel de la paille canne demande une main d'œuvre importante. La couverture du sol avec du broyat de bois issu d'élagage d'espaces verts, bien qu'efficace, présente des contraintes de coût plus importantes que la débroussailleuse (gestion manuelle et coût du broyat). De plus, s'agissant d'un broyat « frais », il a fallu procéder à 2 paillages sur le cycle. Un autre broyat de bois a pu être testé par la suite (palette non traitée bois de classe A), il se révèle intéressant et ne nécessite pas de second passage en cours de cycle. Enfin, les temps de travaux ont été peu différents entre les modalités : débroussailleuse (83 h.ha^{-1}), désherbagés manuels nécessaires avec la paille canne (97 h.ha^{-1}), ou le broyeur à fléau sur la luzerne, (66 h.ha^{-1}).

2.3.3 Gestion de l'enherbement sur le rang (systèmes alternatifs au paillage plastique en polyéthylène)

Le film biodégradable semble être la meilleure alternative en comparaison à l'utilisation d'un paillage naturel comme la paille canne. Le développement des plants sur paille canne a été plus faible par rapport à ceux plantés sur film biodégradable ou polyéthylène (probablement une meilleure conservation de l'eau dans le sol et peut-être, bien que non évalué, un effet faim d'azote si la paille se dégrade assez rapidement). Le plastique biodégradable évalué est le paillage « Optiplast 100 % biodégradable base Ecovio® ». Le film le plus fin (50 µ, mais d'autres épaisseurs plus faibles sont disponibles) a donné des résultats équivalents à un paillage en polyéthylène classique au niveau de la gestion de l'enherbement sur l'ensemble du cycle de l'ananas. La plantation avec un couvert type semis direct sous couvert végétal (SCV) pour l'ananas n'a pas pu être maîtrisée.

2.4 Gestion des bioagresseurs (BAG)

2.4.1 Enquête parasitisme sur la Réunion

Les principaux bioagresseurs du sol sont présents dans toutes les zones de production de l'ananas à la Réunion. Le *R. rotylenchulus* est le principal nématode mais les populations sont trop faibles pour impacter la croissance des plants (Figure 8).

Des réductions significatives de populations de symphyles ont pu être observées entre été et hiver austral. Pour les nématodes, les réductions observées ne sont pas significatives, probablement en raison des faibles populations enregistrées.

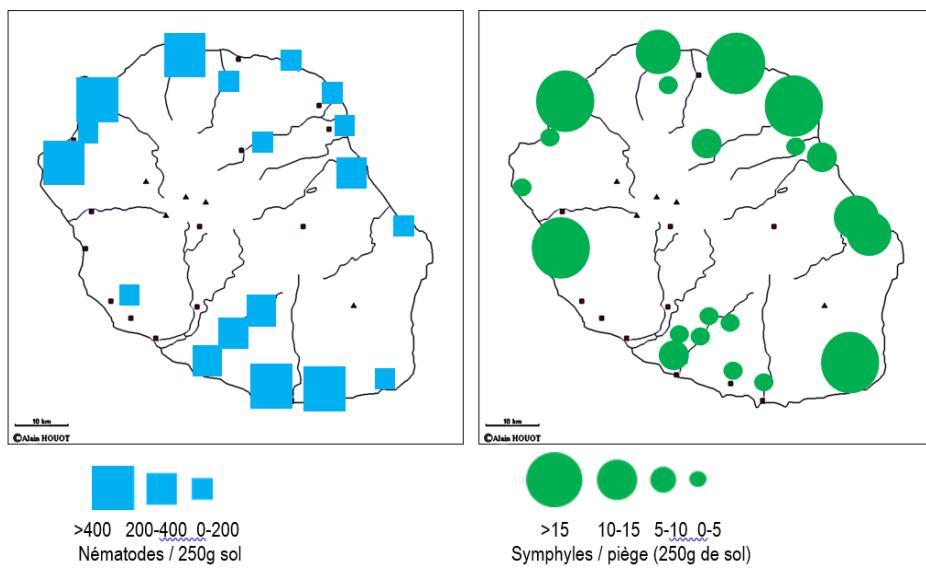


Figure 8 : Infestation des zones de production d'ananas à la Réunion par les parasites telluriques (nématoïdes en bleu, et symphytes en vert)

Ces résultats n'ont pas permis d'établir de corrélations entre les niveaux des populations de parasites racinaires et les pratiques culturelles ou les zones de production (ACM). Cependant, les populations de bioagresseurs des racines étaient moins importantes que le laissait présager des enquêtes préliminaires récentes. Leur gestion avec des méthodes agronomiques simples d'assainissement est recommandée car ces parasites telluriques représentent un danger potentiel certain. L'usage de plantes de service assainissantes en rotation avec l'ananas devrait suffire en l'état actuel. Des pratiques plus écologiques additionnelles peuvent aussi être intégrées dans les systèmes de culture, comme la destruction fine des plants du cycle précédent pour éviter la repousse de petits plants dont les racines peuvent maintenir des inocula gênants pour la culture suivante (voir le Livret des innovations techniques ANANABIO (Soler et al., 2019).

En revanche, les populations de cochenilles (*Dysmicoccus brevipes* et à un moindre niveau *D. neobrevipes*) sont fortes et généralisées, et peuvent impacter la production d'ananas. Les cochenilles *Dysmicoccus brevipes*, vectrices de virus associés au Wilt, sont très largement présentes dans toutes les zones de production (Figure 9).

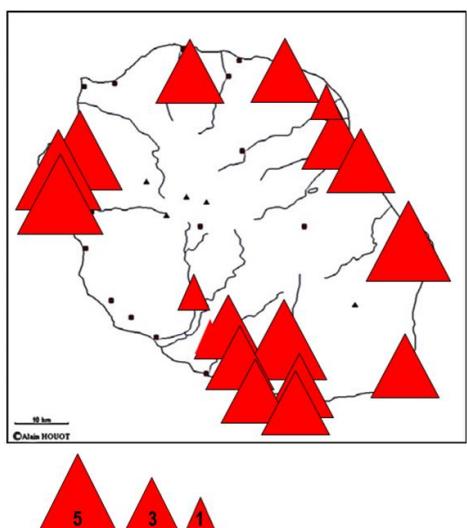


Figure 9 : Carte de l'incidence et notation du Wilt. 5 : forts symptômes, cochenilles et fourmis ; 3 : symptômes fréquents mais peu de cochenilles, pas de fourmis ; 1 : peu ou pas de symptômes.

Cependant, quelques plantations utilisent le seul insecticide de synthèse autorisé, Spirotetramat®, soit en traitement de désinfection des rejets, soit en cours de végétation. C'est un insecticide systémique utilisé pour la production conventionnelle, mais qui n'a pas une efficacité suffisante en cas de fortes infestations (observation personnelle). Selon les résultats de l'enquête, le Wilt constitue aujourd'hui le principal problème parasitaire pour la filière ananas. Toutes les zones sont infestées par les cochenilles et certaines pratiques comme l'échange de matériel végétal pour replantation de nouvelles parcelles d'ananas, souvent avec des rejets contaminés, constituent un facteur important de dissémination de la maladie. Les mesures plus écologiques comme la destruction fine des vieux plants permettent de réduire les inocula comme pour les parasites des racines. Cela réduit la réinfestation du matériel sain produit pour la replantation.

Facteur climatique important, la réduction des précipitations observée ces dernières années a sans doute facilité le développement de populations importantes de cochenilles. Enfin, un autre facteur déterminant est l'omniprésence de différentes espèces de fourmis qui établissent une relation de type mutualiste avec les cochenilles. Elles éloignent leurs prédateurs et peuvent même construire une protection physique autour des colonies de cochenilles sur le plant d'ananas (Figure 10). Enfin, elles participent aussi à leur dissémination de plant à plant, accélérant ainsi la contamination dans la parcelle.



Figure 10 : Protection des cochenilles par les fourmis

L'analyse par l'ANSES Réunion des échantillons d'ananas prélevés au cours de l'enquête diagnostic a montré que 100 % des plants analysés portaient le PMWaV1 (closterovirus, pineapple mealybug Wilt associated virus) et PBCoV (badnavirus, pineapple bacilliform comosus virus). Les virus PMWaV2 et 3 ont été trouvés respectivement dans 41 % et 46 % des échantillons. A noter que le PMWaV2 est le virus qui est en général associé aux symptômes de Wilt partout dans le monde, à une exception près, l'Australie. Si les résultats indiquent qu'il y aurait une présence plus faible des virus pour les parcelles situées à 500 m d'altitude et plus, ils ne permettent pas, à ce stade, d'associer l'un ou l'autre des virus avec la maladie elle-même (Massé et al., 2021).

2.4.2 Production de plants sains

Une technique de production de matériel de plantation sain a été proposée dans le projet en s'appuyant sur des résultats obtenus précédemment et dans ANANABIO. Des pépinières ont été installées à partir de vitroplants sains, indemnes de virus et de cochenilles, avec un sevrage et un grossissement chez un pépiniériste. Les plants sont castrés par gougeage après 6 mois de croissance permettant la production des rejets issus de bourgeons axillaires. La castration peut être réalisée soit directement dans le cœur du plant, soit après induction florale en détruisant la jeune inflorescence (plus facile mais le TIF bio n'est pour l'instant pas autorisé). Les pépinières ainsi mises en place ont permis d'obtenir en un an 12 000 rejets sains à partir de 1000 vitroplants en pépinière de plein champ conduite en bio, (Figure 11a - Production de jeunes plants à partir des bourgeons axillaires de la tige, Figure 11b - Jeune inflorescence de 15j juste avant gougeage, Figure 11c - Pépinière dans un système de rotation avec

crotalaire). Environ 20 000 rejets ont été obtenus à partir d'une pépinière équivalente mais conduite en système de production conventionnel (20 rejets de 180g par VP planté en 18 mois).



Figure 11: (a) Bourgeon axillaire redonnant un plant (gauche), (b) Inflorescence de 15 jours avant gougeage (milieu), et (c) Pépinière (système de rotation avec crotalaire) (droite)

2.4.3 Gestion des BAG du sol avec les PdS

Vingt et une plantes candidates ont été testées entre 2017 et 2019. Des fiches descriptives ont été regroupées dans le Livret des innovations techniques ANANABIO (Soler et al., 2019).

En micro-parcelles les espèces végétales les moins infestées par les symphyles ont été les crotalaires, la moutarde blanche, le plantain, le pois fourrager et le Rhodes grass (*Chloris gayana*). Les espèces végétales les plus infestées ont été la vesce, le canavalia, l'avoine, le stylosanthes, le nyger, le vigna 40j et l'*Arachis pintoï*.

Les espèces les moins infestées par les nématodes ont été le *Crotalaria spectabilis*, le neonotonia, le canavalia, la vesce, le Rhodes grass, le radis et la moutarde blanche. Les plus infestées ont été le millet, *Crotalaria juncea* et *C. zanzibarica*, le voème rouge. Les conditions climatiques n'ont pas été optimales et les infestations ont été très faibles comme pour l'enquête parasitaire et quelles que soient les plantes. Par exemple, *C. juncea* habituellement très efficace en conditions normales contre les nématodes réniformes (Soler et al., 2020) a semblé peu efficace dans ces conditions.

Le Rhodes grass est connu pour son statut de mauvais hôte pour le nématode *R. reniformis* de l'ananas (Caswell et al., 1991) et il est utilisé comme fourrage à la Réunion (semences facile d'accès). Le plantain (*Plantago lanceolata*) ne permet pas la multiplication des nématodes de l'ananas. Malgré sa faible biomasse, il semble avoir un effet allélopathique très fort sur la plupart des graminées (observations répétées en 2017 et 2018), et il s'installe très bien en période hivernale, donnant une couverture du sol anti-érosive très homogène. Le millet et *Chloris gayana* ne se développent que très faiblement en présence de ou après plantain, alors que les légumineuses semblent peu affectées.

Les crotalaires seules ou associées à du millet (*Pennisetum glaucum*) ont présenté un intérêt aussi bien pour le contrôle des BAG du sol, que pour des aspects de couverture du sol (gestion des adventices), ou que pour la production de biomasse. Les biomasses observées en station (stade début de floraison en période chaude) varient entre 28 et 45 t frais/ha (Tableau 3).

Tableau 3 : Biomasses produites en station sur micro parcelles (moyennes de 3 mesures par parcelle)

Stade début de floraison	<i>C. juncea</i>	<i>C. spectabilis</i>	<i>C. spectabilis</i> + <i>C. juncea</i>	<i>C. spectabilis</i> + Millet
t Frais /ha	43	40,8	28,6	45,3
t Sec /ha	9,3	6,1	7,5	8,7
% MS	21,5	14,9	26,1	19,3
N kg /ha (~3 %)	280	183	223,5	218

Les biomasses observées chez les producteurs varient pour *C. juncea* de 56 t frais/ha apportant environ 375 kg d'azote par ha, à 13,5 t frais/ha, soit environ 96 kg d'azote/ha. Pour *C. spectabilis*, les productions de biomasse ont varié de 44 t frais/ha (~200 kg d'azote par ha) à 15,7 t frais/ha soit environ 65 kg d'azote par ha. Le mélange *C. spectabilis*-Millet a donné jusqu'à 45 t frais/ha (~218 kg d'azote/ha). Ces valeurs confirment que ces plantes sont capables de fournir plusieurs services importants pour l'agrosystème. Cependant, certaines comme les légumineuses sont sujettes à plusieurs contraintes. Elles sont très sensibles à la photopériode et les résultats d'observations faites sur des semis de janvier à juin indiquent qu'il devient improductif de les semer à partir du mois de mars à la Réunion. Les crotalaires sont très sensibles à la diminution de la durée du jour et fleurissent deux mois après le semis avec des biomasses finales ne dépassant 10 à 15 t frais/ha au mieux. Des semis plus tardifs, d'avril à juin, n'ont rien donné. Des semis de septembre à février permettent de maximiser la production de biomasse et l'assainissement du sol pourvu que la nodulation des racines résultant des symbioses avec des bactéries du sol (*Bradyrhizobium spp.*) soit effective. En effet, seuls les nodules produisent les pyrolizzidines toxiques pour les parasites racinaires (Irmer et al., 2015).

Autres contraintes, les crotalaires ont subi des attaques parasitaires dans le contexte réunionnais (Figure 12). La plus grave est une infestation parfois très importante par une Miride (*Moissonia importunitas*) capable de détruire totalement un semis. Trouvée et identifiée pour la première fois à la Réunion dans le cadre du projet ANANABIO, elle a fait l'objet de 2 publications (Ratnadass et al., 2020 ; Ratnadass et al., 2018). Enfin, la chenille de *Utetheisa ornatrix* est observée fréquemment mais fait peu de dégâts sur les crotalaires contrairement à sa cousine antillaise qui ravage les crotalaires aussi fortement que la Miride à la Réunion.



Figure 12 : *Moissonia importunitas* sur *C. juncea* et chenille d'*Utetheisa ornatrix* de la Réunion

2.4.4 Prototype de système de culture centré sur la gestion des BAG

L'installation de parcelles d'ananas chez deux producteurs conventionnels en intégrant certaines des innovations techniques proposées dans le projet ANANABIO a été faite pour tester la faisabilité de la mise en place par les producteurs eux-mêmes d'une articulation de certaines des innovations en prélude à la création d'un prototype de système de culture ananas.

La succession des travaux d'installation des parcelles prototypes d'ananas a été la suivante :

- Destruction au broyeur à bois de vieilles parcelles (*biomasse ananas*) ;
- Incorporation des résidus fins dans le sol (*réduction des risques de recontamination*) ;
- Faux semis puis couvert *C. juncea* et *C. spectabilis* (*gestion BAG du sol et des adventices*) ;
- Incorporation dans le sol de la biomasse (*biomasse et statut organique sol*) ;
- Fertilisation initiale : granulés et biomasse crotalaire (*fertilisation*) ;
- Plants sains sur film polyéthylène au sol (*gestion des cochenilles et drip irrigation*) ;
- Installation d'un broyat de bois entre les lignes (*gestion des adventices*).

Après le travail du sol et le semis des crotalaires, une levée de cypérus généralisée a été observée chez l'un des producteurs. La croissance rapide des crotalaires et leur couverture efficace du sol a permis l'élimination totale des parties aériennes des cypérus (mais avec moins d'effet bien sûr sur les tiges souterraines). Les biomasses produites par les crotalaires ont dépassé les 40 t frais/ha sur les 2

exploitations, indiquant que le broyage fin des vieux plants d'ananas a constitué un apport en MO suffisant pour une bonne croissance des crotalaires.

Un prototype de système de culture bio, à dire d'experts et plus complet, a été établi en station. Il est constitué par une rotation ananas/crotalaire/maraîchage/crotalaire. La séquence se déroule sur 2 parcelles de même taille associées en binôme. L'une porte l'ananas pendant 16 mois (jusqu'à la récolte), l'autre porte le reste de la rotation, crotalaire/maraîchage/crotalaire, pendant la même durée. Ce dispositif permet de synchroniser les parcelles et d'intervertir les cultures au cycle suivant malgré la différence de longueur de cycles entre les différentes plantes. Il fonctionne en bio, sans pesticides, et nécessite 3 ou 4 cycles afin d'être pleinement fonctionnel. Il est en cours de suivi pour déterminer l'impact du système de culture sur les paramètres de qualité des sols et de populations des micro et macrofaunes susceptibles de contribuer à l'instauration de régulations naturelles des parasites de l'ananas mais aussi du maraîchage.

2.4.5 TIF bio – Induction artificielle de la floraison

Le traitement d'induction florale (TIF) de l'ananas permet d'assurer et de synchroniser la floraison, la fructification et l'arrivée à maturité des fruits au sein d'une parcelle. La floraison dépend beaucoup de la taille des plants et l'hétérogénéité de croissance des plants au sein d'une parcelle entraîne des floraisons étalées dans le temps. De plus, les températures fraîches de l'hiver (juillet – août) font fleurir naturellement la majorité des plants d'une exploitation, et orientent la récolte des fruits toujours vers la période décembre – janvier. Sans TIF bio, une production toute l'année comme en production conventionnelle n'est pas possible, ce qui n'est pas commercialement viable.

Une technique bio pour synchroniser les floraisons a été proposée dans le cadre des RITA Martinique (voir fiche RITA Martinique TIF BIO, Traitement d'induction florale, et Soler et al., 2006). Elle est efficace (de 95 % à 100 % de floraison au champ en une application) et avec un minimum d'éthylène (entre 0,5 et 2 mg/plant) et de charbon actif (entre 150 et 250 mg/plant) (Soler et al., 2006).

L'éthylène est inscrit sur la liste des substances actives approuvées par la Commission Européenne selon le règlement CE n°1107-2009 depuis septembre 2009. La substance est inscrite à l'annexe IV du règlement CE n°396-2005, elle n'est donc pas soumise à une limite maximale de résidus (LMR). Le règlement CE n°1318-2005 autorise l'utilisation de l'éthylène pour l'induction florale de l'ananas en agriculture biologique. Néanmoins, le règlement d'exécution CE n°187-2013 limite les autorisations aux utilisations de l'éthylène en intérieur pour les utilisations en Europe.

En 2016, un argumentaire a été établi par l'IT² et l'Armeflhor, soutenus par l'ITAB, et déposé auprès de l'ANSES afin de définir la démarche nécessaire pour obtenir l'autorisation de cette méthode en plein champ. Ce blocage administratif limite la production d'ananas bio à la période entre fin novembre et février qui résulte de floraisons naturelles qui ont eu lieu pendant la période hivernale de juin à août.

2.5 Mécanisation

2.5.1 Evaluation des situations des exploitations et profils de systèmes de plantation

L'état des lieux a permis d'enregistrer les paramètres suivants :

- Les niveaux de pente observés sur les parcelles d'ananas vont de 11 jusqu'à 25 % ;
- Pour la préparation des parcelles, après broyage de la culture précédente, un travail du sol permet d'enfouir les résidus et d'ameublir le sol (chisel, rotovator, parfois labour). Cependant, la préparation des sols est très hétérogène selon les situations avec la présence ou pas de pierres, parfois de grosses tailles ;

- Le plus souvent des billons sont réalisés au double pic à canne ou avec des buteuses avec ou sans rotavator ;
- A la récolte des rejets des tailles de 150 à 350 g sont triés en lots homogènes et les feuilles taillées pour réduire l'encombrement. Des densités de plantation de 60 000 à 80 000 plts/ha ont été observées, ainsi que des nombres de 3, 4 ou parfois 5 rangs par billon avec des intervalles variables entre les plants de 15 à 30 cm ;
- Les paquets de rejets sont distribués sur les parcelles manuellement. L'opération de plantation seule demande 30 jours/ha à une personne.

Au final, sept profils de plantation différents ont été identifiés, un équipement unique n'a pas pu être conçu d'autant que certains producteurs adoptent plusieurs profils de plantation sur la même exploitation. Tous ces paramètres ont déterminé le cahier des charges pour concevoir la planteuse.

2.5.2 Evaluation des broyeurs



Figure 13: Résidus de broyage par (a) broyeurs à marteaux rotatifs (gauche), (b) broyeurs à couteaux en Y rotatifs (milieu), (c) broyeurs à bois (droite)

L'évaluation de différents modèles de broyeurs, d'acquisition facile à la Réunion, a été faite en comparant la finesse des résidus obtenus sur des plants en fin de culture entre les rotobroyeurs classiques et un broyeur à bois. Des tests en vraies grandeurs chez les producteurs sur des parcelles pilotes ont été faits avec ce broyeur.

Les broyeurs à marteaux rotatifs sont polyvalents, y compris sur des parcelles avec des cailloux de petite taille, et il en existe de très robustes (modèles forestiers). Ils sont peu efficaces pour réduire les plants en résidus fins surtout si ces derniers sont déjà plus moins secs (Figure 13a). Il y a donc un risque important de maintien d'un inoculum des différents parasites.

Les broyeurs à couteaux en Y rotatifs, moins courants à la Réunion, nécessitent un itinéraire adapté sur des parcelles caillouteuses. Ils sont plus efficaces pour réduire les plants en résidus fins donc avec moins de risques de maintien des parasites comme les cochenilles (Figure 13b).

Le broyeur à bois a été particulièrement efficace pour réduire en résidus fins les vieux plants sauf lorsque les feuilles sont trop sèches. Il élimine pratiquement tous les morceaux de souches à partir desquels redémarrent des petits plants qui vont accélérer la recontamination de la parcelle. Cette technique a le meilleur pouvoir d'assainissement et contribue aussi à une minéralisation rapide de la biomasse (Figure 13c). Le broyeur retenu pour le projet est un broyeur à bois, modèle XYLOCHIP 200T (RABAUD) (Figure 14). Trois parcelles de producteurs ont pu être entièrement broyées avec ce nouvel outil. Le broyeur porté par le tracteur, avance au rythme des deux ouvriers qui l'alimentent. Les temps estimés sont de l'ordre de 50 heures de travail pour broyer 1 ha d'ananas. Beaucoup moins rapide que les autres broyeurs, le broyeur à bois pourrait être réservé aux situations de fortes infestations.



Figure 14 : Utilisation du broyeur à bois en parcelle en fin de production

2.5.3 Co-conception et réalisation d'un équipement d'assistance à la plantation

Un cahier des charges a été élaboré en se basant sur les paramètres de l'enquête, puis la co-conception et la construction de la planteuse ont été faites avec la participation de plusieurs producteurs dans le cadre d'ateliers d'auto-construction avec l'appui de l'Atelier Paysan. L'équipement comprend une benne de stockage supérieure (3000 plants pour 170 m linéaire). Il dispose d'une trémie de distribution par gravité (30 rejets par minute) pour 2 postes de plantation réglables en hauteur. Les opérateurs sont en position semi allongée ventrale pour moins de pénibilité (Figure 15).



Figure 15 : Validation du prototype d'assistance à la plantation chez les producteurs

Les tests au champ ont permis de mettre à l'épreuve le prototype et d'apporter des modifications notamment sur la sécurité des opérateurs puis de le tester dans des conditions réelles d'utilisation. Les résultats ont été concluants et **la plantation peut se faire rapidement en réduisant la pénibilité du travail** : 4 jours/ha pour 3 personnes, le tracteur commandant une vitesse rampante de 100 m/h et 2 opérateurs sur la planteuse d'ananas qui peuvent planter jusqu'à 5 rangs par billon. Ceci est à comparer avec les 30 jours/ha pour une personne sans compter la partie transport des rejets. Le système supprime aussi la distribution manuelle des paquets de rejets dans les parcelles.

2.6 *Transfert d'informations, délivrables*

Les résultats du projet ont été diffusés tout au long du projet au sein des groupes de travail organisés dans les différentes actions. Les ateliers de co-conception ont permis de faire état de l'avancée des résultats du projet et également de prendre en compte les attentes et les retours des producteurs vis-à-vis des innovations développées. Les principaux livrables sont un livret technique regroupant l'ensemble des innovations et méthodes développées (Soler, Nurbel, Masson, Hoarau, Tisserand, Thuriès, Chabanne, Dorey et Chillet, 2019), des vidéos ([chaîne Youtube](#) de l'Armefilhor), des communications et articles techniques dans des revues nationales et locales, des [pages Web](#), des publications scientifiques et un séminaire de restitution final.

Conclusion

Le projet ANANABIO a développé des pratiques culturales sur quatre enjeux principaux : (1) la fertilisation organique, notamment l'azote ; (2) la gestion des mauvaises herbes ; (3) la lutte contre les ravageurs et (4) la mécanisation, en particulier la destruction des vieilles parcelles après la récolte mais aussi la plantation mécanisée. Les agronomes et les producteurs ont élaboré et évalué les pratiques innovantes, et ont conçu des outils pour évaluer les systèmes de culture intégrant ces innovations. L'approche participative a permis de développer des indicateurs d'évaluation des systèmes de culture par les producteurs eux-mêmes *ex ante* ou *ex post*, laissant espérer une adoption plus directe de certaines des innovations techniques proposées.

Remerciements

Financement : Action pilotée par le ministère chargé de l'agriculture dans le cadre de l'appel à projets CASDAR Innovation et Partenariat 2016-2019 (projet lauréat en 2015), et l'Union Européenne FEDER projet Cosaq.

Crédits photos : Y. Ah-Hot, I. Hoarau, G. Tisserand (Armefhor), A. Chabanne, A. Ratnadass, A. Soler (CIRAD)

Références bibliographiques

- Caswell E.P., DeFrank J., Apt W.J., Tang C.S., 1991. Influence of Nonhost Plants on Population Decline of *Rotylenchulus reniformis*. *Journal of Nematology* 23 (1), 91-98.
- Chopart J.-L., Debaut-Henoque L., Marie-Alphonsine P.-A., Asensio R., Soler A., 2015. Estimating root length density of pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.) from root counts on soil profiles in Martinique (French West Indies). *Fruits* 70 (3), 143-151.
- Christina M., Marnotte P., Benard R., Marin Y., Courtois J., Virama M. et al., 2018. Crop cover selection to improve weed control in multi-species agrosystems in Reunion Island. Ljubljana, Slovénie: Agricultural Institute of Slovenia, 121, 1 poster p.
- Coyne D., Nicol J., Claudius-Cole B., 2010. Les nématodes des plantes: Un guide pratique des techniques de terrain et de laboratoire. Cotonou, Bénin: Secrétariat SP-IPM (IITA), 48 p.
- Dorey E., Cambournac T., Michels T., Rothe M., Tixier P., 2018. Designing new management sequences for pineapple production using the SIMPIÑA model. *Agricultural Systems* 159, 50-56.
- Fournier P., Soler A., Darnaudery M., 2015. La culture de l'ananas Victoria à la Réunion pour l'exportation, Recueil de bonnes pratiques. Réunion: CIRAD, 14p p.
- Irmer S., Podzun N., Langel D., Heidemann F., Kaltenegger E., Schemmerling B. et al., 2015. New aspect of plant–rhizobia interaction: Alkaloid biosynthesis in *Crotalaria* depends on nodulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112 (13), 4164-4169.
- Lashermes G., Nicolardot B., Parnaudeau V., Thuries L., Chaussod R., Guillotin M.L. et al., 2010. Typology of exogenous organic matters based on chemical and biochemical composition to predict potential nitrogen mineralization. *Biores. Technol.* 101 (1), 157-64.
- Massé D., Cassam N., Darnaudéry M., Hostachy B., Tullus G., Soler A., 2021. Reunion Island: general survey of pineapple parasites with a focus on wilt disease and associated viruses (accepted). Dominican Republic: ISHS,
- Ratnadass A., Soler A., Chabanne A., Marnotte P., 2020. Plant species and time of planting as potential tools for management of *Moissonia importunitas* Distant (Hemiptera: Miridae), a pest of *Crotalaria* spp. cover crops. *African Entomology* 28 (1), 198-201.
- Ratnadass A., Soler A., Chabanne A., R-G T., Techer P., Le Bellec F. et al., 2018. First record of *Moissonia importunitas* as a pest of rattle box (*Crotalaria* spp.) in Réunion Island (Hemiptera, Miridae). *Bulletin de la Société entomologique de France* 123 (1): 59-64.

Rothé M., Darnaudery M., Thuriès L., 2019. Organic fertilizers, green manures and mixtures of the two revealed their potential as substitutes for inorganic fertilizers used in pineapple cropping. *Scientia Horticulturae* 257, 108691. doi: 10.1016/j.scienta.2019.108691.

Soler A., Teisson C., Dole B., Marie Alphonsine P.-A., 2006. Forcing in pineapples: What is new ? *Pineapple news* (13), 27-30.

Soler A., Reinhardt D.H., Pires de Matos A., Pereira de Padua T.R., 2018. Organic production. In: Garth M. Sanewski DPB, Robert E. Paull (ed), *The Pineapple Botany, Production and Uses* (2nd Edition). Wallingford: CABI, p. 203-221.

Soler A., Gaude J.-M., Marie-Alphonsine P.-A., Vinatier F., Dole B., Govindin J.-C. et al., 2011. Development and evaluation of a new method for sampling and monitoring the symphytid population in pineapple. *Pest Management Science* 67 (9), 1169-1177.

Soler A., Nurbel T., Masson J., Hoarau I., Tisserand G., Thuriès L. et al., 2019. Livret technique ANANABIO : Innovations techniques pour la culture de l'ananas en agriculture biologique à la Réunion. Réunion: APP CASDAR Innovation et partenariat 2016-2019.

Soler A., Marie-Alphonsine P.A., Quénéhervé P., Prin Y., Sanguin H., Tisseyre P. et al., 2020. Field management of *Rotylenchulus reniformis* on pineapple combining crop rotation, chemical-mediated induced resistance and endophytic bacterial inoculation. *Crop Protection*: 105446.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL ou DOI).