



HAL
open science

Accompagner les transitions agroécologiques des cultures orphelines

Marie Bezard

► **To cite this version:**

Marie Bezard. Accompagner les transitions agroécologiques des cultures orphelines. Agronomie. Université des Antilles, 2023. Français. NNT : 2023ANTI0935 . tel-04577866

HAL Id: tel-04577866

<https://hal.inrae.fr/tel-04577866v1>

Submitted on 16 May 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE DES ANTILLES

Spécialité : Sciences agronomiques, biotechnologies agro-alimentaires

École doctorale pluridisciplinaire n°636 : Dynamique des Environnements dans
l'Espace Caraïbes-Amériques (DEECA)

THÈSE pour l'obtention du grade de doctorat en Agronomie

présentée et soutenue publiquement par

Marie BEZARD

Le 18 octobre 2023

Accompagner les transitions agroécologiques des cultures orphelines

Hybridation, création de connaissances et innovations pour la banane
plantain en Guadeloupe

Sous la direction de Harry OZIER LAFONTAINE et Nadine ANDRIEU
Avec le co-encadrement de Carla BARLAGNE, Valérie ANGEON et Jean-Louis DIMAN

Devant le jury composé de :

Docteure **Julie LABATUT**, HDR, INRAE, UMR EPIA, Paris (France), Rapporteuse
Docteure **Mireille NAVARETTE**, HDR, INRAE, UR Ecodéveloppement, Avignon (France),
Rapporteuse

Docteur **Georges FELIX**, Coventry University, CAWR, Coventry (Grande Bretagne),
Examineur

Professeure **Gladys LORANGER-MERCIRIS**, Université des Antilles, UMR ISYEB, Pointe
à Pitre (France), Examinatrice

Docteur **Régis TOURNEBIZE**, INRAE, UR ASTRO, Petit-Bourg (France), Examineur

Docteure **Nadine ANDRIEU**, HDR, CIRAD, UMR Innovation, Capesterre-Belle-Eau
(France), Directrice de thèse

Docteur **Harry OZIER-LAFONTAINE**, HDR, INRAE, UR ASTRO, Petit-Bourg (France),
Directeur de thèse

A mes parents, soutiens absolus, depuis toujours. A mon père, pour m'avoir construit un pÉRISCOPE m'ayant permis, dès mon plus jeune âge, de me lancer dans l'étude des relations de proximité. A ma mère, pour son soutien, parfois (souvent), de mauvaise foi, mais d'une force incommensurable.

A mes grands-parents, qui ne sont plus là mais, sans qui, je n'aurai jamais autant perçu la puissance des relations humaines et des valeurs paysannes.

Remerciements

Après ces trois années de voyage scientifique, académique et humain je souhaite, tout d'abord, remercier mes directeurs de thèse, Harry Ozier-Lafontaine et Nadine Andrieu. Merci à Harry, pour sa curiosité scientifique sans limite, ses retours précieux et ses éclairages pertinents. Merci à Nadine, pour son écoute et sa délicatesse, doublée d'une redoutable rigueur scientifique m'ayant permis d'éviter les écueils et de me maintenir, à peu près, sur le droit chemin de la thèse. Je tiens également à remercier mes trois autres encadrants, sans qui cette thèse n'aurait pas la même « couleur ». Carla Barlagne, pour sa présence bienveillante, ses précieux conseils, son apport et son encadrement sur la caractérisation des réseaux d'acteurs à laquelle je tenais tant. Valérie Angeon, pour son écoute attentive, ses corrections franches et avisées, et pour avoir pris le temps de satisfaire ma curiosité académique, même quand cela sortait de mon champ disciplinaire. Et, Jean-Louis Diman, qui a été à l'origine de ce projet de thèse, qui m'a permis de construire un sujet « sur mesure » et qui, depuis mon arrivée en Guadeloupe n'a eu cesse de m'ouvrir les portes du monde agricole guadeloupéen.

Je remercie les membres du jury, Docteure Mireille Navarrete, Docteure Julie Labatut, Professeure Gladys Loranger Merciris, Docteur Georges Félix et Docteur Régis Tournebize qui ont accepté de lire et d'évaluer ce travail.

Je tiens à remercier la Région Guadeloupe, pour la bourse doctorale, sans qui cette thèse n'aurait pas pu voir le jour. Je remercie également l'UE PEYI qui a co-financé cette thèse et qui a permis un support logistique pour les expérimentations sur le centre. Je tiens particulièrement à remercier David Hammouya, sans qui le voyage de la thèse n'aurait pas été aussi paisible, pour le soutien au quotidien, tant pour faire face aux contraintes logistiques que pour les discussions, autour des litres de café, m'ayant permis d'extérioriser tous les problèmes qui n'en sont pas. Merci également aux techniciens de l'unité, Lina, Damien et Christophe avec qui j'ai tant appris sur l'agriculture guadeloupéenne. Merci également à Pierre et David toujours présents pour donner un coup de main.

Je souhaite également remercier les membres de mon comité de suivi pour leur remarques pertinentes et constructives, Sylvain Depigny, Gladys Loranger Merciris et Marc Tchamitchian, qui a aussi pris le temps de relire ce manuscrit pour y apporter un précieux regard extérieur.

Je tiens aussi à remercier tous les collègues du centre INRAE Antilles Guyane qui ont contribué de près ou de loin à ce travail de thèse, Antoine Richard, Matthieu Bonneau et Sébastien Guyader pour les réflexions sur la télédétection et/ou pour les conseils statistiques ; Régis

Tournebize et Thierry Bajazet pour leur implication sur l'expérimentation PIF. Je remercie également Gisèle Alexandre qui m'a permis de m'essayer à l'enseignement auprès de la licence professionnelle agricole. Mes remerciements vont également aux collègues épcuriens, adeptes de la cantine, véritable *thinktank* du centre Antilles Guyane pour leurs conseils avisés... et aussi, et surtout, pour les moments de détente ô combien nécessaires et importants au cours d'une thèse. Je ne saurais oublier les chefs cuisiniers Pierre et Sylvain et les dames de la cantine, Maggy et Hélène, qui ont su sustenter et délecter mon estomac tout au long de ce travail de recherche.

Je remercie ces collègues devenus des amis, pour les discussions tout autant pertinentes qu'impertinentes sur le travail, Lisou, Thomas, Marie, Yoana, Margot, Lise, Romain, Lolo et Tim.

Je remercie tous les stagiaires qui ont contribué à ce travail avec une pensée toute particulière pour Raphaël (et son tatouage) et Maud.

Je remercie également les filles (et les garçons) du fitness, et Pierre Marie, pour m'avoir permis de maintenir, tant bien que mal un *mens sana in corpore sano*.

A ma famille de cœur, mes amis, avec qui je grandi et j'explore continuellement les fascinants méandres de la vie, Gatoc, Steve, Ceci, Jess, Tom, Océ, Auré, Horti, Robin, Paul, Mathilde, Anne, Laurie, Philippe, Gwendo, Coraline, Nolwenn, Lucas et Audrey, qui m'a apporté un soutien ô combien précieux pour toutes les analyses statistiques de cette thèse.

A mes coloc de Pierrette et de la Pifoloc, Emilie, Gaël, Boucar, Matthieu, Toto, Ellen et Paco pour avoir partagé les petits bonheurs du quotidien, et évidemment Pif de Roussel, petit être, poilu et mignon, indispensable à la santé mentale d'une thésarde.

A tous mes autres copains et copines, éparpillés de par le monde, que je n'ai pas cités, mais qui, je l'espère, ne m'en tiendront pas rigueur.

A mes camarades de la Cimade, pour les combats juridiques et militants qui m'ont permis de, toujours, garder les pieds sur terre.

A ma famille, une pensée toute particulière pour mes tontons, Georges et Joël, toujours prêts à lire des nouvelles sur la banane guadeloupéenne et surtout...à me raconter leurs aventures agricoles dont je suis si friande.

A Johan, pour les encouragements continus, les parenthèses du week-end...et les bons petits plats ...indispensables pour une thésarde en fin de rédaction.

Et puis, à toutes ces personnes que j'ai croisé au cours de mes explorations et pérégrinations agricoles autour du monde, au Mali, en Italie, à Malte, au Canada, au Mexique... *a los chapingeros y mama Chapingo* ; au Brésil, une pensée toute particulière pour Armando Torres Moreno, pour la découverte et la rencontre du *movimento sim terra* et des petites fermes agroécologiques du nordeste brésilien ; à Cuba, en République Dominicaine et puis, bien sûr, aux agriculteurs guadeloupéens et marie-galantais sans qui ce travail n'aurait jamais pu exister, merci pour tout.

Résumé

Dans un contexte de changement climatique et de crise alimentaire, l'agroécologie est présentée comme une voie prometteuse pour faire face aux enjeux environnementaux, alimentaires et sanitaires. Les pratiques agroécologiques, permettant d'accompagner les transitions agroécologiques, sont raisonnées et dépendent du contexte dans lesquelles elles entrent en jeu. Elles se construisent à partir des réalités de chacun des territoires, allant des relations entre micro-organismes telluriques aux déterminants sociaux régissant les interactions anthropiques. Il est aujourd'hui admis que c'est au sein des systèmes alternatifs, les niches d'innovation, qu'émergent et se construisent les innovations radicales, ou pratiques alternatives, pouvant accompagner des transitions agroécologiques de rupture. Dans ce cadre, des enjeux autour de la production et du partage de connaissances permettant d'aller plus en avant, au sein de chacune des réalités, se posent. Concrètement, comment faire émerger les connaissances existantes et produire les connaissances manquantes ? Au sein de la vaste diversité des situations agricoles dans le monde, la Guadeloupe, un archipel caribéen français, est un territoire d'intérêt pour étudier les dynamiques de transitions agroécologiques. L'agriculture est dominée par deux cultures d'exportation, la banane Cavendish et la canne à sucre, cohabitant avec des cultures destinées au marché local souvent peu visibles. Le travail de recherche mené dans le cadre de la thèse s'intéresse à l'une de ces cultures, la banane plantain (*Musa spp.*, AAB). Bien que très étudiée en Afrique ou en Amérique du sud, la banane plantain est une culture quasiment orpheline de recherche en Guadeloupe, même si elle est plus étudiée dans d'autres pays de la Caraïbe (République Dominicaine, Cuba et Haïti par exemple). L'objectif de ce travail de thèse est de proposer une démarche multi-échelles et interdisciplinaire permettant de combiner des connaissances scientifiques et non académiques pour identifier et concevoir des alternatives techniques et organisationnelles pour des systèmes de cultures orphelines. Cette approche a permis de montrer la logique intrinsèque d'une production souvent qualifiée de « déstructurée » et de montrer son rôle potentiel pour une transition agroécologique en soutien à la sécurité alimentaire à l'échelle du territoire guadeloupéen. Au-delà de la banane plantain en Guadeloupe, les travaux menés dans le cadre de la thèse ont permis, de rappeler le rôle essentiel des cultures orphelines et des niches d'innovation pour la transition agroécologique. Dans un contexte d'évolution de la recherche en agronomie, la thèse démontre que de telles démarches, multi-scalaire et interdisciplinaires, permettent, non seulement d'hybrider les connaissances existantes, académiques et non académiques mais également de concevoir les connaissances manquantes pour s'engager plus profondément dans la transition agroécologique. Ces méthodes peuvent donc servir de véritables leviers pour répondre aux enjeux globaux auxquels est confrontée la planète.

Mots clés

Transitions agroécologiques, Banane Plantain, Innovations, Sécurité alimentaire, Plants Issus de Fragment de tige (PIF), Système d'innovation agricole, Approches participatives

Abstract

In the context of climate change, agroecology is presented as a promising way of meeting environmental, food and health challenges. Agroecological practices, which support agroecological transitions, depend on the context in which they are applied. They are built on the realities of each territory, from the relationships between telluric micro-organisms to the social determinants governing human interactions. It is now recognized that it is within alternative systems, the niches of innovation, that radical innovations, or alternative practices, emerge and are built, capable of accompanying breakthrough agroecological transitions. In this context, we are faced with the challenge of producing and sharing the knowledge that will enable us to move forward within each of these realities. In concrete terms, how can we bring existing knowledge to the fore and produce the missing knowledge? Within the vast diversity of agricultural situations in the world, Guadeloupe, a French Caribbean archipelago, is a territory of interest for studying the dynamics of agroecological transitions. Agriculture is dominated by two export crops, Cavendish bananas and sugarcane, alongside crops for the local market, which are often not very visible. This thesis focuses on one of these crops, plantain (*Musa* spp., AAB). Although much studied in Africa and South America, plantain is a crop that can be considered as an orphan crop since very little research has been carried out in Guadeloupe. The aim of this thesis is to propose a multi-scale, interdisciplinary approach combining scientific and non-academic knowledge to identify and design technical and organizational alternatives for orphaned cropping systems. This approach made it possible to show the intrinsic logic of a production often described as unstructured, and to demonstrate its potential role in the agroecological transition on the scale of Guadeloupe. In addition to the outcomes on plantain in Guadeloupe, the work carried out has highlighted the essential role of orphan crops and innovation niches in the agroecological transition. Against a backdrop of evolving agronomic research, the thesis demonstrates that such multi-scalar and interdisciplinary approaches make it possible to aggregate existing academic and non-academic knowledge, but also to design the missing knowledge needed to take the agroecological transition a step further. These methods can therefore serve as real levers for responding to the global challenges facing the planet.

Key words

Agroecological transitions, Plantain banana, Innovations, Food security, *In vivo* masse propagation, Agricultural Innovation System, Participatory approaches

Préambule

Financement

La thèse a été co-financée par la Région Guadeloupe, dans le cadre d'une bourse doctorale (n° CR / 5-2020 signée le 14 août 2020) et par l'unité INRAE PEYI (0805). Les frais de fonctionnement ont été supportés par l'unité INRAE PEYI (0805), sur fonds propres, et par divers projets de recherche dans lesquels ce travail doctoral s'est inscrit : le projet IntensEcoPlantain (subvention n° CR-FEADER-1420-DCEP-1456 RITA2-Domaine Vegetal), le projet AgroEcoDiv (subventions n°2015-FED-202 GP0007652 pour la première tranche, n°2019-FED-33 GP0022338 pour la deuxième tranche et n° CR / 16-68 signée le 28 septembre 2016) et le projet CambioNet (subvention INTERREG V Caraïbes n°7629 signée le 6 Mai 2021).



Laboratoire d'accueil

La thèse a été accueillie par l'unité expérimentale 0805 INRAE PEYI (Plateforme Expérimentale sur le végétal et les agroécosystèmes Innovants en milieu tropical), INRAE, F-97170 Petit-Bourg, Guadeloupe, France

Publications dans des revues à comité de lecture

Bezard M., Barlagne C., Diman J-L., Angeon V., Morin R., Ozier-Lafontaine H., Andrieu N. (2023) Co-designing innovative plantain cropping systems to support the diversity of agroecological pathways in Guadeloupe. *Agron Sustain Dev.* <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00879-8>

Bezard M., Barlagne C., Angeon V., Caperaa M., Ozier-Lafontaine H., Diman J-L., Andrieu N. Innovation in Plantain Agricultural Innovation System in Guadeloupe: A Disconnect between Network Structure and Functions. Disponible sur : <https://ssrn.com/abstract=4464450> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4464450>

Bezard M., Hammouya D., Diman J-L., Ozier-Lafontaine H. (2023) La méthode du PIF : multiplication et assainissement des plants de bananier plantains à la ferme. *NOV'AE* 9. <http://doi.org/10.17180/novae-2023-NO-art03>

Communications dans des congrès à comité de sélection

Bezard M., Barlagne C., Diman J-L., Angeon V., Andrieu N., Ozier Lafontaine H. System experiment as a way to test innovative agroecological cropping system adapted to the farmers' diversity. The 1st International Conference on Farmer-centric On-Farm Experimentation. Digital Tools for a Scalable Transformative Pathway, 13 au 15 Octobre 2021, Montpellier, France

Bezard M., Barlagne C., Diman J-L., Angeon V., Ozier Lafontaine H., Andrieu N. Viabilité des systèmes « Bananiers plantains » aux Antilles : l'innovation agronomique face à la diversité des agriculteurs. 5^{ème} édition de la Journée d'Etude Scientifique (J.E.S), 17 mars 2022, Schoelcher, Martinique, France.

Bezard M., Caperaa M., Barlagne C., Andrieu N., Angeon V., Diman J-L., Ozier Lafontaine H., Viabilité Le système d'innovation "banane plantain" en Guadeloupe : un équilibre entre verrous à la transition agroécologique et jeux d'acteurs. 89^{ème} congrès de l'ACFAS, 9 au 14 mai 2022, Québec, Canada.

Bezard M., Barlagne C., Angeon V., Ozier Lafontaine H., Diman J-L., Andrieu N. Déconnexion entre structure et fonction du Système d'Innovation Agricole conditionnant la transition agroécologique : cas de la banane plantain en Guadeloupe. 90^{ème} congrès de l'ACFAS, 8 au 12 mai 2023, Montréal, Canada.

Bezard M. A Review of Innovation Systems. 56th annual meeting of the Caribbean Food Crops Society. 10 au 14 juillet 2023, Grande Anse, Grenada.

Bezard M. Hammouya D., Umber M., Bajazet T., Diman J-L., Ozier-Lafontaine H. The PIF method: an agroecological innovation for the plantain Guadeloupean farmers? 56th annual meeting of the Caribbean Food Crops Society. 10 au 14 juillet 2023, Grande Anse, Grenada.

Communication grand public

« Innovations techniques et variétales pour le développement de la banane plantain ». Séminaire de clôture du projet IntensEcoPlantain, (8 décembre 2020)

<https://www.youtube.com/watch?v=IkaUzLWpxzQ&t=167s>

<https://hal.inrae.fr/hal-03028700>

<https://hal.inrae.fr/hal-03028691>

Lauréat Trophée des Ingénieurs du futur. Usine Nouvelle (1^{er} décembre 2021)

<https://www.usinenouvelle.com/editorial/prix-du-public-votez-pour-les-trophees-des-ingenieurs-du-futur.N1160677>

<https://www.usinenouvelle.com/article/ingenieurs-recherche-2021-marie-bezard-avec-elle-la-banane-plantain-devient-verte.N1160542>

Stand sur la co-conception des dispositifs expérimentaux et sur la technique du PIF et animation d'un atelier sur le germe GERMECO. Bik'Agrinnov 2021 et 2022 (RITA Guadeloupe) (février 2021 et mars 2022).

Pour ce manuscrit, le principe de la thèse sur articles a été retenu. Les publications et les trois premiers chapitres de résultats sont en anglais. L'introduction générale, l'état de l'art, la méthodologie globale, la discussion générale ainsi que la conclusion sont en français.

Sommaire

Remerciements	2
Résumé	5
Abstract	6
Préambule.....	7
Sommaire	11
Table des figures	13
Liste des abréviations et acronymes	14
Introduction Générale.....	16
Partie 1. Etat de l' Art et Problématique.....	21
1. Agroécologie et innovation(s)	22
2. Les innovations dans leur contexte : le Système d'Innovation (Agricole).....	26
3. La Multi Level Perspective pour une analyse dynamique des processus d'innovation.....	29
4. La banane plantain comme culture vivrière face à la filière export Cavendish.....	31
5. Questions de recherche et problématique.....	35
Partie 2. Méthodologie globale.....	39
1. Cas d'étude : l'archipel guadeloupéen	42
2. Une méthodologie mixte et découplée.....	44
Partie 3. Résultats	53
Chapitre 1 : S'appuyer sur les connaissances des agriculteurs pour aller plus loin dans la transition agroécologique	54
Chapitre 2 : Optimiser une technique alternative innovante.....	57
Chapitre 3 : Caractériser les réseaux d'acteurs pour identifier les points de blocage.....	106
Chapitre 4 : Caractériser la place des systèmes alternatifs par rapport au système dominant	161
Partie 4. Discussion générale.....	215
4.1. Emergence et production de connaissances sur le plantain.....	218
4.2. Une mobilisation de plusieurs méthodes et outils pour identifier les connaissances existantes et produire les connaissances manquantes.....	221
4.3. Une évolution des méthodes en agronomie : l'apport d'une démarche multi-scalaire et interdisciplinaire pour la recherche participative.....	225
4.4. Perspectives.....	227
Conclusion.....	230
Bibliographie Générale.....	233
Annexes	252
Table des matières	259

Table des figures

Figure 1 : Différence entre modernisation écologique faible et modernisation écologique forte	22
Figure 2 : Les trois niveaux d'analyse de la perspective multi-niveaux	29
Figure 3 : Bananier	32
Figure 4 : Sous-questions de recherche	35
Figure 5 : Approche méthodologique globale	41
Figure 6 : Zone étude.....	42
Figure 7 : Indicateurs quantitatifs pour caractériser les réseaux d'acteurs	50
Figure 8 : Concepts d'analyse de réseaux.....	51
Figure 9 : Approche méthodologique globale et résultats principaux.	217
Figure 10 : Différence entre multidisciplinarité, interdisciplinarité et transdisciplinarité	225

Liste des abréviations et acronymes

Abréviations en français

ADN : Acide DésoxyriboNucléique

ARN : Acide Ribonucléique

ASP : Agence de Services et de Paiement

DAAF : Direction de l'Alimentation de l'Agriculture et des Forêts

CARBAP : Centre Africain de Recherches sur Bananiers et Plantains

CIRAD : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

CRB- PT : Centre de Ressources Biologiques Plantes Tropicales

CTIFL : Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes

FEADER : Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural

IGN : Institut national de l'information géographique et forestière

INRAE : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

OPCA : Organisme Paritaire Collecteur Agréé

PAC : Politique Agricole Commune

PDRG : Plan de Développement Régional Guadeloupe

PIF : Plant Issus de Fragment de tige

POSEI : Programme d'Options Spécifiques à l'Eloignement et à l'Insularité

PSTAG : Plan Stratégique pour la Transition Agroécologique de Guadeloupe

RITA : Réseau d'Innovation et de Transfert Agricole

RPG : Relevé Parcellaire Graphique

SI : Système d'Innovation

SST : Système Socio Technique

TAE : Transition Agroécologique

UGPBAN : Union des Groupements de Producteurs de Bananes de Guadeloupe et Martinique

Abréviations en anglais

AECM: Agri-Environment-Climate Measures

AIS: Agricultural Innovation System

AKIS: Agricultural Knowledge and Information System

BanMMV: Banana Mild Mosaic Virus

BBrMV: Banana Bract Mosaic Virus

BBTV: Banana Bunchy Top Virus

BSV: Banana Streak Virus

BVX: Banana Virus X

cDNA: complementary DeoxyriboNucleic Acid

CMV: Cucumber Mosaic Virus

ComMod: Companion Modelling approach

EAFRD: European Agricultural Fund for Rural Development

ESR: Efficiency Substitution Redesign

IDEAS: Initiative for DEsign in Agrifood Systems

KCP: Knowledge Concept Proposals

KM: Knowledge Mapping

LED: Light Emitting Diode

MLP: Multi Level Perspective

NA: Not Available

SNA: Social Network Analysis

TNAs : Total Nucleic Acids

Introduction Générale

La sécurisation des besoins alimentaires post seconde guerre mondiale, en Europe, a reposé sur l'élaboration et la mise en œuvre de politiques agricoles en rupture avec les politiques existantes jusqu'alors. Ces nouvelles politiques se sont appuyées sur des logiques industrielles et marchandes pour rationaliser et diminuer les coûts de la production alimentaire. Les conséquences de cette rationalisation, s'inscrivant dans la droite ligne de la révolution industrielle, sont, aujourd'hui, considérables pour la planète toute entière avec des impacts à différentes échelles (système de culture, exploitation agricole, territoire, paysage, etc.). Les lieux de production ont été déconnectés des lieux de consommation (Schutter and Vanloqueren 2011) et par conséquent, les cycles biologiques ont été rompus, négligeant le principe fondamental de restitution, qui suppose de rapporter à la terre l'équivalent de ce qui a été prélevé, par la biomasse exportée, lors des récoltes. La chaîne de valeur s'est, quant à elle, allongée avec de plus en plus d'étapes coûteuses et polluantes (Wezel *et al.* 2009; Altieri *et al.* 2015; Gliessman 2016; Tiftonell 2019; Valiorgue 2020).

Le monde agricole est désormais en tension, les pratiques des producteurs sont questionnées, les habitudes de consommation changent et les politiques agricoles sont remises en question. A toutes les échelles, de la parcelle au système alimentaire, il est question de transition d'une agriculture issue de ce modèle industriel vers un modèle agricole plus durable. Il faut repenser les manières de produire, la façon de transformer et la façon de consommer pour changer et/ou infléchir la trajectoire. Mais comment ? Dans la sphère agricole, c'est l'agroécologie qui est présentée comme une alternative au modèle industriel (Schutter and Vanloqueren 2011). Le concept d'agroécologie a émergé dans les années 60-70, au cœur de la controverse autour de la révolution verte, l'idée étant de promouvoir l'application des principes de l'écologie à l'agriculture comme alternative à l'usage des intrants de synthèse. Mais, c'est dans les années 80, que l'agroécologie s'est imposée comme voie structurante. L'ouvrage d'Altieri (1999) propose une définition de l'agroécologie fondée sur les piliers de la durabilité, plaçant les aspects sociaux et humains au cœur de cette alternative. Les mouvements sociaux sud-américains s'emparent du concept pour porter leurs combats et la question du changement s'exprime dès lors, non seulement à l'échelle des parcelles agricoles, mais aussi au niveau du système alimentaire dans sa globalité (Altieri and Toledo 2011; Gliessman 2016).

L'agroécologie est proposée comme une réponse aux urgences climatiques, environnementales et alimentaires (Schutter and Vanloqueren 2011; Guillou *et al.* 2013; Graziano da Silva 2018). Demeure la question de sa faisabilité, dans un contexte où l'agriculture issue du modèle industriel reste encore le modèle conventionnel dominant face aux agricultures paysannes

nourricières, déjà engagées dans les chemins de transition(s) agroécologique(s). D'un point de vue académique, aborder la question de l'agroécologie et de la transition agroécologique suppose une mobilisation interdisciplinaire avec des disciplines jusque-là, souvent cloisonnées : l'écologie, la sociologie, l'économie, l'anthropologie, l'agronomie etc. (Mendez *et al.* 2015). Un premier cadre pour la transition vers des systèmes plus agroécologiques a été proposé par des écologues (Hill 1985; Hill and MacRae 1996; Gliessman 2016). Ils proposent une transition à plusieurs niveaux avec : (i) L'optimisation des pratiques conventionnelles (efficience), (ii) la substitution des pratiques et/ou intrants conventionnels par des pratiques et/ou intrants plus agroécologiques et (iii) la reconception à l'échelle du système de culture voire de l'exploitation agricole en intégrant de nouvelles relations entre les différents ateliers de l'exploitation ou en en créant de nouveaux (re-design). Deux formes de transitions ont ensuite été définies par Horlings et Marsden (2011) : la modernisation écologique forte qui repose sur la reconception (ou « re-design ») et la modernisation écologique faible reposant, quant à elle, sur les principes d'efficience ou de substitution. La modernisation écologique forte s'appuie sur un changement de paradigme avec l'intégration de la biodiversité pour, entre autres, soutenir la production agricole (gestion de la fertilité, de l'apport en eau, etc.). Duru *et al.* (2014, 2015a) ont qualifié cette agriculture, qui valorise les processus écologiques fournis par la biodiversité, d'« écologiquement intensive » (en anglais, *biodiversity-based agriculture*). La modernisation écologique faible s'appuie quant à elle sur une « intensification écologique » pour augmenter l'efficience des intrants ou les substituer, par des pratiques moins impactantes pour l'environnement (en anglais, *efficiency / substitution-based agriculture*) (Duru *et al.* 2014, 2015a). Cette agriculture, qui supporte une modernisation agroécologique faible, s'appuie sur des changements ou étapes incrémentales, sans rupture avec l'agriculture industrielle. Les différentes transitions ont d'abord été raisonnées à l'échelle du système de culture et de l'exploitation agricole puis à une échelle plus large permettant de considérer le système alimentaire dans son ensemble avec la prise en compte, notamment, des circuits de commercialisation (Gliessman, 2016). Ces étapes de transition n'ont pas forcément lieu les unes après les autres, *i.e.* la reconception peut intervenir directement à partir d'un système conventionnel, ou bien d'un système avec des pratiques « efficaces » sans forcément passer par l'étape de substitution. Concrètement, la conception ou reconception de systèmes agricoles permettant d'aller vers des systèmes plus agroécologiques s'appuie sur la mobilisation d'innovations. Les innovations permettant d'accompagner les processus séquentiels de la conception pas-à-pas, supportant la modernisation écologique faible, sont qualifiées d'innovations incrémentales. Les innovations qui accompagnent la conception *de novo*,

soutenant la modernisation écologique forte, sont qualifiées d'innovations de rupture (Meynard *et al.* 2012). Il est aujourd'hui admis, que ces innovations, qu'elles soient incrémentales ou de rupture, intègrent un ensemble d'éléments (connaissances, normes, compétences, etc.) (Klerkx *et al.* 2012; Faure *et al.* 2018). Sur les connaissances, en particulier, il existe un enjeu fort, non seulement pour la production de connaissances « manquantes » mais également sur leur partage et leur intégration, qu'il s'agisse de savoirs empiriques, techniques ou scientifiques (Berthet *et al.* 2016; Toffolini *et al.* 2020; Jeuffroy *et al.* 2022). Cet enjeu est fortement lié au contexte puisque l'agroécologie et les transitions dépendent, du territoire dans lequel elles entrent en jeu, contrairement à l'agriculture industrielle qui s'appuie sur une artificialisation du milieu. Les enjeux de production et partage de connaissances existantes se posent particulièrement pour les cultures orphelines de recherche puisque les seules connaissances existantes ne sont pas visibles, comme cela peut être le cas dans certaines régions ultramarines françaises (Ozier Lafontaine *et al.* 2011; Chave *et al.* 2012).

Au sein de la vaste diversité des situations agricoles dans le monde, la Guadeloupe, un archipel caribéen français, est un territoire d'intérêt pour étudier les transitions agroécologiques. Il s'agit d'un point chaud de biodiversité aux ressources importantes (espèces végétales et animales) (Myers *et al.* 2000), encore largement inexplorées qui peuvent représenter un réel atout pour l'agroécologie. Concernant l'agriculture, qui fait l'objet de ce travail de thèse, la Guadeloupe est partagée entre, d'une part, des agricultures issues du modèle de plantation, destinées à l'exportation (cane à sucre et banane), s'inscrivant dans la mouvance de « l'agriculture conventionnelle intensive », assortie d'une forte dépendance aux subventions et aux intrants de synthèse, et, d'autre part, des agricultures privilégiant l'approvisionnement du marché local et plus proches du modèle « paysan », avec une moindre dépendance aux intrants et des pratiques décrites comme plus proches des principes agroécologiques (Fanchone *et al.* 2020). Les agricultures exportatrices de banane dessert ont été au cœur du scandale de la chlordécone, un pesticide organochloré utilisé pour lutter contre le charançon du bananier à l'origine d'une pollution à long terme des sols antillais (Kermarrec 1980; Balland *et al.* 1998; Godard 2000; Cabidoche and Lesueur-Jannoyer 2011; Dorel *et al.* 2011). La société civile, mais aussi les nouveaux cadres réglementaires (Loi d'Avenir, Loi EGalim, Trajectoire Outre-mer 5.0, Projet agro-écologique pour la France, etc.) enjoignent donc les acteurs du monde agricole à accompagner des systèmes plus agroécologiques orientés vers les marchés locaux. Mais concrètement, comment mieux valoriser le potentiel agroécologique des agricultures vivrières

locales ? Permettraient-elles, d'engager, à large échelle, une modernisation écologique forte des systèmes agricoles ?

Pour contribuer à répondre à ces questions, le travail de recherche mené dans le cadre de la thèse s'intéresse à une culture phare pour le marché local, la banane plantain (*Musa* spp., AAB) dans le cadre de la transition agroécologique. Cette culture fait partie des productions agricoles peu visibles, à l'instar de nombreuses autres cultures destinées au marché local, qui sont produites par des agriculteurs non déclarés (Andrieu *et al.* 2022). La banane plantain, bien que très étudiée en Afrique ou en Amérique du sud, est une culture quasiment orpheline de recherche en Guadeloupe, à l'exception de travaux récents en écologie (Loranger-Merciris *et al.* 2022; Loranger-Merciris 2023). Pourtant, le rôle des cultures orphelines dans la recherche de voies d'amélioration de la sécurité alimentaire a été montré dans d'autres contextes (Borelli *et al.* 2020; Adhikari, K. *et al.* 2021; Notenbaert *et al.* 2021; Bilali *et al.* 2023). Cet enjeu est particulièrement sensible sur le territoire, au regard de la triple crise sanitaire, climatique et géopolitique à laquelle la Guadeloupe est actuellement exposée (Deane 2023), militant pour un renforcement de la sécurité alimentaire.

La réflexion menée dans le cadre de ce travail de thèse est donc centrée sur l'analyse des innovations supportant les transitions agroécologiques, abordées au prisme de l'objet d'étude que constitue la banane plantain, avec une approche imbriquée allant du système de culture au système d'innovation.

Dans la première partie, l'état de l'art et la problématique sont présentés. Les apports des théories du *design* et des réseaux ainsi que de l'économie de la connaissance, déclinés pour l'agronomie, sont explicités.

Dans la deuxième partie, la démarche méthodologique globale est présentée. Dans la troisième partie, les résultats sont présentés, sous forme d'articles, et la quatrième partie est consacrée à la discussion générale.

Partie 1. Etat de l'Art et Problématique

1. Agroécologie et innovation(s)

Pour répondre aux enjeux actuels, la transition agroécologique reposerait en grande partie sur l'élaboration d'innovations, incrémentales ou de rupture, permettant, respectivement la mise en place d'une modernisation écologique faible ou forte (Horlings and Marsden 2011; Duru *et al.* 2014, 2015a, b) (Figure 1).

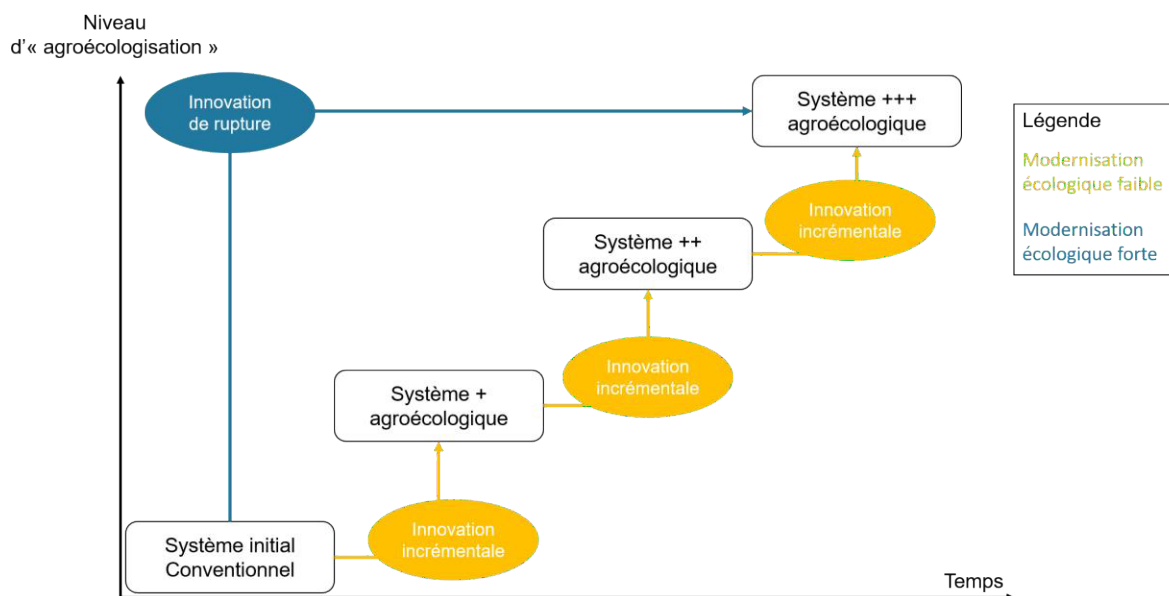


Figure 1 : Différence entre modernisation écologique faible et modernisation écologique forte. D'après (Horlings and Marsden 2011; Duru *et al.* 2014, 2015a, b)

Pendant longtemps, en agriculture comme dans les autres domaines, une innovation n'était considérée que d'un point de vue technique (Godin 2015). Il s'agissait, par exemple de l'invention d'un outil permettant de labourer plus vite ou d'un nouvel engrais de synthèse permettant de compenser les exportations engendrées par les récoltes. C'est sur ce type d'innovations que la Révolution Verte s'est appuyée pour s'affranchir des contraintes du milieu, grâce aux logiques de paquets technologiques. Les connaissances empiriques des agriculteurs et leur place au sein du réseau d'acteurs étaient alors reléguées à la marge. Il faut attendre la fin des années 90 pour que ce modèle soit remis en cause par l'économie évolutionnaire et que la vision restreinte de l'innovation ramenée à sa seule dimension technologique soit contestée. Rip and Kemp (1998) abordent alors l'innovation comme un ensemble de ressources matérielles et immatérielles. L'innovation est alors vue comme multidimensionnelle mais aussi, non linéaire (Faure *et al.* 2018). Le contexte et les individus qui portent les innovations sont désormais centraux puisque les connaissances, les compétences, les normes sociales, etc., font

partie intégrante du processus d'innovation. Le rôle des réseaux d'acteurs, formels ou informels, devient également déterminant pour cette vision systémique de l'innovation. Ce changement de paradigme se décline aussi pour l'agriculture avec une nouvelle définition de l'innovation agricole proposée par Klerkx *et al.* (2012) comme étant un processus co-évolutif combinant des changements technologiques, sociaux, économiques et institutionnels.

Pour faire émerger les innovations agroécologiques et faire en sorte qu'elles soient en phase avec les réalités d'un territoire, et les acteurs en présence, il a donc fallu concevoir de nouveaux outils, ainsi que de nouvelles méthodes et approches.

Pour ce faire, l'agronomie s'est appuyée sur les théories de design. Les théories du design ou *Design Reasoning* trouvent leurs origines dans le monde de l'industrie. Une théorie unifiée a été proposée par Hatchuel et Weil (2009) qui définissent le *Design Reasoning* comme un processus dynamique basé sur les interactions entre deux espaces indépendants : l'espace des connaissances et celui des concepts. L'espace des connaissances correspond à ce qui est connu (par le « concepteur »), et l'espace des concepts, à ce qui doit être conçu. Pour analyser la conception, Le Masson *et al.* (2006) déclinent le *Design Reasoning* en *Ruled-based design* et *Innovative design*. Le *Rules-based design* s'appuie sur les connaissances existantes dans une logique de résolution de problème alors que l'*Innovative design* fait appel à la créativité des acteurs en présence pour ouvrir le champ des possibles. Les objectifs, les connaissances ainsi que les compétences nécessaires ne sont pas définies a priori, mais lors du processus de conception (Berthet *et al.* 2016).

En agronomie, le *Design Reasoning* a été décliné autour de la conception d'« objets » tels que des systèmes de cultures innovants, des nouveaux intrants, etc. Salembier *et al.* (2018) ont analysé l'évolution du *Design Reasoning* en agronomie avec une approche généalogique et ont identifié cinq périodes successives. La première débute en milieu du XVIII^{ème} siècle et coïncide avec l'apogée des sociétés savantes des Lumières. Les scientifiques de l'époque mobilisent leurs différentes disciplines (botanique, entomologie, médecine, etc.) pour comprendre les lois qui régissent la nature. Ces compréhensions nouvelles permettent alors de mieux conseiller les agriculteurs sur leurs pratiques et leurs impacts (ne pas utiliser de la paille contaminée avec le fumier par exemple). La deuxième période débute un siècle plus tard avec la mobilisation de la chimie, au centre de la conception, pour définir les façons efficaces d'utiliser les intrants connus (notamment la potasse). La mobilisation de la chimie permet en effet de comprendre les

phénomènes de nutrition des plantes grâce à l'analyse des sols et de raisonner une nutrition « minérale ». La troisième période, qui coïncide avec la Révolution verte et l'avènement de l'agriculture conventionnelle, s'appuie sur l'utilisation d'innovations techniques / technologiques (notamment des intrants de synthèse) et à leur optimisation, grâce aux statistiques et aux modèles mathématiques. La quatrième période est celle de la remise en cause de cette agriculture conventionnelle. A partir des années 70, la société civile critique la déconnexion entre les chercheurs et les agriculteurs et fait part de ses préoccupations environnementales. Accompagnant l'émergence de l'agroécologie, le *Design Reasoning* développe alors des outils pour prendre en compte la diversité existante avec l'élaboration des typologies d'exploitation par exemple. Ces outils font l'objet de critiques et sont jugés trop descendants (*top down*). Ils laissent alors place à la période actuelle, ou cinquième période à partir du début des années 2000, où de nouveaux outils sont imaginés pour accompagner la conception sur les exploitations avec des méthodes participatives. Les enjeux deviennent alors d'hybrider, autrement dit de prendre en compte, à la fois, les connaissances scientifiques mais aussi les connaissances empiriques, le savoir-faire des agriculteurs et leur connaissance de leur propre environnement (Berthet *et al.* 2016; Jeuffroy *et al.* 2022), pour permettre d'imaginer des pratiques agroécologiques « situées », en phase avec la réalité. Cette hybridation nécessite donc d'impliquer les différentes parties prenantes lors du processus de conception et de penser de nouveaux cadres conceptuels.

Berthet *et al.* (2016) ont ainsi mis en évidence que deux champs de littérature se rencontraient désormais pour répondre aux enjeux de la recherche en agronomie : les approches participatives et la théorie du design. Les approches participatives sont mobilisées pour partager les connaissances, favoriser le dialogue et la communication en intégrant des savoirs non académiques mais elles explorent peu de nouvelles solutions innovantes. La théorie du *design* est quant à elle mobilisée, au travers de l'*Innovative design* pour répondre au besoin d'innovations radicales qui reposent sur des connaissances qui ne sont pas identifiées au préalable. Ces connaissances nécessaires sont identifiées au cours du processus de conception. Plusieurs méthodes, plus ou moins généralistes, se situent à l'interface de ces deux champs de littérature. La méthode ComMod propose de modéliser l'accompagnement en s'appuyant sur des jeux de rôle pour hybrider les connaissances. Cette méthode a surtout été développée pour la gestion des ressources naturelles (Etienne *et al.* 2011; Mathevet *et al.* 2011). La méthode KCP (*Knowledge, Concepts, Proposals*) a été pensée pour conduire collectivement un raisonnement de conception innovante. Elle permet d'aller au-delà du raisonnement au sein

d'alternatives connues pour réfléchir de façon systémique avec des champs d'expertise hétérogènes (Berthet *et al.* 2016, 2018). Les approches de type *Living Lab*, pensées pour les questions d'innovations ouvertes pour l'agrégation et la conception des connaissances sont aussi, désormais, mobilisées pour accompagner les transitions agroécologiques et notamment par le réseau IDEAS (*Initiative for DEsign in Agrifood Systems*) (Toffolini *et al.* 2023).

Les caractéristiques des processus de co-conception permettant d'accompagner la transition agroécologique ont été décrits par plusieurs auteurs, et ce notamment pour la co-conception de systèmes de production innovants. Cette co-conception est généralement basée sur la description des systèmes existants, de leurs problématiques et sur l'exploration de nouveaux systèmes en utilisant des prototypes, de la modélisation, des *focus group* et/ou des expérimentations qui peuvent permettre d'évaluer l'atteinte des objectifs fixés collectivement.

La co-conception avec les agriculteurs et les autres parties prenantes permettrait donc de faire émerger des innovations pour s'engager plus avant dans les chemins de transitions agroécologiques (Meynard *et al.* 2012; Méndez *et al.* 2013; Jeuffroy *et al.* 2022). Mais, dans les faits, même si certaines innovations, ou du moins, solutions innovantes émergent, elles ne sont pas forcément mises en œuvre ou diffusées à grande échelle.

2. Les innovations dans leur contexte : le Système d'Innovation (Agricole)

Un certain nombre d'auteurs ont mis en évidence que penser la transition agroécologique à l'échelle des exploitations agricoles était pertinent notamment parce que les agriculteurs pondèrent leurs décisions à cette échelle (Le Gal *et al.* 2011). D'autres ont souligné que cette échelle ne permettait pas de prendre en compte certains éléments de contexte nécessaires à la compréhension des déterminants de l'adoption et/ou diffusion des innovations supportant la transition agroécologique. L'analyse compréhensive des déterminants de cette adoption et diffusion requière, en effet, la compréhension des caractéristiques organisationnelles et sociales des systèmes d'acteurs contribuant au processus innovant (Klerkx *et al.* 2012; World Bank 2012). Les Systèmes d'Innovation (SI) ont été définis par Faure *et al.* (2018) comme étant l'ensemble des acteurs, réseaux, connaissances et institutions qui conditionnent l'innovation dans un espace défini. Les SI offrent donc un cadre d'analyse structuré pour étudier les processus de développement des innovations ainsi que les impacts de ces innovations (Klerkx *et al.* 2010; Touzard *et al.* 2014).

La théorisation de SI a été particulièrement importante dans les années 90 en économie, lorsque les systèmes territoriaux d'innovation ont fait l'objet d'un regain d'intérêt pour répondre aux enjeux de développement territorial (Moulaert and Sekia 2003; Doloreux and Bitard 2005; Lundvall 2007). Les innovations étant alors considérées comme le moteur du développement, des modèles conceptuels ont été définis pour spécifier les formes d'innovation, les acteurs qui les promeuvent, les échelles auxquelles elles se diffusent et leurs impacts. L'innovation est alors analysée comme le résultat d'interactions entre acteurs mobilisant des ressources matérielles et/ou idéelles, localement ancrées ou non.

En agriculture, l'émergence et la diffusion des innovations sont appréhendées via plusieurs courants de recherche. Klerkx *et al.* (2012) en ont identifié quatre : les théories de l'adoption et de la diffusion, (*Adoption and diffusion theories*), la recherche sur les systèmes de production (*Farming system research*), le système de connaissance et d'information agricole ou AKIS (*Agricultural Knowledge and Information System*), et le système d'innovation agricole ou AIS (*Agricultural Innovation System*).

Les théories de l'adoption et de la diffusion considèrent que les innovations se diffusent au travers des systèmes sociaux, via les réseaux d'amis, de proches, etc. Le contexte politique et institutionnel est vu comme un facteur extérieur pouvant influencer l'adoption des innovations à l'échelle des individus. La *Farming System Research* est une approche systémique qui

propose d'impliquer les acteurs, agriculteurs, techniciens, institutionnels, etc. dans la conception de solutions techniques. Les unités d'analyse sont l'exploitation agricole et les groupes d'agriculteurs dans leur contexte biophysique et socio-économique. L'AKIS propose un cadre plus large avec la prise en compte des organisations agricoles et/ou des acteurs, ainsi que des liens entre eux, engagés dans la diffusion et/ou la création de connaissances et d'information pour accompagner les processus de décision, de résolution de problèmes et d'innovation dans un espace donné (géographique ou sectoriel). L'AKIS s'inscrit dans une logique interdisciplinaire pour répondre aux « demandes » des agriculteurs. Au sein de l'approche AKIS, les agriculteurs sont, partie prenante du processus d'innovation et les connaissances sont co-produites entre les chercheurs, les techniciens et les agriculteurs. L'approche AIS (*Agricultural Innovation System*- Système d'innovation agricole en français) a été développée parallèlement à celle d'AKIS. Elle découle des concepts de SI développés par Lundvall (2007). Hall *et al.* (2006) ont défini l'AIS comme étant un réseau d'organisations, d'entreprises et d'individus orientés vers l'introduction de nouveaux produits, de nouveaux processus et de nouvelles formes d'organisation dans les circuits économiques. L'AIS met un accent plus important sur l'influence des organisations (recherche publique, entreprises, politiques publiques, etc.) et des infrastructures, sur la diffusion et l'adoption des innovations. L'objectif de l'approche AIS est de penser / analyser des changements institutionnels et au sein de la chaîne de valeur alors que l'approche AKIS se focalise plus sur les changements à l'échelle de l'exploitation agricole et porte une attention limitée, au rôle des marchés et du secteur privé. L'AIS est donc l'approche la plus holistique avec la prise en compte d'interactions complexes entre une diversité d'acteurs, en s'appuyant sur une logique transdisciplinaire.

Pour faire face aux enjeux majeurs actuels dans toute leur complexité, l'AIS est, de fait, souvent considéré comme le cadre le plus approprié (Klerkx *et al.* 2012).

D'un point de vue opérationnel le concept d'AIS peut être décliné de trois façons d'après Klerkx *et al.* (2012) : en approche infrastructurelle, fonctionnelle ou en termes de processus.

Dans l'approche infrastructurelle, l'AIS est abordé comme infrastructure support de l'innovation. Il est alors question d'évaluer si l'AIS soutient ou au contraire limite l'innovation agricole d'un point de vue structurel. Les apports de la théorie des réseaux (*Network theory*) peuvent alors être mobilisés, notamment grâce à la méthodologie *Social Network Analysis* (SNA), pour (i) caractériser la structure du réseau grâce à l'identification des liens existants ou absents entre les acteurs (Borgatti *et al.* 2009; Borgatti and Lopez-Kidwell 2011), et (ii) pour

identifier la disponibilité des ressources nécessaires à l'innovation (financières, matérielles, en termes de connaissances, etc.).

L'approche fonctionnelle questionne l' AIS au travers de ses fonctions et du remplissage de ces dernières. Un certain nombre de fonctions ont été identifiées comme nécessaires pour que le système d'innovation fonctionne autour des activités entrepreneuriales, du développement et de la diffusion des connaissances, de l'orientation de la recherche, de la formation du marché, de la mobilisation des ressources et de la création d'une légitimité autour du changement (Hekkert *et al.* 2007 ; Klerkx *et al.* 2012). Une cartographie de ces fonctions et une caractérisation de leurs interactions peut permettre d'identifier les fonctions manquantes qui bloquent l'innovation.

Plus récemment, Wieczorek and Hekkert (2012) ont proposé un cadre permettant d'intégrer ces deux dimensions, structurelle et fonctionnelle, pour identifier les problèmes systémiques au sein des SI. Ce cadre a été décliné par Fielke *et al.* (2018) et Minh (2019) pour mettre en lumière les mécanismes bloquant au sein des AIS dans les processus d'innovation.

La troisième approche de l' AIS, définie par Klerkx *et al.* (2012) en termes de processus, offre une analyse plus dynamique. Dans cette approche l'accent est mis sur les acteurs « innovateurs » et les interactions de ces acteurs avec leur environnement sociotechnique. Ce sont les processus d'auto-organisation, le support offert par l'environnement aux acteurs « innovateurs » et la façon dont les acteurs « innovateurs » cherchent à influencer leur environnement, qui sont étudiés. L' AIS est étudié par un prisme qui se rapproche du concept de systèmes complexes adaptatifs (*Complex Adaptive System*) développé par Leeuwis and Aarts (2011) qui s'intéressent également aux processus d'auto-organisation et aux dynamiques non linéaires. Cette vision de l' AIS dynamique se rapproche aussi des cadres d'analyse utilisés pour analyser les innovations de rupture à partir des niches d'innovation, concept développé par Geels and Schot (2007) au travers de la perspective multi-niveaux (en anglais, *Multi Level Perspective* (MLP)).

L' AIS offre donc un cadre permettant d'étudier le processus d'innovation de façon systémique et les points de blocage inhérents, en prenant en compte l'ensemble des acteurs impliqués et les interactions existantes entre ces acteurs. Combiné avec d'autres cadres théoriques tels que la MLP, ou des méthodes d'analyse des réseaux (comme la SNA), il permet d'étudier les transitions agroécologiques et d'aller plus loin dans leur compréhension.

3. La Multi Level Perspective pour une analyse dynamique des processus d'innovation

La perspective multi-niveaux (en anglais, *Multi Level Perspective (MLP)*) définit trois niveaux d'analyse constituant le système socio-technique : les niches d'innovation, les régimes socio-techniques et le paysage sociotechnique. Les phénomènes de transition ont été conceptualisés, au travers de la MLP comme étant le résultat d'interactions entre un système dominant, les régimes sociotechniques, et des systèmes alternatifs, les niches d'innovation, le tout dans un contexte plus large, le paysage, où s'exercent, notamment, les normes (Figure 2). Les niches d'innovations sont constituées par des réseaux d'acteurs formels ou informels instables pouvant être à l'origine de l'émergence d'innovations de rupture. Le régime correspond au système dominant relativement stable avec des réseaux d'acteurs partageant des normes et des règles établies. Le paysage est le contexte, autrement dit les facteurs externes qui influent sur les interactions entre acteurs (valeurs, changement climatique, crises sanitaires, etc.) et dans lesquels s'inscrivent les régimes. La MLP étudie la transition comme les résultats des interactions entre ces différents niveaux. Elle offre donc un cadre conceptuel pour analyser les transitions (Geels and Schot 2007) et notamment la transition agroécologique (Duru *et al.* 2014). Tittonell, (2019) pose d'ailleurs, conceptuellement, l'agroécologie comme une innovation de niche par rapport aux systèmes conventionnels dominants.

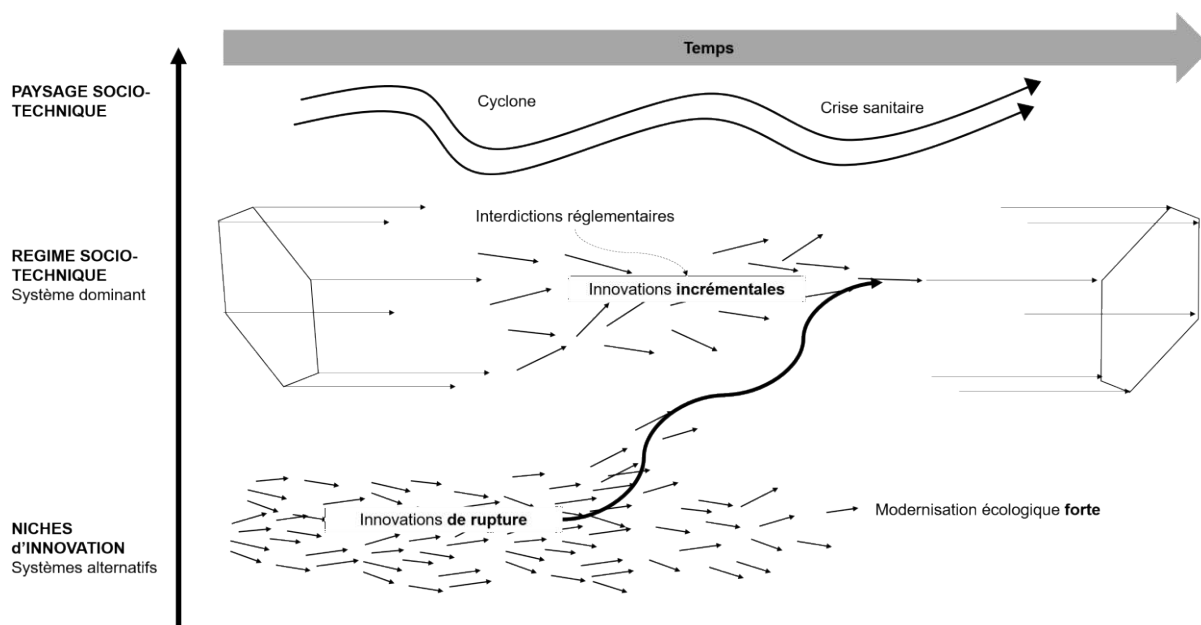


Figure 2 : Les trois niveaux d'analyse de la perspective multi-niveaux, d'après Geels and Schot (2007)

La transition agroécologique à grande échelle reposerait donc, pour l'agriculture, sur le potentiel des niches, autrement dit des acteurs portant des agricultures « déjà » agroécologiques, à influencer le système dominant, *i.e.* les acteurs impliqués dans la mise en place des agricultures conventionnelles (Ingram 2018). Dans ce schéma, les innovations de rupture, susceptibles de favoriser la modernisation écologique forte du régime sociotechnique (les agricultures conventionnelles) seraient issues des niches d'innovation (Duru *et al.* 2014).

Cependant, identifier une innovation d'intérêt pour la transition agroécologique dans une niche n'est pas suffisant pour la transposer à l'ensemble du système sociotechnique. Un certain nombre de situations de verrouillages ont été identifiées lorsque le contexte n'était pas pris en compte (Fares *et al.* 2012; Ingram 2018; Belmin *et al.* 2018). D'autres situations de verrouillage ont été identifiées lorsque des innovations issues du régime dominant étaient proposées ou diffusées au sein des niches d'innovation. Belmin *et al.*, (2018) ont montré au travers de l'exemple de la clémentine corse, que la trajectoire d'innovation de la niche pouvait être détournée par des innovations issues du régime, et que les controverses autour de ces innovations rendaient les tensions niche-régime d'autant plus visibles.

Pour éviter ou lever ces situations de blocage et permettre l'adoption d'innovations agroécologiques, plusieurs pistes ont été proposées : (i) la mobilisation non pas d'innovations « uniques » mais d'innovations couplées, permettant d'innover à plusieurs niveaux dans les systèmes agri-alimentaires (par exemple en amont avec des nouvelles pratiques agricoles et en aval avec des innovations commerciales) qui soient adaptables (déclinables en fonction des contextes) (Salembier *et al.* 2020), (ii) la réalisation d'un diagnostic de départ sur les points clés 'à améliorer' au sein du système (Meynard *et al.* 2017), (iii) la prise en compte et la mobilisation de l'ensemble du système d'innovation et des acteurs (Tittonell 2019) et (iv) pour Boulestreau *et al.* (2022), parmi ces acteurs, les producteurs sont les plus importants.

4. La banane plantain comme culture vivrière face à la filière export Cavendish

Les bananes font partie des productions agricoles les plus importantes dans le monde puisqu'elles garantissent la sécurité alimentaire de plusieurs millions de personnes, particulièrement dans les régions où elles sont produites (Kwa and Temple 2019; Voora *et al.* 2023). Les variétés comestibles sont issues de deux espèces, *Musa acuminata* (génomme A) et *Musa balbisiana* (génomme B). La banane Cavendish (*Musa acuminata*, AAA), consommée comme fruit, est la banane qui occupe la part la plus importante de la production mondiale (plus de 124 millions de tonnes dans le monde, en 2021) (FAO 2023). Principalement destinée à l'exportation, elle fait partie d'un marché très structuré. La banane plantain (*Musa* spp., AAB), consommée comme légume, est, quant à elle, centrale dans l'alimentation de nombreuses populations (Kwa and Temple 2019; Dépigny and Damour 2022). En 2021, la production de banane plantain dans le monde était estimée, en 2021, à plus de 45 millions de tonnes (FAO 2023) avec une production majoritairement localisée en Afrique (Cameroun, Ghana, Ouganda, Nigeria et Côte d'Ivoire) et en Amérique du Sud (Colombie et Pérou) (Kwa and Temple 2019). La production dans la Caraïbe était estimée à plus de 2 millions de tonnes en 2021 (FAO 2023). D'un point de vue botanique, les bananiers sont des herbes géantes monocotylédones. Les bananiers comestibles ayant été sélectionnés pour leur capacité à produire des fruits parthénocarpiques, ils se reproduisent de manière végétative, à partir de leur tige souterraine ou bulbe. C'est à partir du bulbe qu'émergent les plants de la génération suivante, appelés rejets. Les feuilles imbriquées les unes dans les autres constituent le pseudo-tronc et l'inflorescence remonte au sein du pseudo-tronc avant de sortir et de donner le régime de banane (Figure 3) (Lassoudière 2007).

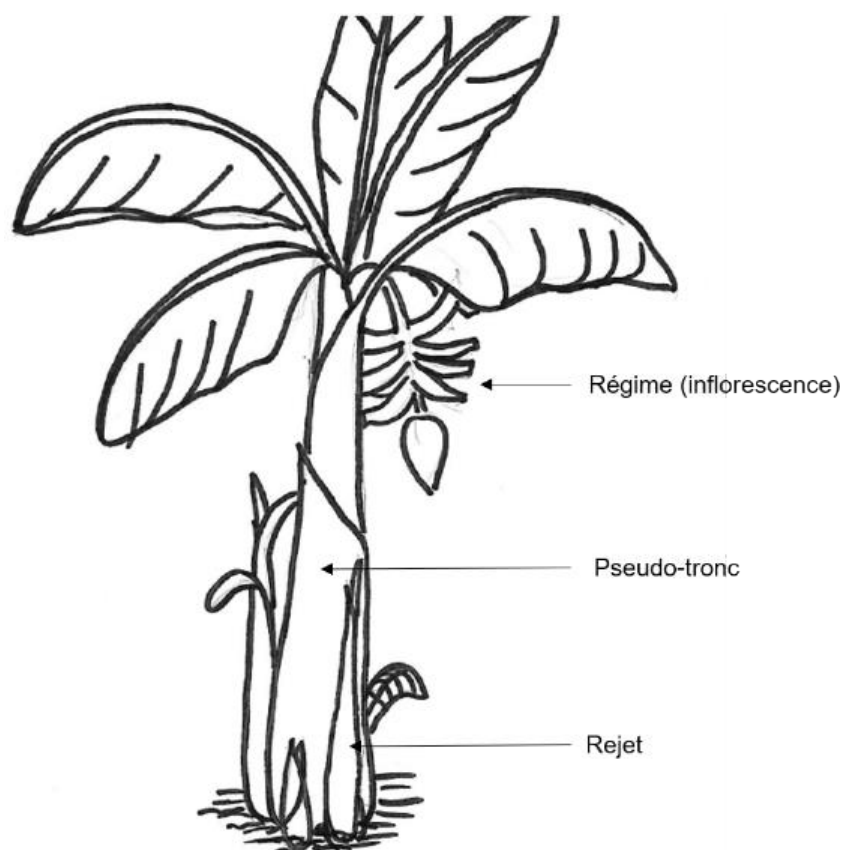


Figure 3 : Bananier d'après Kwa and Temple (2019)

Les conditions pédoclimatiques optimales pour la conduite des bananiers sont similaires pour la Cavendish et la plantain, avec des températures entre 25 et 30°C, une pluviométrie entre 1500 et 3000 millimètres par an, un sol bien drainé et un ensoleillement entre 1500 et 2500 heures (Kwa and Temple 2019). Ces conditions sont aussi favorables à la prolifération d'un certain nombre de bioagresseurs aériens et telluriques, à l'origine de pertes de rendement pouvant compromettre la pérennité des plantations (Gold *et al.* 2001; Haegeman *et al.* 2010).

Les pressions parasitaires telluriques sont majoritairement causées par les charançons *Cosmopolites sordidus* et les nématodes *Radopholus similis*. Les pressions parasitaires aériennes sont, quant à elles, causées par des champignons tels que *Mycosphaerella fijiensis* and *Mycosphaerella musicola*, responsables, respectivement, de la cercosporiose noire et de la cercosporiose jaune, ou encore *Trachysphaera fructigena*, responsable de la maladie du bout de cigare (European Food Safety Authority (EFSA) 2008), et *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cubense*, à l'origine de la fusariose (Pegg *et al.* 2019). Les bananiers font aussi face à des maladies virales avec des impacts variés sur les rendements. Six virus ont été identifiés comme pouvant infecter le bananier : Le cucumber mosaic virus (CMV; genre *Cucumovirus*), le banana bunchy top virus (BBTV; genre *Babuvirus*), qui affecte particulièrement les rendements, le

banana bract mosaic virus (BBrMV; genre *Potyvirus*), le banana mild mosaic virus (BanMMV; genus *Banmivirus*), le banana virus X (BVX; famille *Betaflexiviridae*) et plusieurs espèces du banana streak virus (BSV; genre *Badnavirus*) (Mukwa Fama Tongo 2016). Ce dernier présente la particularité d'avoir des séquences intégrées dans le génome de l'espèce *M. balbisiana* (Chabannes *et al.* 2013). De plus, certaines de ces séquences sont capables de s'activer chez les hybrides interspécifiques *M. acuminata* X *M. balbisiana* comme les plantains, sous certaines conditions (Gayral *et al.* 2008), entraînant l'apparition de particules virales, voire de symptômes viraux. Toutefois, Umer *et al.* (2022) ont montré que le risque d'activation de ces séquences infectieuses, en Guadeloupe, est extrêmement faible, tout au moins sur la variété « French clair ».

Dans un contexte de transition agroécologique, à l'heure où les solutions curatives recourant aux pesticides de synthèse sont de plus en plus décriées, l'exploration de solutions prophylactiques fait aujourd'hui consensus. Une des alternatives pour faire face au parasitisme tellurique est l'utilisation de plants sains, associée à la mise en place de jachères assainissantes (Gold *et al.* 2001; Haegeman *et al.* 2010; Mboula 2014). Plusieurs options existent aujourd'hui pour l'obtention de plants sains. Celle qui garantit le risque sanitaire le plus faible est l'utilisation de vitroplants, des plants produits en laboratoire à partir de cellules méristématiques (Sadom *et al.* 2010). Toutefois, cette option est onéreuse et n'est, de fait, pas toujours accessible pour les producteurs. D'autres options, pouvant être mises en œuvre directement au champ, par les agriculteurs, existent également. Certains producteurs nettoient mécaniquement, à l'aide de coutelas, les plants, issus de pieds mères, pour enlever les zones infestées par les charançons. Cette étape est parfois complétée par la mise en place de bains composés de produits aux propriétés fongicides et / ou insecticides (purin par exemple). Par ailleurs, une technique de multiplication et d'assainissement a été développée au Cameroun pour répondre au manque de plants sains, la technique du PIF (Plants Issus de Fragments de tige). Elle se décline en deux étapes, une première d'assainissement qui reprend les deux étapes mentionnées précédemment (nettoyage mécanique puis bains) et une étape de multiplication s'appuyant sur les capacités de reproduction végétative des bananiers (Sadom *et al.* 2010; Kwa and Temple 2019). Cette technique a montré des résultats intéressants au Cameroun mais la question du risque potentiel d'activation de séquences virales endogènes, liée au stress engendré par l'étape de multiplication, a été soulevée (Mukwa Fama Tongo 2016).

En Guadeloupe, les vitroplants ont été massivement adoptés par les producteurs de banane export Cavendish. En banane plantain, les vitroplants sont, par contre, arrivés récemment en

Guadeloupe, et mis sur le marché courant 2020, avec l'objectif de contribuer à une meilleure structuration de la filière (RITA Guadeloupe 2019).

Bien que physiologiquement très proche, la banane plantain s'inscrit dans des logiques différentes de celle de la banane Cavendish, constituée en filière très structurée et fortement subventionnée (Angeon and Bates 2020). La banane plantain est produite et commercialisée sur le territoire (Fréguin-Gresh *et al.* 2020) avec une part informelle, probablement importante, à l'instar d'autres cultures, également destinées au marché local (Andrieu *et al.* 2022). Face à la banane Cavendish, la banane plantain fait donc figure de culture orpheline en Guadeloupe. Peu documentée, elle est portée par une diversité d'exploitations mettant en place des pratiques très diverses. Ne s'inscrivant pas dans une filière structurée, la banane plantain n'a pas d'AKIS ou d'AIS développé et soutenu. Il est donc probable que le poids de l'innovation soit porté surtout à titre individuel par les acteurs en présence, plus que dans des démarches collectives. Mais, cette absence de structuration représente une réelle opportunité pour comprendre la diversité des dynamiques de transition.

5. Questions de recherche et problématique

Les paragraphes précédents ont permis de rappeler l'intérêt de prendre en compte les déterminants de l'innovation, pour aller plus en avant dans la transition agroécologique. Néanmoins, dans un contexte où, peu de connaissances sont disponibles, ou alors disponibles de façon fragmentaire, comme dans le cas d'une culture orpheline, une question se pose :

Quelle démarche de recherche, méthode et outils, pour accompagner l'innovation au service des transitions agroécologiques d'une culture orpheline ?

Cette thèse propose une démarche multi-échelles combinant à la fois des connaissances scientifiques et non académiques pour identifier des innovations techniques et organisationnelles ainsi que les points de blocage à la transition agroécologique, pour des systèmes de culture orphelins. Elle propose une analyse de la diversité des connaissances à co-construire avec les producteurs, de la plante au système sociotechnique, pour accompagner les transitions agroécologiques.

La problématique se décline en quatre sous-questions de recherche qui sont détaillées dans la Figure 4.

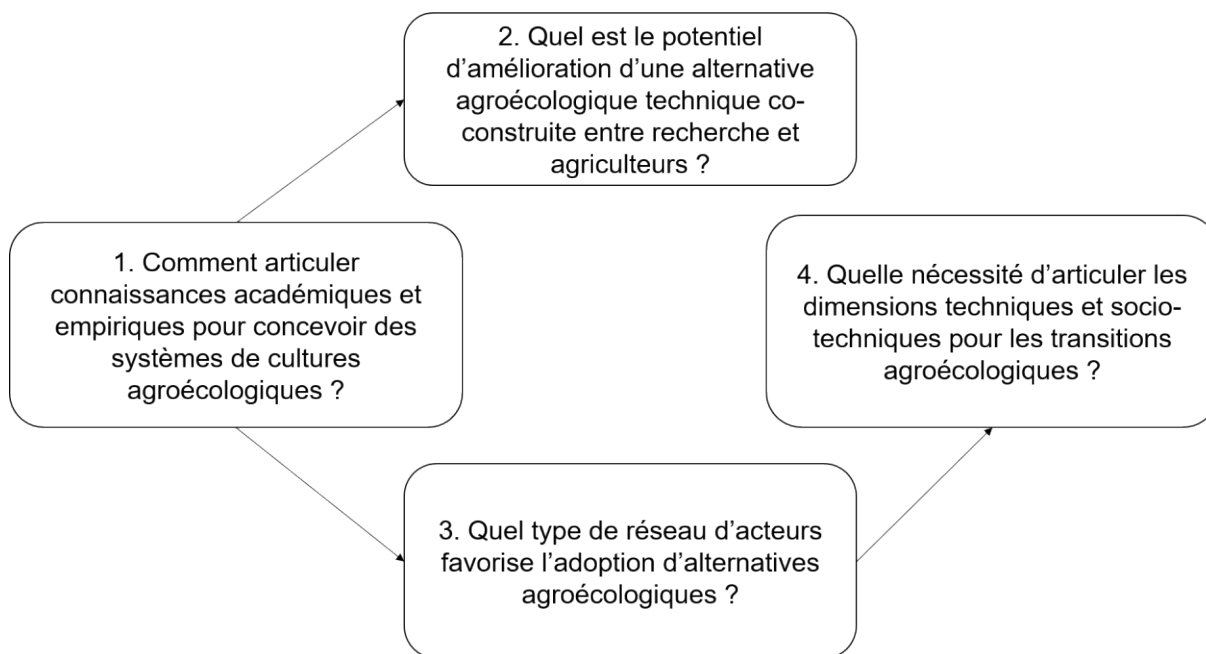


Figure 4 : Sous-questions de recherche

QR1 : Comment articuler connaissances académiques et empiriques pour concevoir des systèmes de cultures agroécologiques ?

Pour répondre à cette question, le premier chapitre propose une démarche de co-conception de systèmes de culture innovants alimentée par un diagnostic de la diversité des systèmes à base de plantain et des problématiques existantes. Jeuffroy *et al.* (2022) ont démontré que la co-conception peut permettre d'identifier avec les acteurs des alternatives innovantes et des « trous » de connaissances. Le diagnostic de la diversité des systèmes à base de plantain a été réalisé en mobilisant le cadre Efficience-Substitution-Redesign (ESR) (Hill and MacRae 1996; Gliessman 2016). Ce diagnostic a servi de point de départ pour des ateliers de co-conception, menés avec les producteurs, autour du design de systèmes de culture de plantain agroécologiques.

Ce premier chapitre a permis de révéler l'existence d'obstacles et de leviers à la transition agroécologique, et de mettre en évidence des trous de connaissances techniques et organisationnels bloquant l'implémentation de certains leviers. En particulier, il a révélé un manque de connaissances techniques autour d'une alternative agroécologique jugée prometteuse par les agriculteurs pour l'assainissement et la multiplication des plants de bananier plantain, la technique du PIF (Plants Issus de Fragment de tige). Un manque de connaissance sur les relations entre acteurs, favorisant ou non l'adoption d'innovations techniques ou organisationnelles, pour une modernisation agroécologique forte a aussi été identifié. Cette identification a été à l'origine de la mise en place d'une expérimentation en conditions semi-contrôlées (Chapitre 2), d'une analyse des réseaux d'acteurs et de leur rôle dans l'adoption de pratiques alternatives permettant d'aller plus loin dans la mise en œuvre de la transition agroécologique (Chapitre 3).

Ce premier chapitre contribue à la mise en évidence du rôle des méthodes de co-conception pour faire émerger et agréger des connaissances empiriques et scientifiques dans un contexte de manque de connaissances (culture orpheline).

QR2 : Quel est le potentiel d'amélioration d'une alternative agroécologique co-construite entre recherche et agriculteurs ?

Le deuxième chapitre questionne la possible optimisation (augmentation des performances de multiplication et d'assainissement des plants de bananiers) d'une alternative agroécologique co-construite entre les acteurs de la recherche et des agriculteurs depuis une dizaine d'années : la technique du PIF. Des apports d'écophysiologie ont été mobilisés pour identifier les facteurs

environnementaux (température, lumière, hormones) pouvant concourir à l'optimisation de la technique.

Ce second chapitre contribue à la réflexion autour de l'adaptation de dispositifs expérimentaux en fonction des trous de connaissances identifiés par les agriculteurs autour d'une alternative agroécologique.

QR3 : Quel type de réseau d'acteurs favorise l'adoption d'alternatives agroécologiques ?

La première phase de co-conception ayant révélé le manque de connaissances sur les interactions existantes entre acteurs autour du plantain, le troisième chapitre analyse le rôle des réseaux d'acteurs dans l'adoption de pratiques alternatives agroécologiques liées à la modernisation agroécologique faible ou à la modernisation écologique forte.

Plus précisément, c'est l'interaction entre la structure et les fonctions des réseaux d'innovation, constituant l'AIS plantain, au sens du cadre proposé par Wieczorek and Hekkert (2012) et décliné par Fielke *et al.* (2018) et Minh (2019), qui est étudiée. Cette interaction et son rôle sur l'adoption ou la non-adoption des pratiques est analysée à l'aide d'une méthode issue de la théorie des réseaux combinant à la fois une approche quantitative (*Social Network Analysis*) et une approche qualitative (*Knowledge Mapping*).

Ce troisième chapitre a révélé le rôle déterminant d'acteurs issus du système dominant (banane Cavendish export) au sein de « l'AIS » plantain. Les interactions entre ce système dominant et les systèmes plantain sont étudiés dans le chapitre 4.

De manière plus globale, ce chapitre contribue à la compréhension du rôle de l'interaction structure-fonction d'un AIS sur les dynamiques de transition agroécologique.

QR4 : Quelle nécessité d'articuler les dimensions techniques et sociotechniques pour la transition agroécologique ?

L'analyse des réseaux d'acteurs ayant permis d'identifier une partie des systèmes à base de plantain comme niches d'innovation, existant au sein d'un régime général banane export, le quatrième chapitre interroge : (i) la place de la banane plantain en tant que système alternatif par rapport au système dominant banane Cavendish export, et (ii) le choix d'une innovation issue du système dominant, le vitroplant, comme innovation pour aller plus en avant dans la transition agroécologique dans les systèmes alternatifs.

Les impacts de la diffusion, sur la transition agroécologique, de cette innovation sur le système sociotechnique dans sa globalité sont questionnés au regard du cadre conceptuel de la perspective multi-niveaux (MLP).

De manière plus globale, ce chapitre contribue à la réflexion sur la mobilisation de la perspective multi-niveaux, dans un contexte de manque de connaissance, pour décrire une réalité objectivée. Elle contribue également à la discussion des conséquences de la diffusion d'une innovation issue du régime à destination des niches sur les mécanismes de verrouillages à la transition agroécologique.

Partie 2. Méthodologie globale

La méthode proposée dans le cadre de la thèse est itérative, mixte et imbriquée. Elle considère plusieurs échelles, du système de culture au système sociotechnique en passant par la plante. Les résultats des étapes initiales alimentent les étapes suivantes.

Les différentes étapes sont illustrées dans la figure 5. La première étape de co-conception s'est faite à l'échelle des exploitations agricoles et des systèmes de culture. Les deux étapes suivantes découlent des résultats de cette première étape et des manques de connaissances identifiés. La deuxième étape, relative à l'expérimentation d'une alternative agroécologique, identifiée lors de la première étape, s'est circonscrite à l'échelle de la plante. La troisième étape, de caractérisation des réseaux d'acteurs résulte également d'un manque de connaissances identifiée lors de l'étape 1. La dernière étape, découle d'un résultat identifié lors de l'étape 3, sur le rôle du régime dominant dans les systèmes alternatifs à base de plantain.

La démarche méthodologique globale est présentée dans cette partie. La méthodologie de chaque axe de la thèse est détaillée dans chacun des chapitres de résultats.

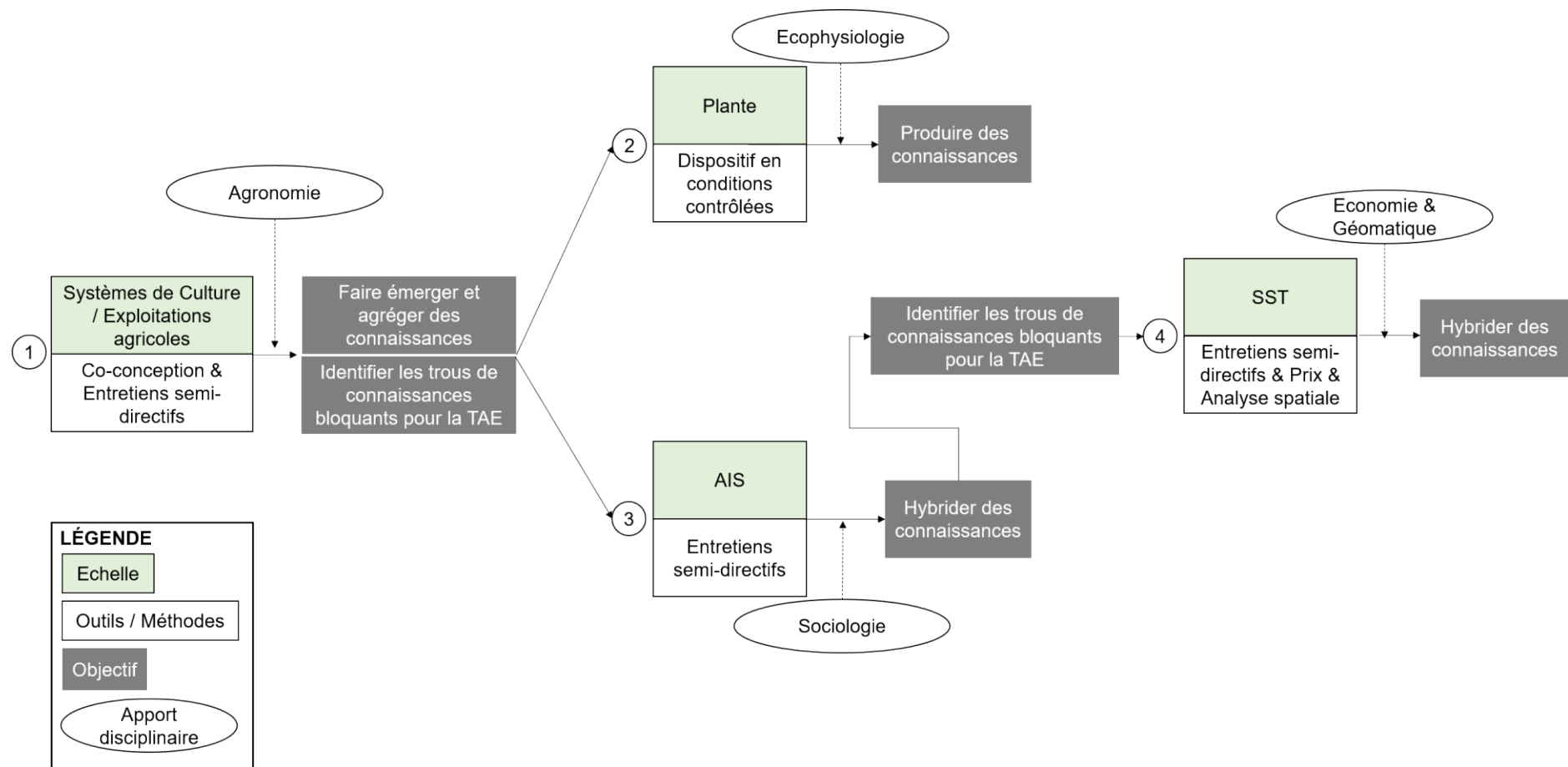


Figure 5 : Approche méthodologique globale. Dans ce schéma, une distinction est faite entre l'agrégation de connaissances existantes et l'hybridation de connaissances existantes et de nouvelles connaissances. TAE signifie Transitions Agroécologiques, AIS *Agricultural Innovation System*, Système d'innovation agricole en français et SST *Système Sociotechnique*

1. Cas d'étude : l'archipel guadeloupéen

L'archipel guadeloupéen est une région ultramarine française située dans la Caraïbe ($16^{\circ} 15' N$, $61^{\circ} 35' W$) (Figure 6). Elle est composée de deux îles majeures, la Basse Terre et la Grande Terre, et plusieurs autres petites îles : Marie Galante, les Saintes, la Désirade et Petite Terre (IEDOM 2021). L'archipel présente une grande diversité de contextes pédoclimatiques. Dans le sud-est de la Basse-Terre, zone historique de production de banane export, la pluviométrie est élevée (entre 2000 et 3000 mm par an) et les sols volcaniques, sont particulièrement fertiles (Lucien Brun 2014; Mantran *et al.* 2017 ; Sierra and Desfontaines 2018). Dans le nord de la Basse Terre, où se trouve un des bassins canniers, ce sont majoritairement des ferralsols. La pluviométrie y est également importante. Inversement, en Grande Terre et à Marie Galante, où sont présents les autres bassins canniers, la pluviométrie est moins importante et les vertisols (sols argileux gonflants) imposent des contraintes physiques et de disponibilité hydrique (Lucien Brun 2014).

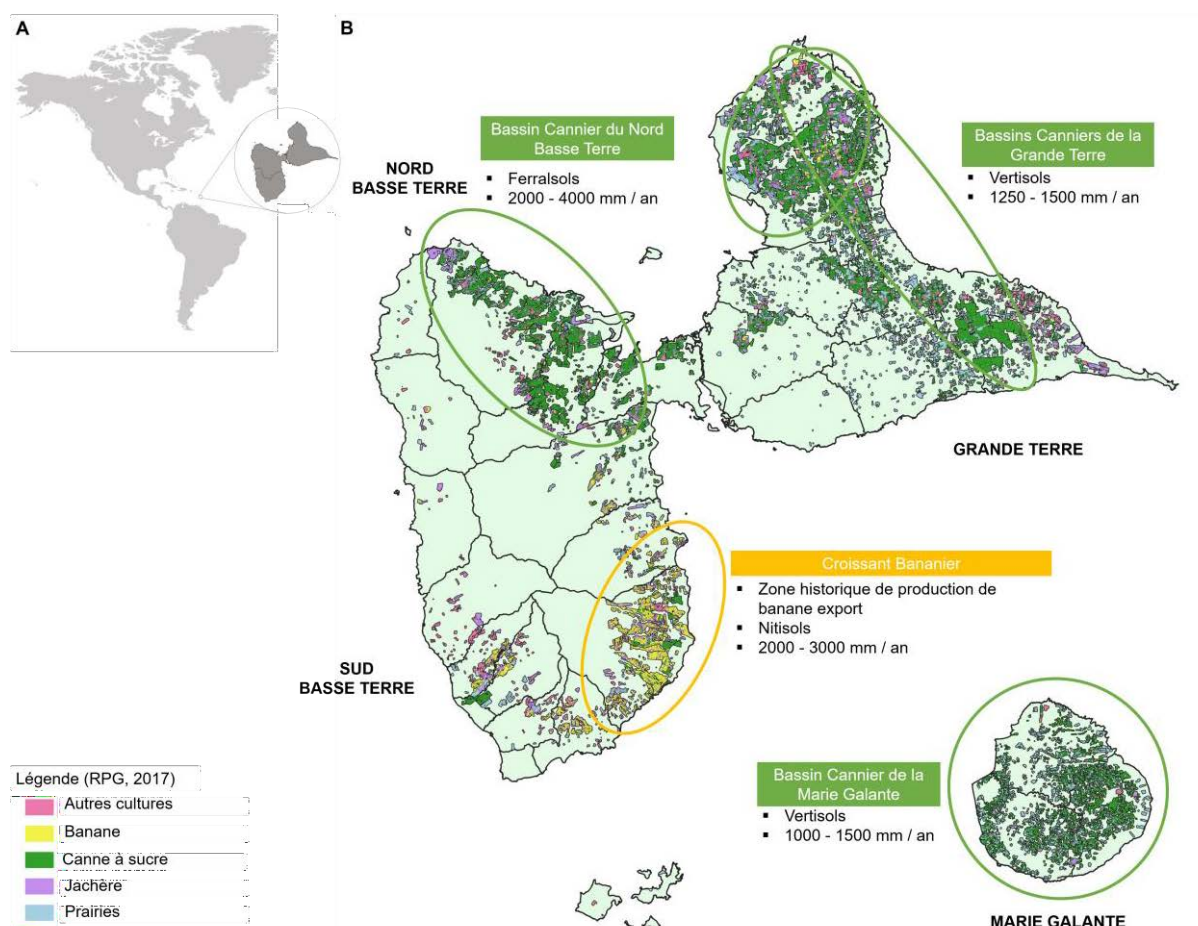


Figure 6 : Zone étude, d'après le Registre Parcellaire Graphique 2017, Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt, Guadeloupe

L'agriculture guadeloupéenne est, aujourd'hui encore, dominée par deux cultures destinées à l'exportation : la banane Cavendish (*Musa acuminata*, AAA) et la canne à sucre (*Saccharum officinarum*) (Agreste 2020). Parmi les cultures destinées au marché local, la banane plantain représenterait 120 hectares pour 1 116 tonnes en 2019 (Agreste 2020), chiffres probablement sous-estimés, puisque ces productions agricoles non exportées, sont en partie produites par des agriculteurs non déclarés et, de fait, peu renseignées par les statistiques officielles (Andrieu *et al.* 2022).

Dans le cadre de la thèse, c'est l'ensemble de la Guadeloupe continentale (Grande Terre et Basse Terre), ainsi que Marie Galante qui sont considérées. Les autres îles n'ont pas été incluses dans la zone d'étude où la production de plantain, n'est à priori, pas significative ; l'objectif de la thèse n'étant pas l'exhaustivité des systèmes à base de plantain.

2. Une méthodologie mixte et découplée

2.1. Une première étape à l'échelle des exploitations agricoles et des systèmes de culture pour caractériser la diversité existante et identifier les trous de connaissances

Pour identifier les trous de connaissances et caractériser la diversité de la production de plantain en Guadeloupe, des données issues de deux séries d'enquêtes (ayant eu lieu en amont de la thèse en 2017 puis en 2019) et de 7 ateliers de co-conception mis en place entre 2019 et 2021, ont été analysées.

La valorisation des données issues d'une première série d'enquêtes, menées en 2017 (Bezard 2017), avait pour objectif de caractériser la diversité des pratiques et des stratégies des producteurs de plantain à l'échelle de la Guadeloupe. Les travaux menés dans ce cadre s'étaient concentrés au sein du croissant bananier et les pratiques identifiées à cette période étaient relativement proches de celles mises en place pour la banane export (Forite 2011; Ogisma 2011). L'hypothèse, selon laquelle, la diversité des pratiques et des stratégies serait liée au contexte pédoclimatique a été posée en 2017. Les enquêtes semi-directives ont alors débuté, au sein du croissant bananier (où des producteurs de plantain avaient déjà été enquêtés), avec l'objectif de sortir de cette zone, en s'appuyant sur les contacts de ces agriculteurs « initiaux », selon le principe de l'échantillonnage en boule de neige (Reed *et al.* 2009). Les enquêtes ont été réalisées dans un maximum de zones agroécologiques, sur l'ensemble de la Guadeloupe continentale (Grande Terre et Basse Terre) pour couvrir la plus grande diversité de contextes possible (Lucien Brun 2014; Mantran *et al.* 2017).

La diversité des exploitations productrices de plantain enquêtées a été caractérisée à l'aide d'une typologie. Cette typologie était basée à la fois sur le rôle du plantain dans la stratégie de production des agriculteurs et sur la classification des pratiques (pour la culture du plantain) à l'aide d'un « gradient agroécologique » construit à partir du cadre ESR (Hill and MacRae 1996; Gliessman 2016). Cinq pratiques ont été prises en compte pour la classification : la gestion de la fertilité, la gestion de l'enherbement, la gestion des maladies et des ravageurs, la diversité des cultures et la gestion de l'irrigation. Pour les quatre premières pratiques le score allait de 0 à 4, et de 0 à 2 pour la gestion de l'irrigation. Les notes proches de 0 correspondent aux pratiques similaires à ce qui était fait en banane export en 2017, dans des systèmes conventionnels : 1,2 kilogrammes d'engrais de synthèse par plant et par an pour la fertilisation, des herbicides exclusifs pour la gestion de l'enherbement, des fongicides pour la gestion des maladies et des

ravageurs, des systèmes en monoculture avec une irrigation systématique. Inversement, les notes les plus élevées correspondent aux systèmes les plus agroécologiques, plus proches des systèmes de type jardin créole (Chevalier 2017) avec une fertilisation uniquement organique, une gestion manuelle de l'enherbement, pas d'utilisation de produits de synthèse pour la gestion des maladies et des ravageurs, et des associations de culture avec plus de dix espèces végétales.

En 2019, une deuxième série d'enquêtes a été menée afin d'étudier l'évolution des systèmes depuis 2017 à l'aide des mêmes indicateurs (Morin 2019).

Ensuite, deux séries d'ateliers de co-conception ont été organisées en 2019 avec un double objectif. Le premier était de valider la typologie établie à partir des enquêtes de terrain et le second de co-construire, avec les producteurs, des systèmes de culture agroécologiques à base de plantain. Le système de culture correspond, avec l'exploitation agricole aux échelles de gestion des producteurs. Cette co-construction devait permettre de réfléchir aux chemins de transition possibles, mais aussi, d'identifier les freins et leviers à la transition agroécologique. Les ateliers ont été conduits dans trois zones (sud Basse Terre, nord Basse Terre et Grande Terre) pour prendre en compte la diversité de contextes et de types de producteurs identifiés lors des enquêtes. La première série d'ateliers avait pour objectif de définir, collectivement, l'organisation spatiale de systèmes de culture agroécologiques à tester (association de cultures, double ou simple rang, cultivar de plantain, etc.). La seconde série avait pour objectif de définir l'organisation temporelle, autrement dit l'itinéraire technique, pour la conduite du système de culture défini lors du premier atelier. Une analyse du discours des agriculteurs, lors des ateliers, a été conduite, a posteriori pour identifier les freins à la transition agroécologique et les leviers proposés par les producteurs pour passer outre ces points de blocage.

Une classification des points de blocage en quatre catégories (techniques, sanitaires, économiques et autres) a été proposée et présentée lors d'un atelier organisé en 2021. Après avoir complété la liste des points de blocage, les agriculteurs les ont classés en mineurs (non-existants), moyens (existants mais gérables) ou majeurs (obstacles à la production). Les leviers identifiés lors des ateliers de 2019 ont également été discutés et complétés lors de cet atelier puis mis en lien avec les freins.

Des manques de connaissances ont été identifiés lors de ces enquêtes et ateliers, et ont déterminé les étapes suivantes de la thèse. Tout d'abord, la technique du PIF a été identifiée comme une

technique d'intérêt pour faire face au manque de plants sains en vue de sécuriser la culture du plantain sur le territoire. Pour autant, les agriculteurs ont mentionné sa chronophagie comme étant bloquante. Ensuite, lors des échanges, les agriculteurs ont mentionné le potentiel rôle des réseaux d'acteurs, les entourant, dans les points de blocage, notamment économiques.

Les deux étapes suivantes de la thèse s'attachent donc à proposer des méthodes pour : (i) optimiser la technique du PIF et (ii) identifier le rôle des réseaux d'acteurs dans la diffusion des alternatives agroécologiques.

2.2. Une deuxième étape à l'échelle de la plante pour optimiser une pratique alternative agroécologique

Cette deuxième étape a été pensée pour répondre au manque de connaissances sur une pratique alternative identifiée comme d'intérêt par les agriculteurs, lors des enquêtes et des ateliers de co-design : la méthode du Plant Issu de Fragments de tiges (PIF).

La méthode du PIF est une technique de multiplication et d'assainissement, à la ferme, qui a été développée initialement au Cameroun pour faire face au manque de plants sains et qui a montré des résultats intéressants dans ce contexte (Tomekpe *et al.* 2011). C'est une technique agroécologique déclinable à la ferme à partir de ressources locales. Elle hybride les connaissances scientifiques, sur la physiologie du bananier, et empiriques, sur les ressources et besoins locaux existants, sur les exploitations agricoles. Cette technique a été proposée aux producteurs de Guadeloupe, à partir de 2010, dans le cadre d'un projet de recherche et certains producteurs l'ont adoptée pour répondre au manque de plants sains à bas coût. Lors des ateliers de co-conception, les producteurs ont montré un intérêt pour cette technique en raison de son coût faible et de son accessibilité mais ont fait ressortir sa chronophagie comme étant un véritable frein à son adoption.

Les conditions idéales « globales » ont été identifiées lors de deux expérimentations en 1993 et 1998 au Cameroun mais le rôle des paramètres environnementaux, pris séparément, n'a pas été étudié (Kwa 2003). L'objectif de cette deuxième partie de la thèse est d'identifier le rôle de trois paramètres pris individuellement (la température, la lumière et les hormones) pour optimiser la technique et ainsi, répondre au frein identifié lors des ateliers de co-design sur la chronophagie de la technique du PIF. Le risque d'activation de séquences virales endogènes a

aussi été soulevé (Mukwa Fama Tongo 2016) en raison du stress généré sur la plante par la technique. Un suivi d'activation virale était prévu dans le cadre de la thèse mais, face à l'indisponibilité d'un des réactif (anticorps) liée à la crise sanitaire, c'est le potentiel d'assainissement pour un virus, le Ban MMV (Banana Mild Mosaic *virus* ; genus *Banmivirus*) qui a été évalué.

Trois étapes, en conditions semi-contrôlées, pour identifier le rôle des facteurs environnementaux, séparément, ont été mises en place dans des chambres de cultures. La première phase de l'expérimentation a permis de tester trois conditions de température (25, 30 et 35°C). La seconde a permis de comparer différentes conditions hormonales avec de l'ajout d'eau de coco, connue pour être extrêmement riche en hormones de croissance (Yong *et al.* 2009) et l'utilisation d'une hormone de synthèse commerciale. La troisième étape s'est attachée à étudier le rôle de la lumière, avec ajout de lumière renforcée dans le rouge, dont le rôle est connu pour la stimulation de la germination et notamment en horticulture (Lacotte 2018). Une chambre regroupant les conditions optimales a été mise en place en parallèle de la dernière étape. Les capteurs utilisés pour mesurer les conditions étaient les mêmes que lors des phases préliminaires.

Pour étudier le potentiel d'assainissement de la technique du PIF, le choix a été fait d'étudier la transmission verticale du virus BanMMV puisque des études, menées précédemment sur le territoire, ont permis de l'identifier comme étant le seul présent. Des feuilles des plants utilisés pour la technique du PIF, ont été collectées juste avant que les plants ne soient préparés. Les acides nucléiques totaux (TNAs) ont été extraits selon le procédure 2 décrite par Foissac *et al.* (2005) pour la détection des virus à ARN. L'ADN complémentaire (cDNA) a été synthétisé selon Umber *et al.* (2022) et les amorces de détection ont été conçues par Foissac *et al.* (2005). Les petits plants issus de plantes mères où le BanMMV avait été identifiés ont été indexés selon la méthode décrite précédemment pour identifier la prévalence du virus dans des petits plants issus de plantes mères infectées et préparées selon la méthode PIF.

2.3. Une troisième étape à l'échelle de l'AIS pour comprendre le rôle des réseaux dans l'adoption des pratiques alternatives

Lors des ateliers et des enquêtes de terrain le manque de connaissances sur le rôle des acteurs environnants les producteurs de plantain (acteurs de la commercialisation, fournisseurs d'intrants, etc.) dans l'adoption des alternatives agroécologiques a été identifié comme un potentiel point de blocage à la transition agroécologique. Une méthode a donc été proposée pour caractériser les réseaux d'acteurs autour des producteurs de plantain, et le rôle de ce réseau dans l'adoption de pratiques alternatives.

Pour caractériser le réseau d'acteurs autour des producteurs de plantain, une série d'enquêtes a eu lieu, entre octobre 2021 et février 2022. L'échantillonnage a également été conduit en boule de neige, à partir des agriculteurs présents à l'atelier de 2021. Les enquêtes, de type semi-directives, ont été conduites en Guadeloupe continentale mais également à Marie Galante. Elles avaient comme fil rouge de discussion, l'itinéraire technique suivi par les producteurs, de la préparation de sol à la commercialisation. A chaque étape, les agriculteurs étaient interrogés sur les personnes / structures avec qui ils interagissaient (*name generator*) et sur les ressources échangées avec ces acteurs / structures (*resource generator*).

Les données des enquêtes ont été analysées à l'aide d'une méthode mixte, issue de la théorie des réseaux, croisant une *Social Network Analysis* (SNA) et un *Knowledge Mapping* (KM). La SNA permet de caractériser les réseaux d'acteurs à l'aide d'indicateurs quantitatifs, à l'échelle, soit du groupe d'acteurs, soit de l'acteur pris individuellement. Le KM complète la SNA à l'aide d'indicateurs qualitatifs, comme les verbatims des agriculteurs, comme c'est le cas dans ce travail.

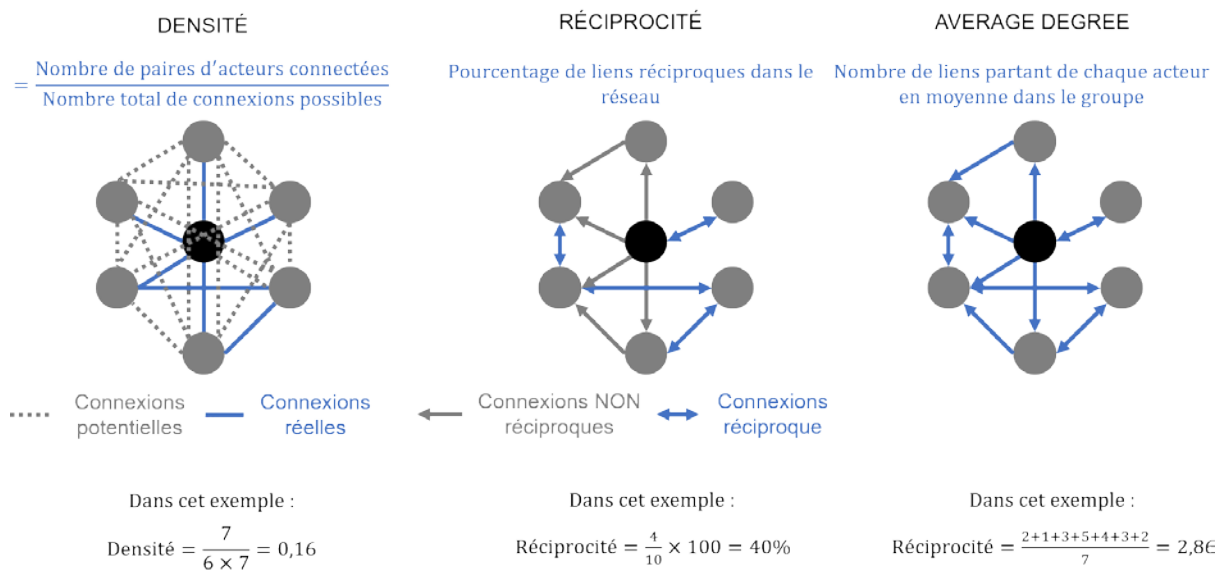
Le réseau global, autour des producteurs de plantain enquêtés a été caractérisé, en faisant l'hypothèse qu'il existait un système d'innovation agricole (AIS - *Agricultural Innovation System*) plantain en Guadeloupe constitué pour un ensemble de réseaux d'innovation interconnectés.

Pour questionner le rôle du réseau d'acteurs, dans l'adoption de pratiques alternatives agroécologiques, un focus a été fait sur trois types de pratiques, déclinées de façon plus ou moins agroécologiques : la préparation des plants, la gestion de la fertilisation et la gestion de

l'amendement. Le choix de ces pratiques s'est basé sur le résultat des ateliers de co-conception conduits entre 2019 et 2021, qui avait fait ressortir la question des plants sains, de la fertilisation et de l'amendement comme des points de blocage à la mise en place de systèmes de culture agroécologiques.

Chacun de ces réseaux a été caractérisé à l'aide d'indicateurs quantitatifs. A l'échelle du groupe trois indicateurs ont été utilisés : la densité (nombre de paires d'acteurs connectées divisé par le nombre total de connexions possibles), la réciprocité (pourcentage de liens réciproques dans le réseau) et le *average degree* (nombre de liens partant de chaque acteur, en moyenne, dans le groupe). La densité dépendant de la taille du réseau, le *average degree* a été mobilisé pour comparer les réseaux de taille différente (Borgatti *et al.* 2022) (Figure 7). A l'échelle des individus (acteurs) deux types d'indicateurs qualitatifs ont été utilisés : la *out-degree centrality* qui correspond au nombre de liens partant de chaque acteur et la *betweenness centrality* qui prend en compte combien de fois un acteur est lié à deux autres acteurs, et qui permet d'identifier les liens critiques au sein du réseau (Figure 7).

Indicateurs quantitatifs
à l'échelle du **groupe / réseau**



Indicateurs quantitatifs
à l'échelle du **nœud / acteur**

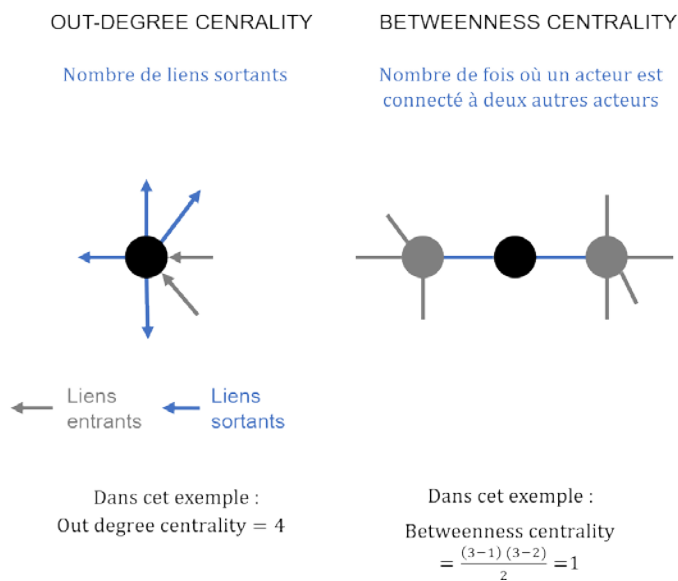


Figure 7 : Indicateurs quantitatifs pour caractériser les réseaux d'acteurs

La caractérisation des réseaux avait aussi pour objectif d’apporter un éclairage sur le rôle du supposé AIS plantain dans la limitation ou le soutien aux transitions agroécologiques sur le territoire guadeloupéen. Pour discuter de ce rôle, la structure de l’AIS a été appréhendée à l’aide des indicateurs quantitatifs mentionnés précédemment et ses fonctions ont été questionnées à l’aide de la caractérisation des flux de ressources existant au sein des réseaux (Figure 8).

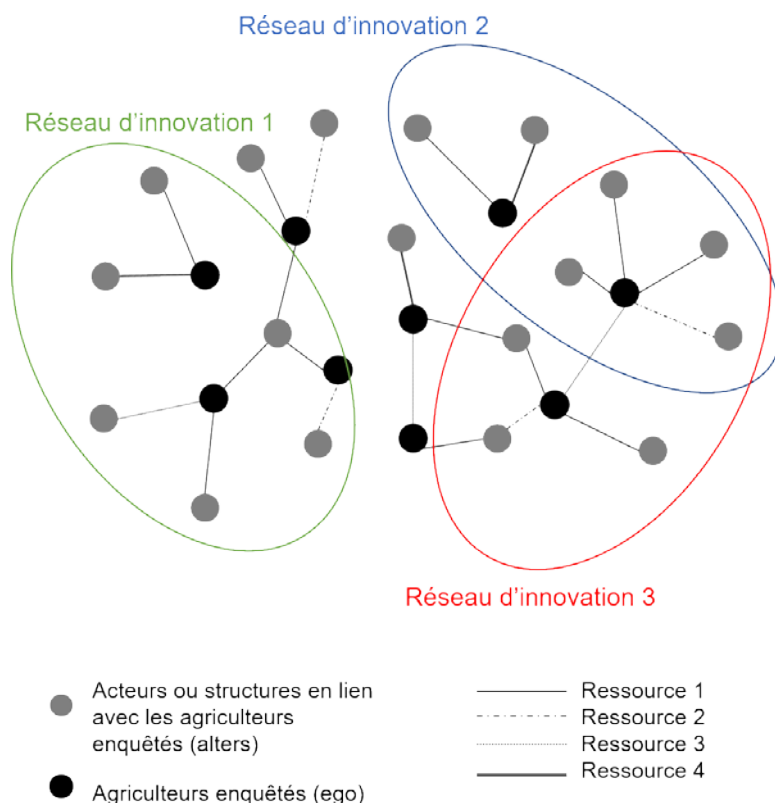


Figure 8 : Concepts d’analyse de réseaux. Les cercles représentent les réseaux d’acteurs autour des pratiques alternatives (correspondant aux agriculteurs ayant adoptés ces pratiques entourés par les acteurs avec qui ils interagissent)

Des situations de verrouillage, liées aux acteurs du système dominant, banane export ont été mises en évidence : des fonctions ne sont pas mises en œuvre, des innovations sont pensées pour ces acteurs au détriment des autres, etc. Ces situations ont été particulièrement identifiées au sein du réseau autour du vitroplant.

La dernière étape de la thèse, part de ces résultats et propose une approche permettant de mettre en lumière la place des systèmes alternatifs de niche, par rapport au système dominant banane Cavendish export.

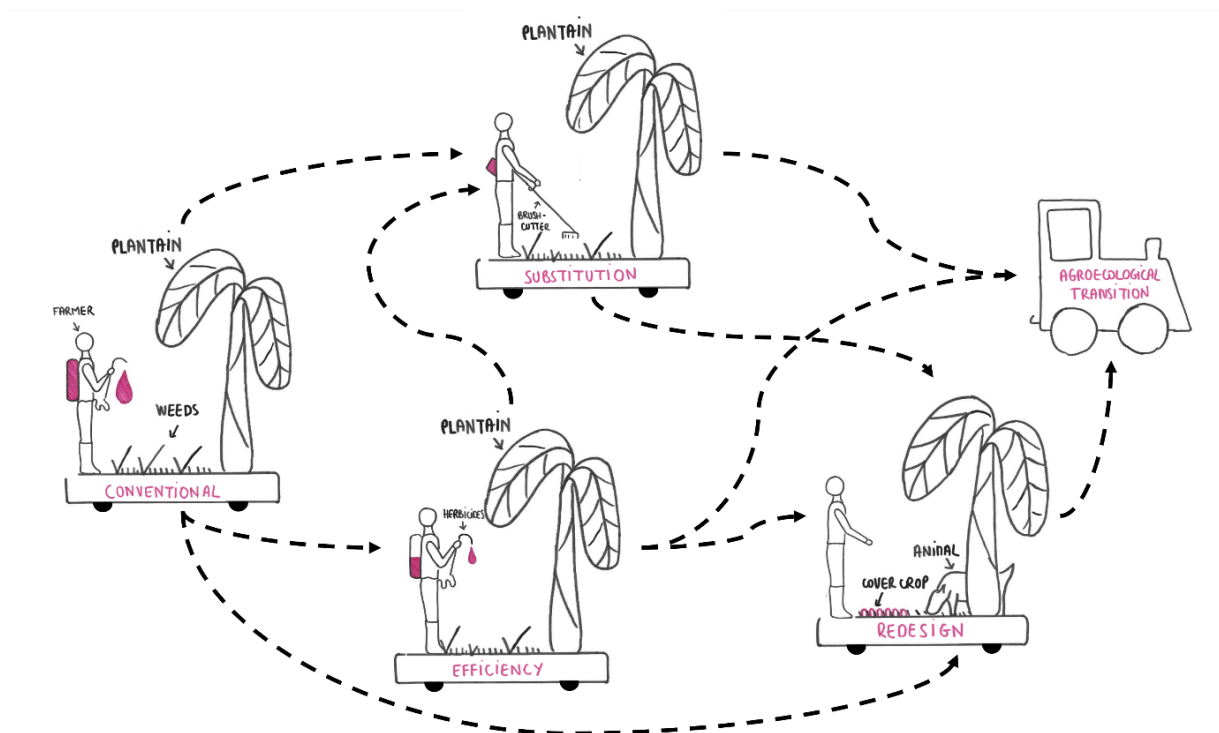
2.4. Une quatrième étape à l'échelle du système sociotechnique pour comprendre le rôle du système dominant dans les dynamiques de transition agroécologique au sein des niches

Les étapes précédentes ont permis de mettre en évidence les interactions mais également les tensions existantes entre les potentielles niches à base de plantain et le système dominant banane export Cavendish.

Ces interactions sont questionnées, via le prisme de la perspective multi-niveaux (en anglais *Multi-Level Perspective* (MLP)) autour de l'exemple d'une pratique alternative, le vitroplant de plantain, une innovation issue de la banane export et diffusée pour les systèmes à base de plantain courant 2020. Dans cette partie deux périodes sont considérées : avant la diffusion du vitroplant (2017) et après la diffusion (2021-2022). Une approche mixte, mobilisant des outils (photo-interprétation, relevé de prix, caractérisation des circuits de commercialisation) et des données qualitatives (perceptions des agriculteurs) a été utilisée pour étudier les liens entre les systèmes plantain et Cavendish. La partie photo-interprétation a été réalisée par un prestataire. Les objectifs de cette approche sont de (i) de décrire une réalité, et (ii) de questionner le choix d'une innovation issue du système dominant (le vitroplant) comme innovation pour aller plus en avant dans la transition agroécologique dans les systèmes alternatifs ou de niche à base de plantain.

Partie 3. Résultats

Chapitre 1 : S'appuyer sur les connaissances des agriculteurs pour aller plus loin dans la transition agroécologique



Ce premier chapitre présente les résultats des démarches de co-conception mises en place avec les producteurs de plantain. Dans un contexte de culture orpheline, ces démarches ont permis d'outiller les producteurs pour faire émerger leurs connaissances et de les hybrider avec des connaissances scientifiques. Cette première étape a permis de caractériser la production de plantain en Guadeloupe mais également de mettre en évidence des trous de connaissances et des points de blocage à la transition agroécologique permettant ainsi, d'orienter les étapes suivantes de la thèse.

Sous-Question de recherche

Comment articuler connaissances académiques et empiriques pour concevoir des systèmes de cultures agroécologiques ?

1. Article 1: Co-designing innovative plantain cropping system to support the diversity of agroecological pathways in Guadeloupe



Co-designing innovative plantain cropping systems to support the diversity of agroecological pathways in Guadeloupe

Marie Bezard¹ · Carla Barlagne^{2,3} · Jean-Louis Diman¹ · Valérie Angeon⁴ · Raphaël Morin¹ · Harry Ozier-Lafontaine³ · Nadine Andrieu^{5,6}

Accepted: 7 February 2023
© The Author(s) 2023

Abstract

In the French West Indies, and particularly in Guadeloupe, agricultural policies mainly support the banana and sugarcane export sectors. However, driven by consumer demand, policy-makers are increasingly interested in developing local and agroecological food systems. Plantain (*Musa* spp., AAB), cultivated by a wide range of farmers, plays a key role in the diversification of local production and food systems, contributing to food security. However, important gaps in knowledge about plantain cropping systems are hindering the understanding of their contribution to the agroecological transition of farms. Farmers are also requesting more guidance from technical advisers and research. The aim of the work, presented in this article, was to co-design agroecological plantain cropping systems with farmers in order to fill this knowledge gap and to support local food systems. The co-design process was based on the characterization of the diversity of plantain farming systems, the evaluation of changes in practices implemented between 2017 and 2019, and the co-design of a system experiment. We identified six types of plantain farming systems defined by the role of plantain in the production strategy of the farm and a gradient of agroecology in plantain management practices. Our results also show progress toward agroecology between 2017 and 2019. Four innovative plantain cropping systems were designed based on a combination of existing knowledge held by farmers from the six types of farming systems. These results confirm that plantain cropping systems are contributing to the agroecological transition of farms in Guadeloupe and highlight that there are multiple possible agroecological transition pathways for plantain farmers. These results also provide a concrete example of integration of academic and non-academic knowledge for the co-design of agroecological systems.

Keywords Agroecology · *Musa* spp. · AAB · Participatory approaches · Guadeloupe · Solutions · Barriers · Trajectories
Co-design

1 Introduction

Agricultural systems worldwide are facing an increased demand for food under an accelerated degradation of ecosystems and exposition to climate risks. Agroecology is increasingly presented as a credible practice, science, and movement to cope with these challenges (Wezel et al. 2020). Agroecology is defined by a set of biophysical principles such as enhancement of biodiversity, recycling of biomass and nutrients, and efficient use of natural resources as well as governance principles such as sustainable governance of natural resources and co-creation of knowledge. These principles can be applied from crop level to the entire food system (Gliessman 2016; Wezel et al. 2020).

There are two main pathways for agroecological transitions. The first is a weak agroecological transition based on

* Marie Bezard
marie.bezard@inrae.fr

¹ UE PEYI, INRAE, F-97170 Petit Bourg, Guadeloupe, France

² Social, Economics and Geographical Sciences Group, The James Hutton Institute, AB15 8QH Aberdeen, Scotland

³ UR ASTRO, INRAE, F-97170 Petit Bourg, Guadeloupe, France

⁴ UR Ecodéveloppement, INRAE, F-84914 Avignon Cedex 9, France

⁵ UMR Innovation, CIRAD, F-97130 Capesterre-Belle-Eau, Guadeloupe, France

⁶ INNOVATION, Univ Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agro, F-97130 Capesterre, Guadeloupe, France

a search for higher efficiency or the substitution of mineral fertilizers by organic ones yet does not break with dependence on purchased fertilizers and pesticides. The second is a strong agroecological transition based on the enhancement of biodiversity and ecological processes in agricultural systems (Duru et al. 2015a, b; Horlings and Marsden 2011). This second pathway calls for the exploration of radical innovations (Martin et al. 2013).

Co-design approaches in agronomy aim to support farmers in the design of innovative practices, with a combination of practices at crop, farm, or territory scales, including the design of innovative decision support systems. They may be led by the farmers themselves or by researchers engaged in a participatory process. They are based on a diagnosis of the objectives of the farmers and the problems they face (Le Gal et al. 2011; Meynard et al. 2012; Duru et al. 2015b). From a researcher's perspective, co-design approaches help to identify the diversity and performance of farmers and techniques being implemented, based on the farmers' own creativity. From a farmer's perspective, such co-design approaches support network building and technique/technology co-development. It also makes it possible to design systems in synchrony with the environment and knowledge of farmers (Geilfus 2008).

There are diverse design theories, but they share similar concepts, namely the designation of the object of transformation, the choice of specific goals, and the identification of intended users of possible solutions resulting from the design process (Martin et al. 2013). Meynard et al. (2012) described two ways of designing agricultural systems: the improvement of existing systems (rule-based design) and innovation (innovative design). Rule-based design mobilizes existing knowledge for problem solving (Le Masson et al. 2006), while innovative design opens up the field of possibilities by using stakeholders' creativity.

The co-design of innovative farming systems is generally based on a description of existing farming systems and the exploration of new systems using prototyping, modelling, focus group discussions, and/or experimental stages, such as system experimentation, to assess the achievement of assigned objectives (Giller et al. 2008; Meynard et al. 2012). Design workshops are key elements in the co-design of agricultural systems with actors. Jeuffroy et al. (2022) identified four main axes to be considered: (i) the design target, (ii) the choice of participating actors, (iii) the knowledge sharing, and (iv) the sequencing of the workshop meetings.

Various authors have described the main characteristics of co-design processes used to support agroecological transitions (Duru et al. 2014, 2015b, a; Berthet et al. 2016). Given the transdisciplinary nature of agroecology that integrates academic and non-academic knowledge to understand and build complex agricultural systems (Montenegro de Wit and Iles 2016; Wezel et al. 2020), one of the main challenges

in these approaches lies in the consideration of scientific and endogenous knowledge to design innovative systems (Berthet et al. 2016). This integration of knowledge is crucial for under-researched crops that are not supported by public policies although they play a key role in local food systems.

In the French West Indies, there is growing interest on the part of both policy-makers and consumers to develop local and agroecological food systems in regions dominated by export-oriented agricultural systems (mainly banana and sugarcane). This interest follows a major scandal linked specifically to the use of a remnant pesticide, chlordecone, an obsolete organochlorine insecticide and colorless solid, now banned worldwide, in export banana cropping systems that contaminated, in part, the food system (Cabidoche and Lesueur-Jannoyer 2011) of Guadeloupe. Recently, the Regional Council launched an agroecological plan (Regional Council 2020) aiming to support innovative projects favoring local food sovereignty based on the agroecological principles of recycling, farm and food diversification, valorization of local knowledge, cultures, and circular economies to meet the interests of civil society (Barlagne et al. 2015). In Guadeloupe, plantain (*Musa* spp., AAB) is a food crop used for cropping system diversification, which plays a key role in the local food system, as it is strongly anchored in the traditional diet (Fréguin-Gresh et al. 2020). However, despite the importance of plantain for the Guadeloupean diet and agriculture and important research and development programs on plantain in other tropical areas (Côte et al. 2010; Dépigny et al. 2018, 2019), in Guadeloupe, the crop has been under-researched and poorly supported by agricultural policies compared to export (Ozier Lafontaine et al. 2018). The studies that have been carried out have been exploratory and have highlighted the great diversity of farming systems growing plantain with practical and experiential knowledge on plantain cropping practices (Forite 2011; Ogisma 2011; Delone 2014; Bezard 2017; Morin 2019) (Fig. 1). Farmers are now asking for more support from research and development actors, to develop their plantain cropping systems to meet local demand.

Given the scant scientific research on plantain cropping systems and the increasing demand from policy-makers and civil society to develop under-researched crops dedicated to the local diet following agroecological principles, this work aimed to co-design innovative agroecological plantain farming systems that integrate knowledge held by farmers on plantain cropping systems.

To achieve this objective, we characterized the diversity of existing plantain farming systems in Guadeloupe (in the two main islands, Basse-Terre and Grande-Terre), we analyzed the evolution of plantain cultivation practices between 2017 and 2019, and we co-designed alternative systems with farmers through a series of structured interviews and focus

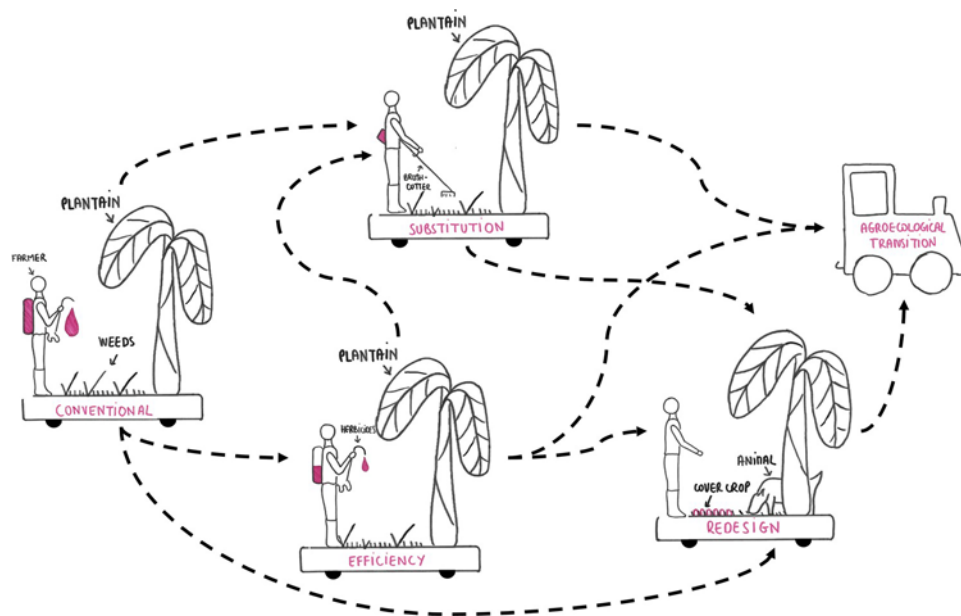


Fig. 1 Plantain farmers in Guadeloupe are engaged in a diversity of pathways along an agroecological gradient compared to conventional practices used in export farming systems with subsidized purchased inputs. In this figure focusing on the farm scale, weed management illustrates the transition from conventional management using herbicides toward more agroecological practices. The arrows illustrate the diversity of transition paths. It is not always a gradual pathway; it is possible to move directly from conventional to redesign or to substi-

tion or from efficiency to redesign. At the efficiency level, herbicides continue to be used, but in reduced amounts and more effectively (optimal doses). At the substitution level, the farmer replaces herbicides with a brushcutter. The redesign level involves an animal and the implementation of a cover crop for weed control. Other sociotechnical changes are involved at food system and global scales (authors' elaboration)

groups. We discuss the contribution of this work to the literature on the integration of farmers' and scientists' knowledge for the co-design of agroecological systems.

2 Materials and methods

2.1 Case study

Guadeloupe is a French overseas region in the Caribbean (16° 15' N, 61° 35' W) (Fig. 2A), composed of two major islands, Basse-Terre and Grande-Terre, the study areas, and several smaller islands (Marie Galante, Saintes, Désirade, and Petite Terre) (IEDOM 2021).

Agriculture in Guadeloupe is still widely dominated by two export monocrops (sugarcane and Cavendish banana) (Agreste 2020). The historical area of export banana production known as the banana belt (in French the “croissant bananier”) is in the southeast of Basse-Terre on fertile nitisols (Lucien Brun 2014; Sierra and Desfontaines 2018). Sugarcane is grown in two different areas: North Basse-Terre on ferralsols and Grande-Terre on vertisols, the latter characterized by a limited availability of water for crops (Lucien Brun 2014). Diversified agriculture (livestock farming, food crops such as plantain, etc.) is present throughout

the territory and is intended for the local market (Agreste 2020) (Fig. 2B).

According to the Ministry of Agriculture, plantain is among the crops intended for local markets and is grown on 120 hectares, with a total production of 1116 tons of green bananas (Agreste 2020). In Guadeloupe, many farmers, and particularly those growing crops for the local market, are not officially registered as farmers (Andrieu et al. 2022). Since these crops are poorly supported by public services, and because most farmers engage in multiple economic activities, the farmers tend not to declare themselves as farmers and fail to be registered in national statistics. Consequently, 120 hectares is probably an underestimate of the actual plantain production. Plantain is produced on vertisols, nitisols, ferralsols, and andosols. The latter are particularly fertile (Sierra and Desfontaines 2018).

2.2 A three-step methodological approach

The methodological approach used to co-design plantain cropping systems was based on three steps (Table 1): (i) analyzing the diversity of plantain farming systems, (ii) analyzing changes in plantain production practices between 2017 and 2019 (years when the surveys were conducted), and (iii) co-designing workshops to define alternative systems

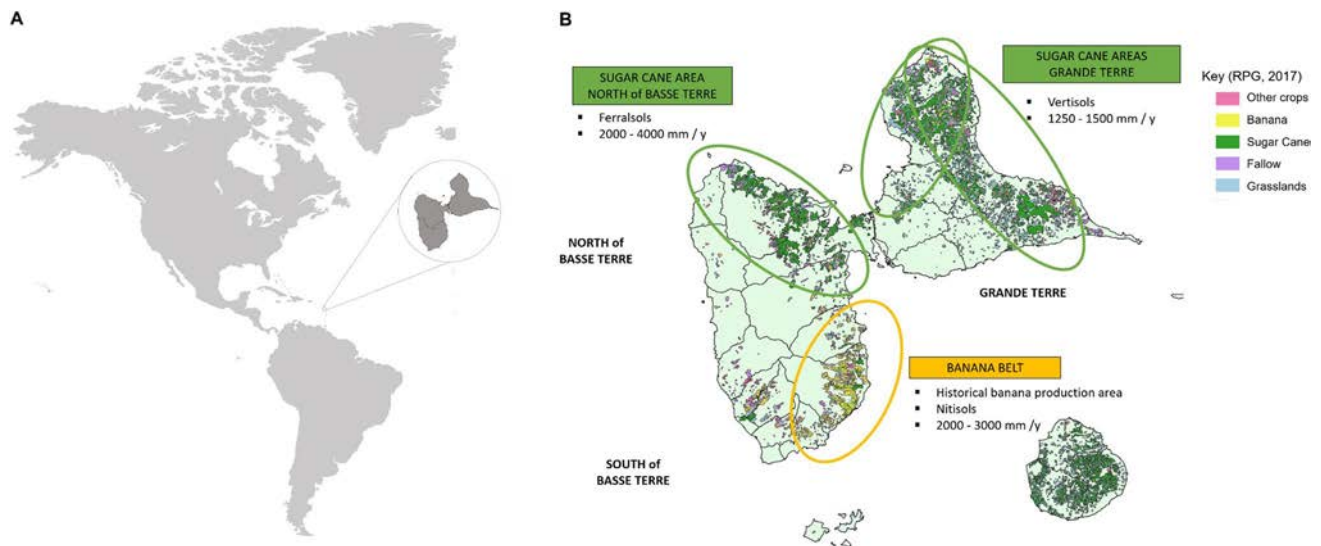
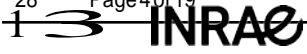


Fig. 2 **A** Guadeloupe location. **B** Export crop areas in Guadeloupe are in South Basse-Terre for export banana and in North Basse-Terre and Grande-Terre for sugarcane with various agropedoclimatic contexts. Diversified agriculture is not linked to a specific area. On this map, only export crops (banana and sugarcane) have been represented since they are the best described in official statistics. The latter do not offer information on the location and surface area of plantain, which

is included in a “Creole banana” category (which does not allow to discriminate the plantain). There is no agricultural production in central Basse-Terre as it is occupied by a National Park (authors’ elaboration based on data from the “*Relevé Parcelaire Graphique 2017*”, Direction de l’Alimentation, and de l’Agriculture et de la Forêt, Guadeloupe)

Table 1 Mixed research methods were used to understand the diversity of agroecological pathways in plantain farming systems in Guadeloupe in a three-step approach

Steps	1. Analyzing the diversity of plantain farming systems	2. Analyzing the evolution of plantain production practices between 2017 and 2019	3.1. Co-designing alternative plantain cropping systems	3.2. Co-designing alternative plantain cropping systems
Years	2017	2019	2019	2021
Methods	Semi-structured interviews Snowball sampling	Semi-structured interviews	2 rounds of focus groups (in 3 different locations to favor farmers’ participation) to co-design cropping systems Qualitative discourse analysis	1 focus group to discuss the barriers to the implementation of the new cropping systems proposed
Sample	41 farmers (initial sample)	29 farmers (18 from the initial sample)	15 farmers for each round (30 in total)	9 farmers
Stakeholder group in charge of the step	Research team	Research team	Farmers and the research team (facilitators)	Farmers and the research team (facilitators)
Variables	Role of plantain in the production strategy Commercialization strategies	Plantain production practices	Plantain plot plans Plantain production practices Barriers and solutions to plantain production	Types of plantain farmers Types of barriers Types of solutions
Outputs	Typology of plantain farming systems Statistical analysis	Typology update Graphic and statistical analysis	Alternative cropping systems Categorization of barriers and solutions to plantain production	Analysis of the barriers and solutions to plantain production A system experiment tested on-station



(Deytieux et al. 2012; Harvard et al. 2017) and to analyze with farmers the associated barriers and solutions. In this work, the first two steps aimed at establishing a diagnosis of existing agroecological transitions or barriers faced by individual farmers to transition toward more agroecological systems based on a description of current plantain farming systems and practices along an agroecological gradient, and the third step aimed to collectively co-design innovative agroecological plantain cropping systems (Jeuffroy et al. 2022). Such sequential steps based on the characterization of current practices, the understanding of the performances of cropping systems, the exploration, and implementation of new cropping systems are similar to the ones proposed in the DEED (describe, explain, explore, (re)design) methodology (Giller et al. 2008).

2.2.1 Analyzing the diversity of plantain farming systems

The objective of this first step was to analyze the diversity of plantain farming systems. Semi-structured interviews were conducted in 2017. Farmers previously surveyed and willing to be re-surveyed were engaged in the sampling (Forite 2011; Ogisma 2011). Since many farmers are not registered on public administration lists because they are not formally considered to be farmers, we used a snow-ball sampling approach (meaning that a first survey was used to identify more farmers to be surveyed, (Reed et al. 2009)) to identify at least one farmer per agroecological zone of Guadeloupe (Mantran et al. 2017). In 2017, 41 semi-structured interviews were conducted, followed in 2019 by 29 interviews (including 18 from the 2017 sample), for a total of 52 farmers interviewed. We only surveyed plantain farmers who were the owners. We did not include export banana workers, who also produce plantain in remote areas of Cavendish export farms, because they did not want to be surveyed.

A typology of plantain farming systems was constructed in two stages considering different time and space scales: (i) the description of the role of plantain in the production strategy and (ii) the evaluation of the agroecological gradient of plantain cropping systems based on the production practices in 2017 for the different production strategies. The description of the role of plantain in the production strategy of the farm was based on the description of the dominant crop and the year that plantain had been introduced. The efficiency-substitution-redesign (ESR) framework defined by Hill and MacRae (1996) is often used to describe a gradient of agroecological practices at field and farm scales. Gliessman (2016) proposed adding the food systems scale to the latter two scales. The ESR grid highlights gradual steps of transition corresponding to the following: (i) increasing the efficiency of conventional or industrial practices to reduce the use of expensive and environmentally harmful

inputs, (ii) replacing industrial or conventional practices with alternative practices in substitution to expensive and environmentally harmful inputs, and (iii) redesigning the agroecosystem based on ecological processes to promote internal synergies and recycling of biomass and nutrients. We used the ESR framework to assess the gradient of agroecology of plantain production practices described by farmers. For this, we evaluated five plantain production practices: (i) fertilizer application, (ii) weed management, (iii) pest and disease management, (iv) crop diversity (including crop rotation and crop combinations), and (v) irrigation. For each production practice, the minimum score (0) corresponded to conventional practices characterizing export banana systems in 2017, while the maximum score (4) corresponded to the most agroecological practices found during the interviews (Table 2). The maximum score for irrigation was 2 since only three practices were observed during the surveys. The total score was obtained by summing all five practice scores. The highest possible score was 18 while the lowest was 0. The median was 9. We then categorized the practices of the farmers into “high agroecological level” or “low agroecological level” according to the total score obtained. High agroecological level corresponded to a total score higher than 9 (equivalent to the substitution and redesign levels in the ESR framework), and low agroecological level corresponded to a total score between 0 and 9 (equivalent to the efficiency level or lower).

Each interviewee was asked about their commercialization strategies. Two possible strategies were identified, namely pricing strategies and non-price competition strategies. We defined pricing strategies as strategies to maximize plantain yield, minimize production costs, and sell large volumes through cooperatives, whereas non-price competition strategies distinguish the product by its quality, integrate the mode of production, sell small volumes of higher quality products.

To compare the significance of differences of practices between farmers' strategies, we used a Kruskal-Wallis test. This nonparametric test renders it possible to compare means between groups when there are over two categories, the data does not follow a normal distribution, and the variances are unequal. We then performed a non-parametric post hoc test (Munzel and Hothorn 2001) to make a pairwise comparison of significant differences. Statistical analyses were performed with R software (R Core Team 2022).

2.2.2 Analyzing the evolution of plantain production practices between 2017 and 2019 (29 farmers)

A second series of field surveys was conducted in 2019 to characterize changes in plantain production practices since 2017 and their drivers (*i.e.*, conjunctural drivers linked to

Table 2 The calculation of the gradient of agroecology for plantain practices was based on the efficiency-substitution-redesign ESR framework for five production practices. For fertilizer applications, recommendations for conventional practices were to apply 100 g (of mineral fertilizers) per plant and per month (which corresponds to the 0 score)

ESR framework	Conventional	Efficiency	Redesign
Agroecological score	0	1	4
Fertilizer application	1.2 kg mineral fertilizer/plant/year	0.6 kg mineral fertilizer/plant/year	0.1 kg mineral fertilizer/plant/year
Weed management	Herbicides only	Herbicides + mechanical control (brushcutter and/or tractor)	Mechanical control (brushcutter and/or tractor) + manual mulching, etc.)
Pest and disease management (out of crop rotation)	Fungicides only	Fungicides and leaf removal	Alternative controls only (pheromone traps, ashes, neem decoction, and leaf removal)
Crop diversity (including crop rotation and inter-cropping)	Number of crops = 1 or fallow < 6 months	Number of crops = 2–3 or fallow from 6 to 12 months	Number of crops = 4–6
Irrigation	Irrigation (in response to a water deficit)	Irrigation (in response to the observation of water stress on the plant)	Number of crops = 7–9 Number of crops = 10 or more or fallow of more than 12 months

climatic conditions or more strategic drivers). In total, 29 farmers were interviewed, including 18 from the initial sample. Their production practices were assessed based on the evaluation framework used in 2017 (Table 2). For the new interviewees (11 farmers, identified by snowball sampling), their practices both in 2017 and 2019 were surveyed and assessed.

We compared the agroecological score for the five practices between 2017 and 2019 using the Wilcoxon signed rank test to compare the significance of differences. We chose this nonparametric test as we compared 2 years ($n = 2$), and the data are not independent (the same farmers were surveyed in 2017 and 2019).

2.2.3 Co-design of agroecological plantain cropping systems

Three rounds of focus groups were conducted (two in 2019 and one in 2021) in three locations to facilitate the participation of farmers from the different production areas of Guadeloupe (South Basse-Terre, North Basse-Terre, and Grande-Terre).

The first round of focus groups aimed at co-designing various plantain cropping systems. It involved 13 farmers from the initial sample and four new farmers who had heard about the exercise from the farmers who had been surveyed.

Two engineers, one technician, and one trainee facilitated the focus group. They first presented the results of the surveys from steps 1 and 2 to (i) collectively validate them and (ii) ensure knowledge sharing with farmers (Jeuffroy et al. 2022). They also shared information on the experimental station (soil type, surface, wind direction) where the most promising cropping systems would be tested.

In North Basse-Terre, farmers were split into two groups of four participants, and in Grande-Terre and in South Basse-Terre, four and five farmers participated, respectively.

The second round focused on co-designing the management practices associated with the cropping systems defined in the previous round and involved the 15 farmers who attended the first focus group. The focus group was facilitated by the same four facilitators. A qualitative discourse analysis was conducted based on the focus groups to identify and categorize the biotechnical and economic barriers to implementing innovative production practices in plantain production and the technical and organizational solutions that could potentially address them. An analytical framework was built as follows: the barriers were classified into four categories (technical, economical, sanitary, and other), and the solutions were classified according to the ESR framework (Hill and MacRae 1996). A solution was categorized in the efficiency or the substitution level if it involved a single

change of practice and in the redesign level if it involved a change in the entire cropping or production system.

The third focus group (in 2021) aimed at the following: (i) prioritizing the barriers and the solutions identified in 2019 and (ii) linking barriers, solutions, types of plantain farms, and context. The participants were identified by a specific color related to the type of plantain system they belonged to. After participants were given the opportunity to complement the list of barriers and solutions identified in 2019, they were asked to prioritize the barriers according to four modalities: (i) non-existent, (ii) minor (*i.e.*, a barrier that exists but that is not an obstacle to plantain production), (iii) medium (*i.e.*, a barrier that exists but is manageable), and (iv) major (*i.e.*, a barrier that is an obstacle to plantain production). Farmers then identified which solutions could address which barrier. To assess the importance of the solutions, their nature and frequency (how often they were chosen) were recorded.

During all of the focus group discussions, individual times of reflection preceded collective times to limit fixation effects (the exploration of a limited number of unvaried solutions) (Jeuffroy et al. 2022) and to allow farmers exploring a broad diversity of practices. Paper-boards were used to allow farmers to draw the cropping system they wanted to explore using their own representations.

3 Results and discussion

3.1 Characterization of plantain farming systems: production strategy, degree of agroecological transition, and marketing strategies

3.1.1 Three production strategies of plantain farms

Based on the dominant crop in the farm and the year of introduction of plantain, three main production strategies of plantain farming systems were defined as being derived from the following: (i) export banana farms (EB-strategy), (ii) sugarcane farms (SC-strategy), and (iii) diversified systems (D-strategy) (Fig. 3A).

Sixty percent of the EB-strategy farmers (13 farmers) stopped exporting Cavendish bananas and replaced this crop with plantain. None of the interviewees had grown plantain at the beginning of their careers. They explained that they chose plantain to replace Cavendish because the production practices were very similar to those applied to Cavendish (*e.g.*, fertilizer applications or weed management) but were less constraining because they did not need to meet export standards.

For the SC-strategy farms (22 farmers), sugarcane remained the most important crop (in terms of area), and plantain was introduced to diversify crops and incomes. For

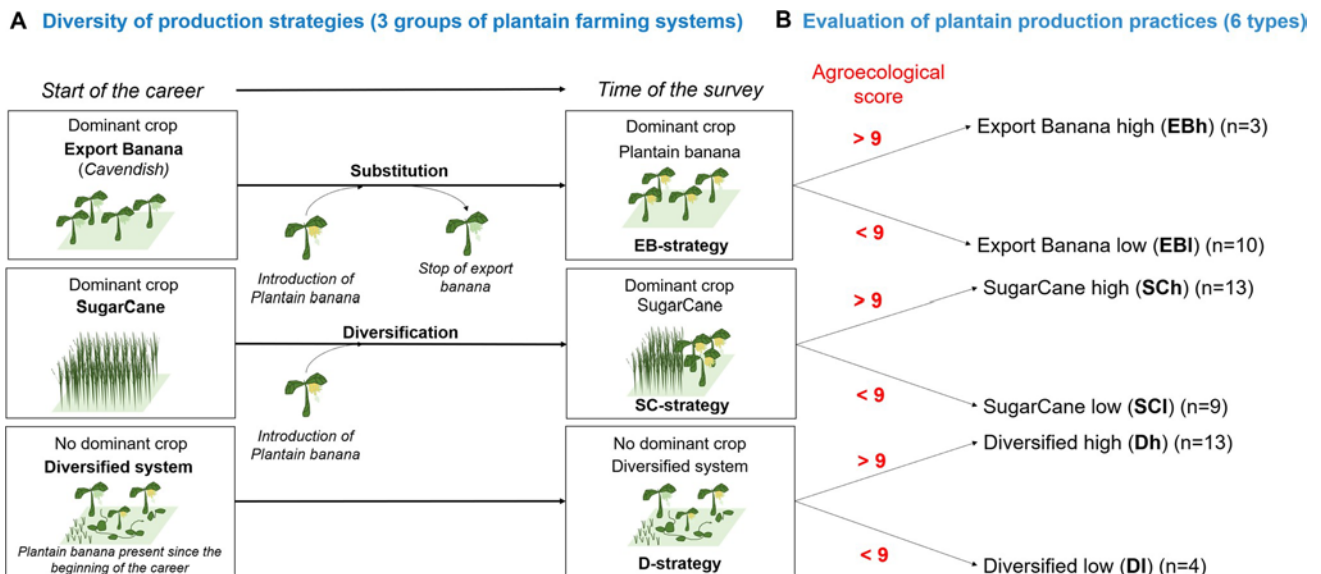


Fig. 3 Construction of the typology in two steps. **A** Three production strategies for plantain farming systems were defined according to the dominant crop and introduction year of plantain: systems that were (i) specialized in export banana (EB-strategy), (ii) specialized in sugarcane (SC-strategy), and (iii) diversified (D-strategy). **B** Six types of plantain farming systems were defined by intersecting the production strategies and the agroecological scores: farms having an export

banana strategy with a high score (EBh) (three farmers), farms having an export banana strategy with a low score (EBl) (ten farmers), farms with a sugarcane strategy with a high score (SCh) (thirteen farmers), farms with a sugarcane strategy with a low score (SCl) (nine farmers), farms with a diversified strategy with a high score (Dh) (thirteen farmers), and farms with a diversified strategy with a low score (Dl) (four farmers)

two thirds of the SC-strategy farmers, introducing plantain was a way to respond to incentives related to land reforms (Zébus 1999) or to respond to demands from local markets and/or cooperatives. The plantain farmers using this strategy were the only ones who did not grow plantain continuously, doing so only when the crop was deemed interesting due to high prices and good marketing opportunities. They tended to abandon plantain cultivation as soon as they estimated that it was no longer profitable. For example, 2021 was characterized by a surplus of plantain on the market and a subsequent drop in plantain prices. As a result, at least eight farmers in the sample (out of a total of 52 farmers from the 2017 and 2019) abandoned plantain production in 2021.

The last group of plantain farms (D-strategy) corresponded to diversified systems (17 farmers) in which plantain has been present since the beginning of the farm's history for the majority of the interviewees.

Banana and sugarcane export systems structure agricultural strategies in the French West Indies (Della Rossa et al. 2020; Fanchone et al. 2020). Here, we see that the role of plantain in cropping systems differs according to the level of the preponderance of these export crops in farming systems. This has also been observed in neighboring islands such as Dominica (Barclay et al. 2019).

3.1.2 Weak and strong level of agroecological practices associated with a specific marketing strategy

The characterization of the five plantain production practices highlighted a wide diversity and showed a varied commitment to agroecological transition depending on the type of farmer.

We found six plantain agroecological scores of plantain cropping systems: export banana high (EBh), export banana low (EBl), sugarcane high (SCh), sugarcane low (SCl), diversified high (Dh), and diversified low (DI) (Fig. 3B).

The characteristics of each type are presented in the Table 3.

The differences between the farmers' groups in 2017 were related to four practices: fertilizer application, weed management, pest and disease management, and crop diversity. Significant differences between groups are marked by an asterisk (*) in (Table 4, part A.) Posthoc tests provide a better understanding of where the significant differences lie. They have shown that for fertilizer applications, the differences were significant between Dh and DI, between Dh and EBl, between Dh and SCl, between DI and SCh, between EBl and SCh, and between SCh and SCl. For weed management, differences were significant between Dh and SCl, between DI and SCh, and between SCh and SCl. For pest and disease management, there were significant differences between EBh and EBl. For crop diversity, differences were

significant between DI and EBh and between DI and SCh (Table 4, part B).

There was a link between the farming system types and the marketing strategies. The types with a low agroecological score (EBl, SCl, DI) mostly had pricing strategies as defined in section 2.2.1 and chose cooperatives as their preferred marketing channel. This strategy implied the use of conventional production practices such as the use of pesticides and mineral fertilizers. On the other hand, the types with a high agroecological score preferred non-price competition strategies. Farmers with a high agroecological score sold their plantain via various short marketing channels (on the farm, basket delivery to consumers, on local markets, or specialized shops), which are less demanding in terms of volumes. Therefore, they did not aim at achieving high yields. On the contrary, the lower use of mineral fertilizers and pesticides was used as a marketing argument.

This diversity of marketing strategies can be linked to the absence of a structured market and probably to the large share of informal production. The diversity of marketing strategies highlights the adaptation of farmers to changing circumstances and to manage risk as highlighted in the analysis of Hansson et al., (2013). This adaptability is one pillar of agroecological systems that aim to diversify their livelihoods and strengthen links between producers and consumers (Wezel et al. 2016).

3.2 A shift toward more agroecological practices between 2017 and 2019

The agroecological score was compared in 29 plantain farming systems between 2017 and 2019. The score increased for the majority of the systems (16), remained the same for four systems, and decreased for nine (Fig. 4). The differences between 2017 and 2019 for each practice, regardless of the strategy, are not significantly different as shown by the Wilcoxon signed rank test (Table 5, part A). Looking at the practices separately, the differences are not statistically significant for five types: farms having an export banana strategy with a high agroecological score (EBh), farms having an export banana strategy with a low agroecological score (EBl), farms with a sugarcane strategy with a high agroecological score (SCh), farms with a diversified strategy with a high agroecological score (Dh), and farms with a diversified strategy with a low agroecological score (DI). The differences are statistically significant for the weed management for farms with a sugarcane strategy with a low agroecological score (SCl) (Table 5, part B).

Thus, the use of mineral fertilizers and pesticides decreased between 2017 and 2019 for each plantain farming system (Fig. 5). The farmers belonging to the types having a high agroecological score (EBh, SCh, Dh) explained this decrease by their increased awareness of the negative

Table 3 Characteristics of the six types of plantain farming systems: farms having an export banana strategy with a high agroecological score (EBh), farms having an export banana strategy with a low agroecological score (EBl), farms with a sugarcane strategy with a high agroecological score (SCh), farms with a sugarcane strategy with a low agroecological score (SCL), farms with a diversified strategy with a high agroecological score (Dh), and farms with a diversified strategy with a low agroecological score (DI). *Creole gardens are modelled after the former home gardens that enslaved persons, who worked on large export farms, once cultivated to meet their food needs. They are characterized by complex crop associations and high biodiversity and are now studied as models for agroecological practices (Chevalier 2017)

Type (agro-ecological score)	Fertilizer application	Weed management	Pest and disease managements	Crop diversity	Irrigation
EBh (12)	Organic fertilizers preferentially or combination of organic and mineral fertilizers (especially at the end of the cycle)	Mostly mechanical or manual weeding	Alternative methods (pheromones to trap weevils)	The majority of the farmers associated other crops with plantain	Mostly without irrigation (rainfed)
EBI (6)	Only mineral fertilizers	Herbicides	Fungicides to cope with cercosporiosis	Sole crop	Systematically for the majority
SCh (13)	Mineral fertilizers but in smaller quantities (between 100 and 300 g per plant and per year) and combined with organic fertilizers such as manure	Combination of herbicides (in and between the rows) and mechanical (brushcutter) or manual method	Most use leaf removal to control cercosporiosis, and only one used fungicide	The majority of the farmers associated other crops with plantain	Mostly without irrigation (rainfed)
SCL (6)	Mineral fertilizers (between 600 and 1200 g per plant and per year)	Herbicides (in and between the rows)	Fungicide only or combined with pheromones traps	Rotation with sugarcane	Systematic irrigation in the driest areas
Dh (14)	Very little use of mineral fertilizers (around 100 g per year and per plant) and always combined with organic fertilizers such as manure or vermicompost	Brushcutter mostly and manual management	Leaf removal and for some alternative methods such as decoction of plants (<i>e.g.</i> , <i>Azadirachta indica</i>) and ashes	Various associated crops as in the traditional creole garden (jardin créole in French)*	Mostly without irrigation (rainfed); none use systematic irrigation
DI (6)	Mineral fertilizers	Herbicides	Leaf removal	No associated crops but rotations with other diversification crops such as pineapple and vegetable (tomatoes, pumpkins, etc.)	The majority irrigates (systematically or according to the observation)

Table 4 (A) Kruskal-Wallis rank test of the differences between farmers' practices for each production strategy in 2017 and (B) post hoc test to identify where the significant differences lie. The farmers' strategies are farms having an export banana strategy with a high score (EBh), farms having an export banana strategy with a low score

(EBl), farms with a sugarcane strategy with a high score (SCh), farms with a sugarcane strategy with a low score (SCL), farms with a diversified strategy with a high score (Dh), and farms with a diversified strategy with a low score (Dl). Significant differences are marked by an asterisk (*)

A. Interaction practice strategy (practice: strategy)		P-value			
Fertilizer: strategy		<0.01*			
Weed management: strategy		<0.01*			
Pest and disease management: strategy		0.01*			
Crop diversity: strategy		<0.01*			
Irrigation: strategy		0.22			
B. Post hoc test		P-value fertilizer	P-value weed management	P-value pest and disease management	P-value crop diversity
Interaction					
Dh and Dl		0.00*	0.06	1.00	0.51
Dh and EBh		0.35	0.19	0.21	0.70
Dh and EBl		0.01*	0.08	0.20	0.89
Dh and SCh		1.00	0.53	1.00	0.94
Dh and SCL		<0.01*	0.04*	0.31	1.00
Dl and EBh		1.00	0.28	0.92	0.00*
Dl and EBl		1.00	0.99	0.87	0.99
Dl and SCh		0.01*	0.02*	1.00	0.01*
Dl and SCL		0.95	1.00	0.92	0.09
EBh and EBl		0.99	0.44	0.03*	0.17
EBh and SCh		0.45	0.96	0.21	0.99
EBh and SCL		1.00	0.06	0.06	0.55
EBl and SCh		<0.01*	0.14	0.20	0.16
EBl and SCL		0.87	0.71	1.00	0.75
SCh and SCL		0.03*	<0.01*	0.31	0.26

impacts of the use of mineral fertilizers and pesticides, whereas the others, belonging to the types having a low agroecological score, explained this decrease as a response to newly imposed regulatory constraints (for example a herbicide ban in October 2018). This is coherent with earlier work by Barlagne et al. (2016), who found that internal (*e.g.*, education, performance of the advisory services) and contextual (*e.g.*, evolution of the agricultural regulatory framework) drivers either enabled a smooth transition or coerced farmers into adopting agroecological practices.

The change in the agroecological score was high for the types with the lowest scores in 2017 (Fig. 4). The decrease between 2017 and 2019 of the average score for the SCh type, the only one for which the score decreased, was explained by farmers as a result of weather conditions. The year 2019 was drier than 2017, so farmers used more water, resulting in a negative impact on the agroecological score.

For Nicholls et al. (2016), the agroecological transition is the application of agroecological principles in a comprehensive manner rather than just the implementation of a set of agroecological practices. Implementing

agroecological practices alone would not allow the necessary systemic change. In this study, the farming system types with high agroecological scores were in an explicit transition toward agroecology with the associated systemic transformations of the farms, whereas the types with lower scores were only reacting to regulatory bans and substituting their conventional practices with alternative ones.

Events like regulatory changes can be related to “drivers of change” (Barlagne et al. 2016) and “triggering events” (Sutherland et al. 2012). As in this study, Sutherland et al. (2012) show that a major change occurs in response to a “triggering event.” If such events are absent, practices tend to be maintained or follow a similar trajectory over time. In the case of Guadeloupe, Barlagne et al. (2016) anticipated that these drivers of change would lead to two contrasting agricultural development pathways, one where Guadeloupean agriculture is on the decline because the farming sector has failed in adapting to change (and in particular, the need for more sustainable agricultural practices) and the other where a thriving farming sector has achieved a successful agroecological transition.

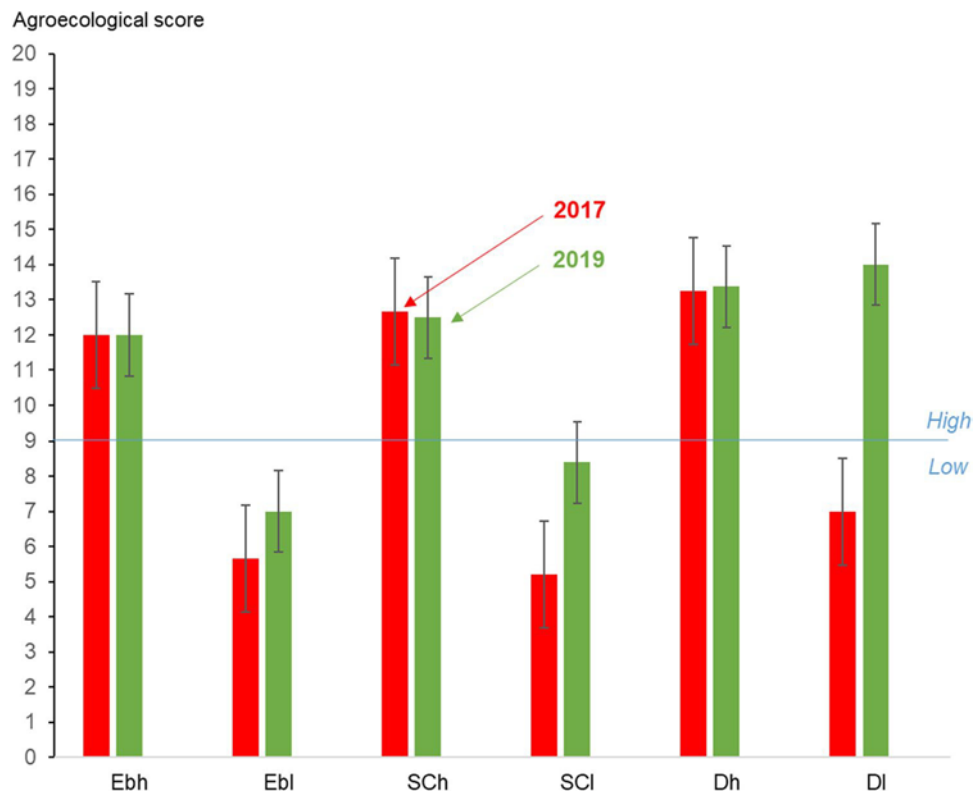


Fig. 4 Evolution of plantain practices between 2017 and 2019. The agroecological score of plantain practices between 2017 and 2019 evolved in different ways according to each type: farms having an export banana strategy with a high agroecological score (EBh) (three farmers), farms having an export banana strategy with a low agroecological score (EBl) (six farmers), farms with a sugarcane strategy with a high agroecological score (SCh) (six farmers), farms with a sugarcane strategy with a low agroecological score (SCl) (five farm-

ers), farms with a diversified strategy with a high agroecological score (Dh) (eight farmers), and farms with a diversified strategy with a low agroecological score (DI) (one farmer). It increased for EBh, SCh, Dh, and DI; decreased for SCh; and stagnated for EBh. The error bars correspond to the standard error which is the standard deviation divided by the square root of the total number of samples (number of farmers). The standard deviation is calculated from the agroecological score of each practice

Table 5 (A) Wilcoxon signed rank test of the differences between 2017 and 2019, regardless of the strategy. (B) Wilcoxon signed rank test of the differences between 2017 and 2019 for each practice and for each type. The differences are not statistically significant for five types: farms having an export banana strategy with a high agroecological score (EBh), farms having an export banana strategy with a low agroecological score (EBl), farms with a sugarcane strategy with

a high agroecological score (SCh), farms with a diversified strategy with a high agroecological score (Dh), and farms with a diversified strategy with a low agroecological score (DI). The differences are statistically significant for the weed management for farms with a sugarcane strategy with a low agroecological score (SCl). Significant differences are marked by an asterisk (*). NA corresponds to the values not available (when the data are ex aequo between the 2 years)

A. Practices regardless of strategy		P-value					
Fertilizer		0.08					
Weed management		0.17					
Pest and disease management		0.22					
Crop diversity		0.62					
Irrigation		0.42					
B. Practice		P-value EBh	P-value EBl	P-value SCh	P-value SCl	P-value Dh	P-value DI
Fertilizer		0.37	0.05	0.87	0.13	0.82	1.00
Weed management		0.20	0.65	0.23	0.02*	0.61	1.00
Pest and disease management		NA	0.65	0.24	0.66	0.35	NA
Crop diversity		0.11	1.00	0.40	0.91	0.59	1.00
Irrigation		1.00	0.59	0.34	1.00	0.70	NA

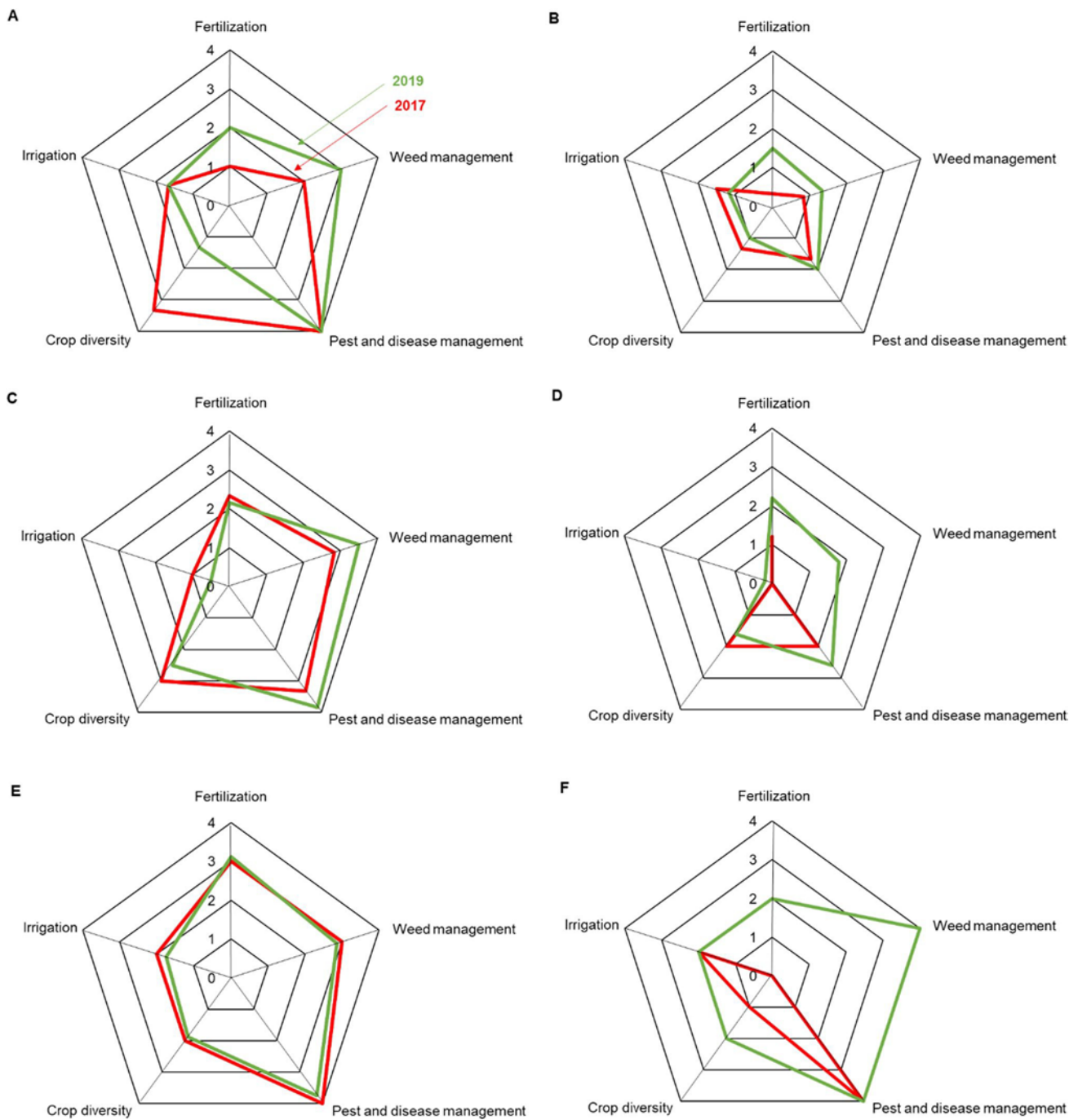


Fig. 5 Evolution of agroecological score of plantain practices between 2017 and 2019. The agroecological score evolved in different ways according to each practice (fertilization, weed management, pest and disease management, crop diversity, and irrigation) of each type: **A** farms having an export banana strategy with a high agroecological score (EBh), **B** farms having an export banana strategy with a low agroecological score (EBl), **C** farms with a sugarcane strategy with a high agroecological score (SCH), **D** farms with a sug-

arcane strategy with a low agroecological score (SCI), **E** farms with a diversified strategy with a high agroecological score (Dh), and **F** farms with a diversified strategy with a low agroecological score (DI). The radar chart represents the evolution over time of the score of all studied quantitative variables (agroecological score) on individual axes (corresponding to all studied practices) starting from the same central point

The results also showed that the cause of the changes is explained differently by the farmers according to their type and, therefore, their trajectory.

3.3 Innovative plantain systems either part of strong or weak agroecological transition

3.3.1 Four innovative cropping systems

The first two rounds of focus groups held in three different locations led to the collective definition of four plantain cropping systems. Cropping systems 1 and 4 were the product of a consensus in the group that defined one system. In one group (the one held in North Basse-Terre), they defined two distinct cropping systems: cropping systems 2 and 3 (Table 6).

In the group that proposed the first cropping system, composed in a majority by EB-strategy farmers, they discussed the opportunity to compare the performances of vitroplants and the PIF (Plant Issus de Fragments de tige) method (Kwa 2003), which is a technique for on-farm sanitation and multiplication of plantain plants. This method was assessed in Cameroon, and results showed that the plants produced with the PIF technique had the same agronomic quality as vitroplants (Sadom et al. 2010). The PIF technique has very low production costs, but vitroplants guarantee a lower health risk (Sadom et al. 2010). Vitroplants are commonly used in export banana systems, and EB-strategy farmers are accustomed to use this kind of material. However, the use of vitroplants in plantain systems was new in 2019 in Guadeloupe, although adopted in other countries such as Cameroon (Youmbi et al. 2005). Eleven pilot farms were testing plantain vitroplants as part of a research project conducted between 2017 and 2019 that assessed plantain yields during four successive plantain production cycles after vitroplant introduction. One farmer involved in the experiments was present at this focus group and able to share the results. Using the PIF method was suggested by the D-strategy farmers of the group. The method was new for these farmers but was already being implemented by other farmers

of Guadeloupe who were not present in this group. This comparison between PIF and vitroplants was also discussed in the group that proposed cropping system 4. In this case, farmers wanted to compare a method already implemented by “banana professionals” (vitroplants), which they never used themselves with another method that, according to them, could respond locally to a lack of healthy plants (PIF method).

In the four plantain cropping systems, farmers associated other marketable crops (such as peas, malanga, sweet potatoes, cucumbers, and peppers) with plantain. The rationale was to ensure a quick cash flow while waiting for the plantain bunches to be harvested and to cope with the uncertainty of commercialization (due to uncertain markets or climatic hazards), a barrier common to all of the farming system types and specifically critical in crops that take almost a year to produce. Associating crops was not an innovative practice for Dh farmers who already do so in their systems, but it was an innovative practice for EB-strategy farmers (especially the EBI type) whose cropping systems are mostly based on monocropping. This latter group of farmers probably maintains conventional monoculture systems today; since as Barbosa et al. (2016) showed in Brazil on Prata Ana banana (*Musa* spp., AAB), these systems have the highest yields and the best economic viability. However, they do not allow quick cash flow, which is an important criterion for many farmers to secure their income.

In terms of spatial design, farmers chose a double row system with one wide row spaced far enough apart to maximize yield and production costs, as done in export banana systems (Kesavan et al. 2002). Farmers who proposed cropping system 2 (mainly D-strategy farmers) chose to increase the space between rows, mostly to facilitate weed management with tractors. This practice was new for farmers who use herbicides, but not for those who use a compact tractor on their farms.

The type of nutrient supply chosen during the co-design was also linked to the type of farmers present in the group. In three of the cropping systems, farmers chose local organic fertilizers. In cropping system 4, because all participants

Table 6 Main characteristics of the four cropping systems defined collectively. The Blanche variety corresponds to the French Clair type and the Corne, Mbouroukou, and the Domenico-Hartón Enano

System	1	2	3	4
Plantain variety	Blanche	Blanche/Corne/Mbouroukou	Blanche/Corne/Domenico-Hartón Enano	Blanche
Plant preparation	PIF vs. vitroplant	PIF	PIF	PIF vs. vitroplant
Crop association	Yes	Yes	Yes	Yes
Rows	Double	Simple	Double	Simple
Fertilizer	Mineral	Local organic	Local organic	Local organic
Irrigation	Yes	No	No	Yes

to the Faux Corne type (Scherschel 2017). The PIF (Plant Issus de Fragments de tige) method is a technique for on-farm sanitation and multiplication of plantain plants

had livestock, the choice was manure. For cropping systems 2 and 3, farmers chose manure as an amendment and vermicompost as a fertilizer. Using vermicompost was new. The proposal to produce and use vermicompost was a recurrent topic mostly proposed by the research center and associations promoting agroecological practices in the Caribbean to have access to fertilizers at local level. However, in Colombia, the second-largest plantain producer in the world, the use of vermicompost is more related to nematode management (Bautista M. et al., 2015; Martha Marina Bolaños Benavides et al. 2020) than to fertilizer application. In cropping system 1, farmers chose mineral fertilizers that they already mostly use.

In the group that proposed cropping system 4, the participants chose to irrigate to cope with a lack of water. This choice to include an irrigation system was linked to the drought intensity in the area (Mantran et al. 2017). The group that proposed cropping system 1 also chose irrigation, but in this case, it was related less to a proven constraint in their cropping area than to the fact that they already had access to irrigation.

The cropping systems proposed by farmers considered the structural characteristics of farms (*e.g.*, presence or not of animals in the farm), biophysical constraints (*e.g.*, disease or drought), technical constraints (*e.g.*, space for weed management), environmental constraints (*e.g.*, soil leaching), but also economic constraints (*e.g.*, uncertainty of commercialization), highlighting the systemic vision they had in the design process.

Discussions between farmers with the research team made it possible to identify innovative practices, such as the use of animals for weed management. However, such innovative practices were not chosen in the final designs presented in Table 6. During the consensus-building process that aimed to select the most promising alternative plantain cropping systems, farmers mostly chose practices and designs they believed would be both successful (with an almost certain probability of success based on their personal experience and/or their exchanges with other farmers) and able to alleviate the constraints identified. Relying on farmers' knowledge and experience to weight the available options and select the one with the highest chances of success and/or the most able to address the identified constraints is characteristic of a rule-based design as defined by Meynard et al. (2012). It can lead to fixation effects (Jeuffroy et al. 2022), but putting together farmers from diverse types engaged in various pathways toward agroecology limited these effects.

Among all of the groups, the one that proposed a cropping system that differed most from the farmers' current practices was the group that proposed cropping system 4. Farmers decided to introduce trees into the system to limit soil leaching. Meanwhile, the group that proposed cropping system 1 was very inspired by changes implemented

in the banana export systems. Angeon and Bates (2020) highlighted the technology package logic that was encountered with the EB-strategy farmers with this preference for imported resources that may be eligible for subsidies such as vitroplants. However, over the past decade, the banana export sector has implemented its own agroecological transition due to the scandal (Risède et al. 2018) associated with the decade-long use of chlordecone. It consequently makes sense to replicate some of the agroecological practices that are used in Cavendish systems in plantain cropping systems. Furthermore, at territorial scale, synergies could be found with Cavendish systems and the various plantain systems to close possible nutrient gaps.

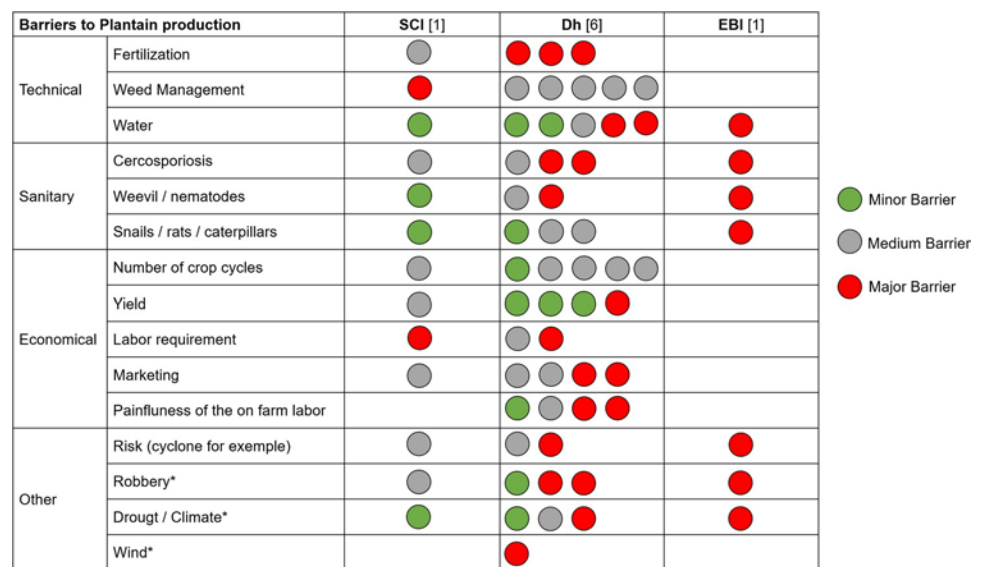
In this process, the cropping systems designed were mostly a mix of common practices and new ones already implemented by innovative farmers. Trust in personal experience and in other farmers considered as "experts" played a central role in the choice of these practices. The central place of trust in innovation adoption, linked to geographic proximity, was identified by Ramírez-Gómez et al. (2020).

Farmers were able to ask their own questions regarding the performances of these practices to these experts. Montenegro de Wit and Iles (2016) argue that non-academic knowledge and expert testimony should be better valued in protocols aiming to produce evidence in agroecology. Due to the lack of research on plantain cropping systems in Guadeloupe, scientists were not always able to answer certain questions. The research team specifically provided scientific knowledge on how to implement PIF. Additionally, the research team proposed methods and tools to evaluate existing practices along an agroecological gradient, facilitate knowledge exchanges between farmers, and support them to design by themselves innovative cropping systems addressing their constraints. For Chizallet et al. (2020), the role of scientists in such processes is to equip (with frameworks and tools) the farmer, who is a non-professional designer. Here, the research team equipped farmers already engaged in an agroecological transition. According to the ladder of participation defined by Arnstein (1969) and Geilfus (2008), that goes from a passive posture to a personal development posture, this process was between functional participation, as the objective of the project was pre-established (co-designed agroecological plantain systems), and interactive participation, as the farmers themselves evaluated the systems.

3.3.2 Barriers and solutions to implementing agroecological cropping systems

The last focus group made it possible to focus on the barriers to implementing agroecological cropping systems and consequently on constraints not always considered in the design of the four cropping systems.

Fig. 6 The participants of the 2021 focus group prioritized barriers. The barriers with * correspond to the barriers added by the farmers before the prioritization: farms with an export banana strategy and a low agroecological score (EBI), farms and sugarcane strategy with a low score (SCI), and farms with a diversified strategy and high score (Dh). Labor requirement corresponds to the working duration while the painfulness of the on-farm labor corresponds to the hardness of the task



The commercialization/marketing barrier was common to the three focus groups but appeared as a major barrier for D-strategy farmers who are less involved in structured organizations. The EB-strategy farmers who were mostly members of a cooperative of farmers that supports commercialization did not see marketing or commercialization as a barrier even though this was mentioned in 2019 (Fig. 6).

As for commercialization, constraints related to weevils (*Cosmopolites sordidus*) and nematodes (*Radopholus similis*) were common to all focus groups because they depend on the sanitary state of plants and the soil (Gold et al. 2001; Haegeman et al. 2010). In Guadeloupe, nematodes were identified as the major pest on plantain (Rhino et al. 2010) associated with the lack of production and access to healthy plants (Delone 2014). However, weevil and nematode constraints appeared to be greatest for diversified (Dh) and export banana type (EBI) farmers (Fig. 6). Possible reasons why this is not a major barrier for the sugarcane type (SCI) may be explained by (i) the recent introduction of plantain in their cropping systems, and therefore probably low weevil pressure, and (ii) the sanitizing character of sugarcane, which leads the crop rotation, in relation to soil pests.

Nutrient supply was another common barrier for all of the focus groups in 2019. As for the commercialization/marketing barrier, it was not mentioned by the EB-strategy farmers in 2021, for the reasons explained above, and appeared as a major barrier for the D-group farmers. EB-strategy farmers' better access to inputs via the cooperative also probably explains why this was not a barrier.

Some of these barriers were specific to a given location, and this is the case for irrigation in North Grande-Terre and cercosporiosis, which is a disease only mentioned in the Basse-Terre groups where the humidity is high (Mantran et al. 2017). It is caused by *Mycosphaerella fijiensis*, a

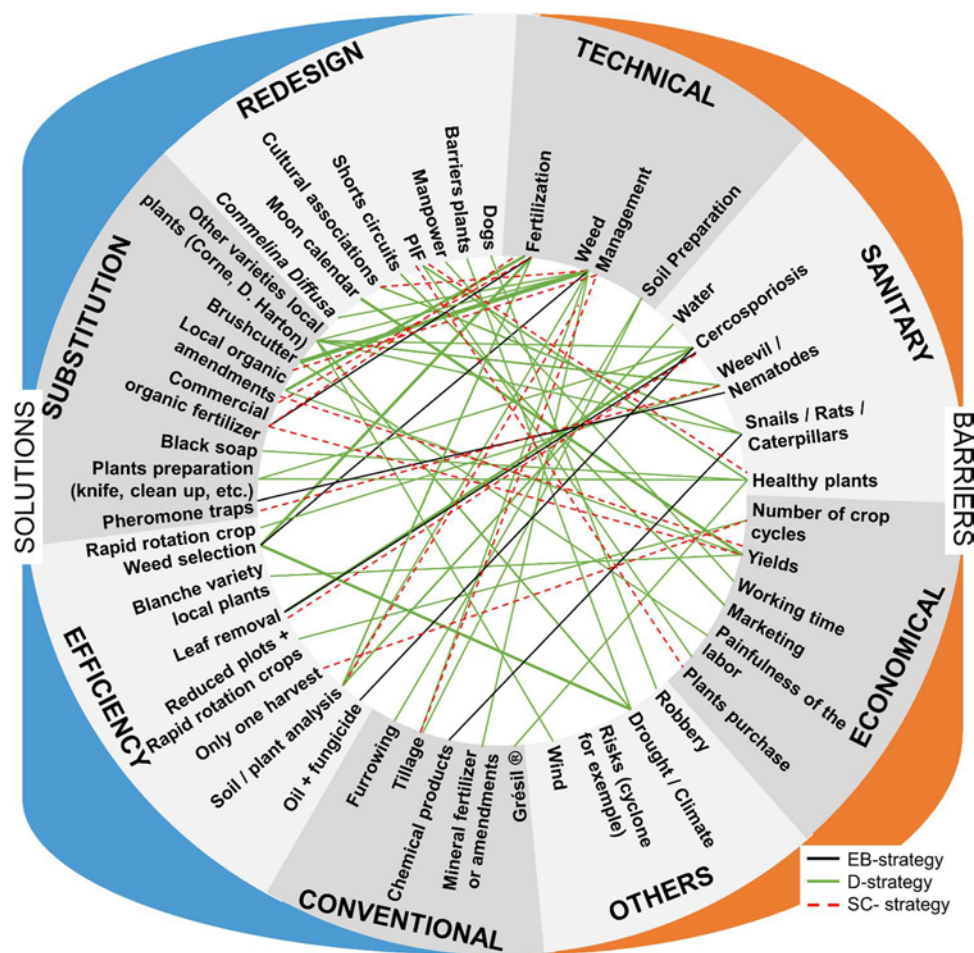
fungus that spreads quickly under high humidity conditions (Kwa and Temple 2019).

A gradient of agroecological solutions was mentioned, ranging from those favored by export banana type farmers interested in technological packages (vitroplants, commercial imported inputs, etc.) eligible for subsidies, to those favored by farmers who were very committed to transforming their farms based on agroecological principles (local compost, knowledge of the environment, etc.). The most agroecological systems were those that relied the most on local resources and which were the least subsidized and/or technically supported. This gradient was also present in the marketing channels, ranging from marketing via cooperatives for those implementing technological package systems to direct sales on farms for the most agroecological systems. Various authors highlight the importance of territorial anchorage to move toward more agroecological systems (Duru et al. 2015b; Thénard et al. 2021).

The type with the highest agroecological score (Dh) also proposed the most agroecological solutions (redesign solutions). A set of redesign solutions involving the entire cropping systems or farming system was mentioned by D-strategy farmers (Fig. 5), such as the PIF method (Kwa 2003) and the use of *Commelina diffusa*, a cover crop, to cope with weed management. These were also mentioned by SC-type farmers, but not by EB-type farmers.

The number of substitution solutions mentioned was almost equivalent to the number of redesign solutions (Fig. 7). The solution that was the most frequently mentioned (6 times) was the use of a brushcutter to deal with weeds, a technique increasingly used in various cropping systems, including Cavendish banana systems. It was mentioned by the D and SC-strategy farmers. D-strategy farmers identified the choice of other plantain varieties as a solution

Fig. 7 The links between the agroecological barriers (in orange), the solutions (in blue), and the types of plantain farming systems were analyzed in the efficiency-substitution-redesign ESR framework (Hill and MacRae 1996). The intensity of the link corresponds to the number of times the lever was mentioned to cope with a barrier (the more farmers chose it, the thicker the link). The EB-strategy corresponds to the export banana strategy (black line), the D strategy to the diversified strategy (green line), and the SC-strategy to the sugarcane strategy (red dashed line). In the redesign solutions, PIF corresponds to the PIF (Plant Issue de Fragments de tige) method, a technique for on-farm sanitation and multiplication of plantain plants



to cope with three groups of health barriers, namely cercosporiosis, telluric parasites (weevils and nematodes), and other pests (snails, rats, and caterpillars). The other substitution solutions were the use of local organic amendment for supplying nutrients (mentioned by all three strategy groups) and to address low yields (mentioned by D and SC-strategy farmers); the use of black soap that is currently tested by farmers to cope with cercosporiosis (mentioned by D-strategy farmers) and the plant preparation (mechanical cleaning and soaking, mentioned by D-strategy farmers) to cope with the lack of healthy plants and the use of pheromone traps to control weevil populations/infestation (mentioned by the SC and EB-strategy farmers).

None of the EBI types mentioned solutions corresponding to the redesign of the farm (production system). The difference in the choice of more or less agroecological practices by different farm types was highlighted by Fanchone et al. (2020) in Guadeloupe and Martinique, with farms mainly oriented toward export (sugarcane and Cavendish banana) that were subsidized and more interested in a weak agroecological transition based on existing practices, and farms from diversified systems already engaged in agroecological practices moving toward a strong transition. With this work,

Fanchone et al. (2020) highlighted the need for innovations in these various types of farms.

This specific step of the method was complementary to the design workshops, highlighting additional technical alternatives known by farmers to address the barriers they identify. It showed that the farmers knew a range of technical solutions. However, not all of these solutions had been implemented. Therefore, it highlighted the need to better understand the flows of knowledge and of material and financial resources between plantain farmers and other actors within the innovation system to identify those currently promoting or locking these technical solutions at the territorial scale, especially the most influential actors. Such knowledge would facilitate the design of organizational innovations found to be the key to support the agroecological transition.

4 Conclusion

This work aimed to co-design innovative agroecological plantain farming systems that integrate knowledge held by farmers on plantain cropping systems, in order to (i)

strengthen the scant scientific research on plantain cropping systems and (ii) address the increasing demand from policy makers and civil society to develop under-research crops dedicated to local diet following agroecological principles. We highlighted that plantain production practices and marketing/commercialization strategies in Guadeloupe are very diverse, and this diversity is reflected in the observed agroecological transition of farmers, with some systems close to strong agroecological transition, while others are closer to weak agroecological transition. The co-design of innovative systems helped plantain farmers to define agroecological solutions for innovative plantain production in Guadeloupe capable of addressing the specific barriers that they face. Farmers identified solutions to overcome these barriers, and in so doing improved their contribution to agroecological transition. In a context where scientific research on plantain cropping systems of Guadeloupe is lacking, the role of research scientists in this process was to facilitate exchanges of a diversity of endogenous knowledge held by farmers. A system experiment is now in place on an experimental station and will allow scientists to evaluate the performance of the proposed cropping systems. In addition to biotechnical indicators, economic indicators of these systems could be evaluated. This work may be continued in the future by improving scientific knowledge on some specific constraints highlighted, particularly around marketing channels, which were identified as a major barrier for the agroecological transition.

Acknowledgements The authors are grateful to the Regional Council of Guadeloupe for its support of the PhD project, to the European Union for funding the FEDER project AgroEcoDiv, FEADER project IntensEcoPlantain, and INTERREG project CambioNet, and to the experimental unit PEYI of INRAE Antilles Guyana Center for co-funding the PhD project. Special thanks go to the participants in the interviews and focus groups for their time and inputs into the research, to the trainees Lionel Scherschel, Raphaël Morin, Coralie Ferdinand, Alexia Crézé, and Wylliam Darmalingon who have contributed to the research since 2017, to Audrey Ganteil and Sébastien Guyader for help with statistics, Catherine Odet for the photographs taken, and to the entire PEYI experiment unit for logistical support.

Authors' contributions Marie Bezard, Jean-Louis Diman, Valérie Angeon, and Raphael Morin contributed to the study conception and design. All authors contributed to the development of the methodology. The data collection was performed by Marie Bezard and Raphaël Morin. The data visualization was prepared by Marie Bezard, the first draft of the manuscript was written by Marie Bezard, and all authors commented on earlier versions of the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

Funding This study was funded by the Regional Council of Guadeloupe for the thesis scholarship (grant number CR/5-2020 signed 14 August 2020). This study was co-funded by the European Union (European Regional Development Fund, grant number 2015-FED-202 GP0007652 and 2019-FED-33 GP0022338 for the second tranche fund) and the Regional Council of Guadeloupe (grant number CR / 16-68 signed 28 September 2016) in the AgroEcoDiv project. This study was also co-funded by the European Union (Grant number

CR-FEADER-1420-DCEP-1456 RITA2-Domaine Vegetal) in the IntensEcoPlantain. This study was also co-funded by the European Union (European Regional Development Fund, grant INTERREG V Caraïbes number 7629 signed 6 May 2021). This study was also co-funded by the PEYI experiment unit.

Data availability The data and material are available upon demand to the corresponding author.

Code availability The datasets analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Declarations

Ethics approval Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

Consent to participate Participants have been informed of the purpose of the research and have been given the opportunity to ask questions and withdraw from the study in which case their data would not be used. All participants to the surveys and the focus groups had access to a non-opposition information sheet ("Fiche d'information non-opposition") informing them of their rights.

Consent for publication The research conducted complies with the General Data Protection Regulation (RGPD, Règlement pour la protection des données personnelles), and all participants consented to participate in the study.

Conflict of interest The authors declare no competing interests.

Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

References

- Agreste (2020) Memento de la statistique agricole. https://daaf.guadeloupe.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/memento_2020_internet_cle4814fe.pdf. Accessed 24 Aug 2021
- Andrieu N, Blundo-Canto G, Chia E et al (2022) Scenarios for an agroecological transition of smallholder family farmers: a case study in Guadeloupe. *Agron Sustain Dev* 42:42–95. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00828-x>
- Angeon V, Bates S (2020) Mettre en œuvre la transition agroécologique : une analyse des règles de décision dans les systèmes bananiers aux Antilles françaises. *Rev Econ Reg Urbaine* 3:503–529. <https://doi.org/10.3917/reru.203.0503>
- Arnstein SR (1969) A Ladder Of Citizen Participation. *J Am Inst Plann* 35:216–224. <https://doi.org/10.1080/01944366908977225>
- Barbosa FEL, de Lacerda CF, Amorim AV et al (2016) Production and economic viability of banana managed with cover crops. *Rev Bras Eng Agríc Ambient* 20:1078–1082. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n12p1078-1082>

- Barclay J, Wilkinson E, White CS et al (2019) Historical Trajectories of Disaster Risk in Dominica. *Int J Disaster Risk Sci* 10:149–165. <https://doi.org/10.1007/s13753-019-0215-z>
- Barlagne C, Bazoche P, Thomas A et al (2015) Promoting local foods in small island states: The role of information policies. *Food Policy* 57:62–72. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2015.09.003>
- Barlagne C, Diman J-L, Galan M-B, et al (2016) Foresight study: Guadeloupean agriculture in 2040 – Final execution report for the Guadeloupean Chamber of Agriculture. https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/EtudeprospectiveGuadeloupe_vf_r%C3%A9sum%C3%A9.pdf. Accessed 6 Apr 2022
- Bautista M. LG, Bolaños B. MM, Asakawa NM, Villegas E. B (2015) Respuesta de fitonematodos de platano Musa AAB simmonds a estrategias de manejo integrado del suelo y nutrición. *Iuaz* 40:69–84. <https://doi.org/10.17151/iuaz.2015.40.6>
- Berthet ETA, Barnaud C, Girard N et al (2016) How to foster agroecological innovations? A comparison of participatory design methods. *J Environ Plan Manag* 59:280–301. <https://doi.org/10.1080/09640568.2015.1009627>
- Bezard M (2017) Caractérisation de la culture de bananes plantain en Guadeloupe : diversité des pratiques, performance écologique & référencement technico-économique. <https://hal.inrae.fr/hal-02791198/document>. Accessed 28 Jul 2019
- Cabidoche Y-M, Lesueur-Jannoyer M (2011) Pollution durable des sols par la chlordécone aux Antilles: comment la gérer? *Innov Agro* 16:117–133
- Chevalier C (2017) Jardins créoles en Guadeloupe: un modèle agroécologique ? https://sytra.be/wp-content/uploads/2020/05/2017_UCLouvain_FR_MSc-thesis_Creole_gardens_170601.pdf. Accessed 19 Oct 2020
- Chizallet M, Prost L, Barcellini F (2020) Supporting the design activity of farmers in transition to agroecology: Towards an understanding: *Trav Hum Vol.* 83:33–59. <https://doi.org/10.3917/th.831.0033>
- Côte F, Tomekpe K, Staver C et al (2010) Agro-ecological intensification in banana and plantain (*Musa* spp.): An approach to develop more sustainable cropping systems for both smallholders farmers and large-scale commercial producers. *Acta Hort* 879:457–463. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.879.50>
- Della Rossa P, Le Bail M, Mottes C et al (2020) Innovations developed within supply chains hinder territorial ecological transition: the case of a watershed in Martinique. *Agron Sustain Dev* 40:10. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0613-z>
- Delone B (2014) Alternatives agro-écologiques à l’usage des intrants chimiques dans les bananeraies plantain. Le cas de 2 régions de la Caraïbe: Guadeloupe et Haïti. <https://hal.inrae.fr/tel-02801753/document>. Accessed 18 Mar 2021
- Dépigny S, Delrieu Wils E, Tixier P et al (2019) Plantain productivity: Insights from Cameroonian cropping systems. *Agr Syst* 168:1–10. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2018.10.001>
- Dépigny S, Tchotang F, Talla M et al (2018) The ‘Plantain-Optim’ dataset: Agronomic traits of 405 plantains every 15 days from planting to harvest. *Data Brief* 17:671–680. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.01.065>
- Deytieux V, Vivier C, Minette S et al (2012) Expérimentation de systèmes de culture innovants: avancées méthodologiques et mise en réseau opérationnelle. *Innov Agro* 20:49–78
- Duru M, Fares M, Therond O (2014) A conceptual framework for thinking now (and organising tomorrow) the agroecological transition at the level of the territory. *Cah Agric* 23:84–95. <https://doi.org/10.1684/agr.2014.0691>
- Duru M, Therond O, Fares M (2015a) Designing agroecological transitions; A review. *Agron Sustain Dev* 35:1237–1257. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0318-x>
- Duru M, Therond O, Martin G et al (2015b) How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agron Sustain Dev* 35:1259–1281. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1>
- Fanchone A, Alexandre G, Chia E et al (2020) A typology to understand the diversity of strategies of implementation of agroecological practices in the French West Indies. *Eur J Agron* 117:9. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126058>
- Forite C (2011) Diagnostic agroécologique de plantations de bananes plantain en Guadeloupe. <https://hal.inrae.fr/hal-03179662/document>. Accessed 24 Jul 2019
- Fréguin-Gresh S, Angeon V, Cortès G (2020) Les petites agricultures familiales en Guadeloupe : une contribution à l’ancrage de l’alimentation ? <https://hal.inrae.fr/hal-03528033/document>. Accessed 27 Jan 2021
- Geilfus F (2008) 80 Tools for participatory development. <http://replicai.iica.int/docs/B1013I/B1013I.pdf>. Accessed 12 Oct 2022
- Giller KE, Leeuwis C, Andersson JA, et al (2008) Competing Claims on Natural Resources: What Role for Science? *E&S* 13:art34. <https://doi.org/10.5751/ES-02595-130234>
- Gliessman S (2016) Transforming food systems with agroecology. *Agrocol Sust Food* 40:187–189. <https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1130765>
- Gold CS, Pena JE, Karamura EB (2001) Biology and integrated pest management for the banana weevil *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Coleoptera: Curculionidae). *J Integr Pest Manag* 6:79–155. <https://doi.org/10.1023/A:1023330900707>
- Haegeman A, Elsen A, De Waele D, Gheysen G (2010) Emerging molecular knowledge on *Radopholus similis*, an important nematode pest of banana. *Mol Plant Pathol* 11:315–323. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2010.00614.x>
- Hansson H, Ferguson R, Olofsson C, Rantamäki-Lahtinen L (2013) Farmers’ motives for diversifying their farm business – The influence of family. *J Rural Stud* 32:240–250. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2013.07.002>
- Harvard M, Alaphilippe A, Deytieux V, et al (2017) Guide expérimentateur système: concevoir, conduire et valoriser une expérimentation “système” pour les cultures assolées et pérennes. https://hal.inrae.fr/hal-02791737/file/2017_Guide_expérimentateur_système_Havard_et_al_version_numerique1.pdf. Accessed 28 Jul 2019
- Hill SB, MacRae RJ (1996) Conceptual Framework for the Transition from Conventional to Sustainable Agriculture. *J Sustain Agric* 7:81–87. https://doi.org/10.1300/J064v07n01_07
- Horlings LG, Marsden TK (2011) Towards the real green revolution? Exploring the conceptual dimensions of a new ecological modernisation of agriculture that could ‘feed the world.’ *Glob Environ Change* 21:441–452. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.01.004>
- IEDOM (2021) Rapport annuel économique Guadeloupe 2020. <https://www.iedom.fr/guadeloupe/>. Accessed 8 Oct 2021
- Jeuffroy M-H, Loyce C, Lefeuvre T et al (2022) Design workshops for innovative cropping systems and decision-support tools: Learning from 12 case studies. *Eur J Agron* 139:13. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126573>
- Kesavan V, Hill T, Morris G (2002) The effect of plant spacing on growth, cycling time and yield of bananas in subtropical western Australia. *Acta Hort* 575:851–857. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.575.101>
- Kwa M (2003) Activation de bourgeons latents et utilisation de fragments de tige du bananier pour la propagation en masse de plants en conditions horticoles *in vivo*. *Fruits* 58:315–328. <https://doi.org/10.1051/fruits:2003018>
- Kwa M, Temple L (2019) Le bananier plantain. Quae, CTA, Presses agronomiques de Gembloux, Wageningen (The Netherlands), Versailles (France), Gembloux (Belgium)
- Le Gal P-Y, Dugué P, Faure G, Novak S (2011) How does research address the design of innovative agricultural production systems

- at the farm level? A review. *Agric Syst* 104:714–728. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2011.07.007>
- Le Masson P, Weil B, Hatchuel A (2006) Les processus d'innovation, conception innovante et croissance des entreprises. Hermès Lavoisier, Paris
- Lucien Brun M (2014) Des Petites Régions Agricoles au Zonage Agro-Écologique : conception et construction d'un découpage spatial aux Antilles françaises. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01601511/document>. Accessed 28 Jul 2019
- Mantran M, Lucien-Brun M, Angeon V (2017) Le zonage agroécologique aux Antilles françaises: un outil de définition du potentiel agricole et d'aide à la décision en matière d'amélioration des choix de production. <https://hal.science/hal-01525376/document#:~:text=Guadeloupe%20et%20de%20la%20Martinique,agriculteurs%20selon%20la%20zone%20agro%C3%A9cologique.&text=Fran%C3%A7aises%20et%20apporte%20une%20plus,du%20monde%20cit%C3%A9s%20plus%20haut>. Accessed 19 Apr 2022
- Martha Marina Bolaños Benavides, Bautista Montealegre LG, Andrés Cardona W, *et al* (2020) Plátano (Musa AAB) - Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca. <http://investigacion.bogota.unal.edu.co/visibilidad/publicaciones/manuales-derivado-2/platano-musa-aab-manual-de-recomendaciones-tecnicas-para-su-cultivo-en-el-departamento-de-cundinamarca/#:~:text=Pl%C3%A9tan%C3%A9Manual%20de,de%20Cundinamarca%3A%20Investigaci%C3%B3n%20UN%20Bogot%C3%A9&text=El%20pl%C3%A9tano%20es%20una%20planta,el%20arroz%20y%20el%20trigo>. Accessed 20 Oct 2022
- Martin G, Martin-Clouaire R, Duru M (2013) Farming system design to feed the changing world. *A Review. Agron Sustain Dev* 33:131–149. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0075-4>
- Meynard J-M, Dedieu B, Bos AP (2012) Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices. In: Darnhofer I, Gibbon D, Dedieu B (eds) *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*. Springer, Netherlands, Dordrecht, pp 405–429
- Montenegro de Wit M, Iles A (2016) Toward thick legitimacy: Creating a web of legitimacy for agroecology. *Elementa* 4:24. <https://doi.org/10.12952/journal.elementa.000115>
- Morin R (2019) Analyse de l'évolution des systèmes de culture à base de bananier plantain en Guadeloupe et co-conception vers une expérimentation système. <https://hal.inrae.fr/hal-03179631/document>. Accessed 29 Sep 2020
- Munzel U, Hothorn LA (2001) A Unified Approach to Simultaneous Rank Test Procedures in the Unbalanced One-way Layout. *Biom J* 43:553–569. [https://doi.org/10.1002/1521-4036\(200109\)43:5%3c553::AID-BIMJ553%3e3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/1521-4036(200109)43:5%3c553::AID-BIMJ553%3e3.0.CO;2-N)
- Nicholls C, Altieri M, Vasquez L (2016) Agroecology: Principles for the Conversion and Redesign of Farming Systems. *J Ecosyst Ecogr* 01:8. <https://doi.org/10.4172/2157-7625.S5-010>
- Ogisma A (2011) Diagnostic agri-environnemental en exploitations de banane plantain en Guadeloupe : logiques décisionnelles, performances productives et agro écologiques des pratiques associées. <https://hal.inrae.fr/hal-03179682/document>. Accessed 28 Jul 2019
- Ozier Lafontaine H, Joachim R, Bastié J-P, Grammont A (2018) De l'agroécologie à la Bioéconomie: Des alternatives pour la modernisation du système agricole et alimentaire des outre-mer - Note d'orientation sur les agricultures des Outre-Mer. <https://www.academie-agriculture.fr/publications/publications-academie/avis/rapport-de-lagroecologie-la-bioeconomie-des-alternatives>. Accessed 28 Sep 2020
- R Core Team (2022) R: A language and environment for statistical computing
- Ramírez-Gómez CJ, Velasquez JR, Aguilar-Avila J (2020) Trust networks and innovation dynamics of small farmers in Colombia: An approach from territorial system of agricultural innovation. *Rev Fac Cienc Agrar* 52:253–266
- Reed MS, Graves A, Dandy N *et al* (2009) Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management. *J Environ Manage* 90:1933–1949. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.01.001>
- Regional Council (2020) Plan stratégique régional pour une transition agroécologique
- Rhino B, Dorel M, Tixier P, Risède J-M (2010) Effect of fallows on population dynamics of *Cosmopolites sordidus* : toward integrated management of banana fields with pheromone mass trapping. *Agric for Entomol* 12:195–202. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2009.00468.x>
- Risède J-M, Achard R, Brat P, *et al* (2018) La transition agro-écologique des systèmes de culture de bananes Cavendish aux Antilles françaises. In: *La transition agro-écologique des agricultures du Sud*, Quae, Versailles, France, pp 149–179
- Sadom L, Tomekpé K, Folliot M, Côte F-X (2010) Comparaison de l'efficacité de deux méthodes de multiplication rapide de plants de bananier à partir de l'étude des caractéristiques agronomiques d'un hybride de bananier plantain (*Musa* spp.). *Fruits* 65:3–9. <https://doi.org/10.1051/fruits/2009036>
- Scherschel L (2017) Les variétés de banane plantain et autres bananes à cuire en Guadeloupe : identification et critères de choix par les producteurs. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03805680>. Accessed 28 Jul 2019
- Sierra J, Desfontaines L (2018) Les sols de la Guadeloupe Genèse, distribution & propriétés. <https://hal.inrae.fr/hal-02789600/document#:~:text=La%20formation%20et%20la%20distribution,processus%20g%C3%A9ologiques%20caract%C3%A9ristiques%20des%20Antilles>. Accessed 12 May 2021
- Sutherland L-A, Burton RJF, Ingram J *et al* (2012) Triggering change: Towards a conceptualisation of major change processes in farm decision-making. *J Environ Manage* 104:142–151. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.03.013>
- Thénard V, Martel G, Choisis J-P *et al* (2021) How access and dynamics in the use of territorial resources shape agroecological transitions in crop-livestock systems: Learnings and perspectives. *Agroecological transitions, between determinist and open-ended visions*. Peter Lang, Bruxelles, Bern, Berlin, New York, Oxford, Wien, pp 200–224
- Wezel A, Brives H, Casagrande M *et al* (2016) Agroecology territories: places for sustainable agricultural and food systems and biodiversity conservation. *Agroecol Sustain Food Syst* 40:132–144. <https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1115799>
- Wezel A, Herren BG, Kerr RB *et al* (2020) Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. *A Review. Agron Sustain Dev* 40:40. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z>
- Youmbi E, Fonkam NJP, Ngaha D *et al* (2005) Comportement de vitro-plants de bananiers plantains issus de bourgeons axillaires et apicaux au cours de l'acclimatation et en champ. *Fruits* 60:91–100. <https://doi.org/10.1051/fruits:2005019>
- Zébus M-F (1999) Paysannerie et économie de plantation. Le cas de la Guadeloupe, 1848-1980. In: *Ruralia*. <https://journals.openedition.org/ruralia/110>. Accessed 24 Aug 2021

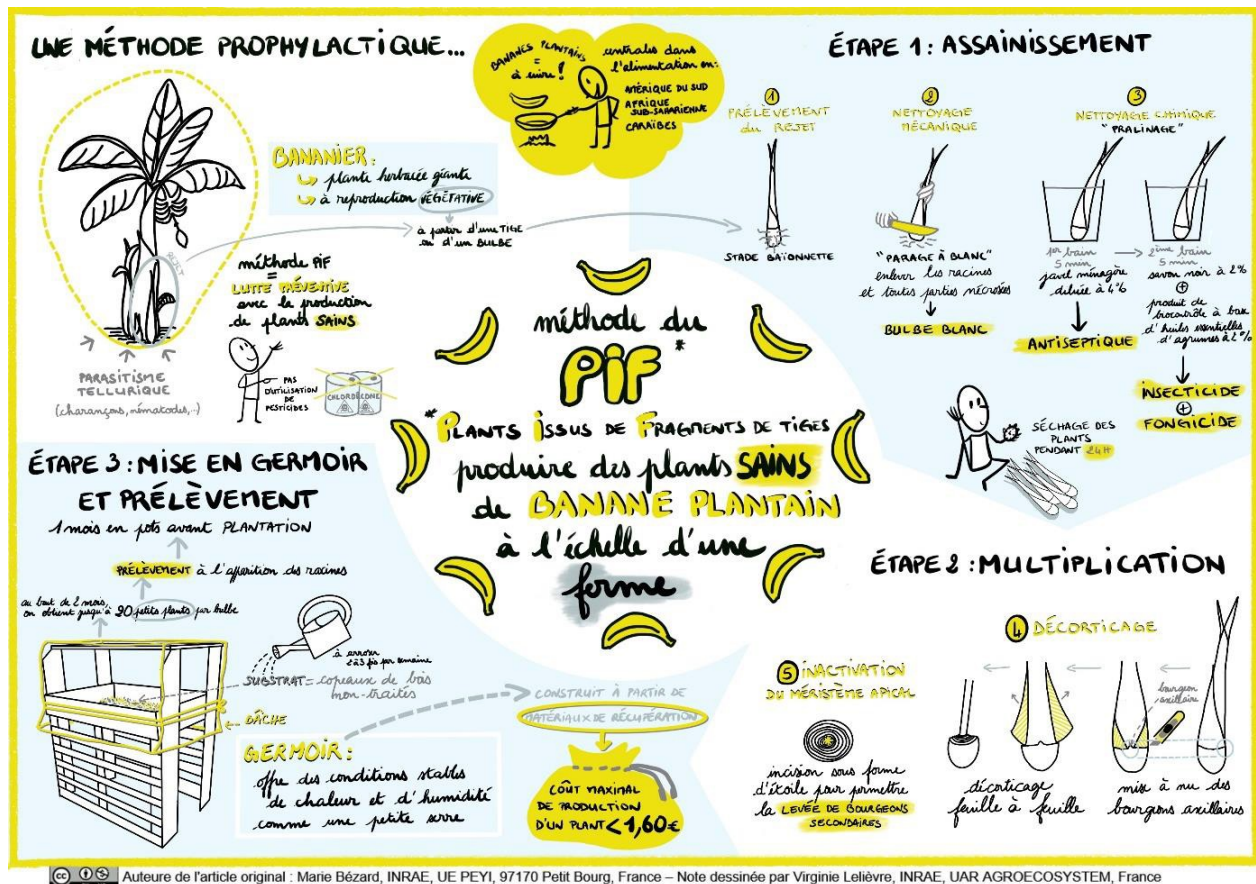
Publisher's note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

2. Conclusion du chapitre 1

Dans un contexte de manque de connaissances, relativement à la culture de banane plantain en Guadeloupe, la première étape de ce travail de recherche a consisté à co-concevoir, avec les producteurs de plantain des systèmes de culture agroécologiques à base de plantain. La co-conception s'est basée sur une caractérisation de la diversité des pratiques et des stratégies, mises en place par les producteurs, en 2017 et 2019. Cette caractérisation a permis de mettre en évidence que les systèmes avaient progressés dans la transition agroécologique, que ce soit dans une logique de modernisation écologique faible ou forte. Ces premiers résultats confirment que les systèmes à base de plantain contribuent à la transition agroécologique du territoire guadeloupéen et illustrent la diversité des chemins de transition d'une culture orpheline. Lors des ateliers, quatre systèmes de culture agroécologiques à base de plantain, à tester, ont été co-conçus. Ces résultats fournissent un exemple concret d'intégration des connaissances académiques et empiriques pour la co-conception de systèmes agroécologiques.

Cette première étape de la thèse a également permis de mettre en lumière un certain nombre de points de blocage à la transition agroécologique avec notamment la chronophagie de la technique du PIF et une incertitude sur le rôle des réseaux d'acteurs environnants les producteurs de plantain. Ces deux résultats ont déterminé les deux étapes suivantes de la thèse : l'optimisation de la technique du PIF (chapitre 2) et la caractérisation des réseaux d'acteurs sous-tendant l'adoption de différentes pratiques agroécologiques dans les systèmes à base de plantain (chapitre 3).

Chapitre 2 : Optimiser une technique alternative innovante



Ce second chapitre présente les résultats de l'expérimentation en conditions semi-contrôlées de la technique du PIF, identifiée comme d'intérêt lors de la première étape de la thèse. Cette expérimentation a permis de mettre en évidence les facteurs environnementaux permettant d'augmenter les performances (notamment en termes de nombre de petits plants produits) de la technique. Elle a également permis de mettre en évidence le potentiel assainissant de la technique, pour le virus BanMMV, puisqu'une partie des petits plants issus de plants mères contaminés ont été assainis.

Sous-Question de recherche

Quel est le potentiel d'amélioration d'une alternative agroécologique technique co-construite entre recherche et agriculteurs ?

1. Article 2: Optimization of an on-farm multiplication and sanitation technique for plantain banana

Statut : Soumis à « Scientia Horticulturae »

Optimization of an on-farm multiplication and sanitation technique for plantain banana

Authors

Marie Bezard^{1*}, David Hammouya¹, Marie UMBER², Thierry Bajazet², Sébastien Guyader², Marion Villard¹, Simon Pourrat¹, Jean-Louis Diman¹, Harry Ozier Lafontaine²

Affiliation

¹INRAE, UE PEYI, 97170 Petit Bourg, France ; ²INRAE, UR ASTRO, 97170 Petit Bourg, France

Corresponding author

marie.bezard01@gmail.com

Highlights

- Performance (shoots' robustness and quantity) of the PIF technique was evaluated;
- A three steps experiment under semi-controlled conditions was carried out;
- Temperatures above 30°C significantly increased performance of the PIF technique;
- Light and hormones supplementation did not increase performance significantly;
- The PIF technique partially sanitized shoots contaminated with BanMMV virus (37%).

Abstract

Banana is of vital importance to the tropic's food supply. However, banana cropping systems face telluric pests and aerial fungal diseases that affect fruit yield and quality. In an agroecological transition context, the development of prophylactic methods aimed at avoiding the use of pesticides is an avenue to explore. Among these methods, the *in vivo* mass propagation of shoots technique (PIF technique in French for *Plants Issus de Fragment de tige* - 'shoots resulting from corm fragments'), developed in Cameroon to multiply and sanitize plantain shoots at the farm level, has shown promising results, but factors that could improve its efficiency have not been thoroughly studied until now. The objective of this research, carried out in Guadeloupe (French Caribbean), was to measure how different environmental conditions (temperature, light and hormone supplementation) during the reproductive stage affect the efficiency of the PIF technique (number and robustness of daughter shoots). We found that temperatures above 30°C led to a significantly increase in performance of the PIF technique, yielding more than 15 shoots per corm, more than 25 root per shoot, and roots longer than 80 cm. In addition, the experiment also allowed identifying positive effects of LED light (15 minutes per day) and hormone supplementation (5 seconds immersion in a synthetic hormone solution) on the PIF technique performance. Finally, a moderate but significant virus sanitation potential of this technique was found, with up to 36.7% daughter plants sanitized from banana mild mosaic virus (BanMMV) infected mother plants. Altogether, these results open perspectives for larger scale assays to refine an appropriate methodology allowing farmers to become autonomous in healthy planting material satisfying the principles of agroecological transition.

Key words

Musa spp., AAB; Prophylaxis; Agroecology; PIF technique

1. Introduction

Banana is one of the most important production in the world (Kwa and Temple 2019). Edible banana varieties are mainly composed of two species, *Musa acuminata* (providing the ‘A’ genome) and *Musa balbisiana* (providing the ‘B’ genome). Banana, one of the tallest herbaceous plant in the world, is a monocotyledonous plant characterized by a pseudostem formed by the intertwining of leaf sheaths (Kwa and Temple 2019). Once mature, a stem is produced from within the pseudostem, which normally develops a single inflorescence. After fruiting, the pseudostem dies and the corm emits several buds from which shoots develop. One shoot takes over to grow and produce fruit regimes, keeping the vegetative cycle going (Lassoudière 2007).

In Guadeloupe, a French archipelago in the Caribbean, banana production relies on two main types. The Cavendish variety (*Musa acuminata*, AAA triploid), part of highly structured market channel, is the main banana variety exported in the world and is consumed as a fruit. In 2021, almost 125 Mt were produced worldwide, and about 2 Mt in the Caribbean (FAO 2023). The other main type of banana is plantain (*Musa* spp., AAB triploid), which is consumed as a cooked vegetable, whose production amounted to more than 45 Mt worldwide and 2 Mt in Caribbean in 2021 (FAO, 2023). Most of the worldwide plantain production takes place in Africa, specifically in Cameroon, Ghana, Uganda, Nigeria and Côte d’Ivoire, while South America it is mainly produced in Colombia and Peru (Kwa and Temple 2019). Crop practices and plant physiology are significantly less documented for plantain than for Cavendish, despite the staple importance of the former for many households around the world especially in the tropical regions of sub-Saharan Africa (Kwa and Temple 2019; Dépigny and Damour 2022).

Optimal conditions for plantain production include high and constant temperatures all year round (between 25 and 30°C), an important water supply (rainfall between 1500 and 3500 mm per year), a well-drained soil and direct sunlight adding up to between 1500 and 2500 hours of light (Kwa and Temple 2019). Both plantain and Cavendish face a number of telluric pests, such as *Cosmopolites sordidus* weevils and *Radopholus similis* nematodes (Kwa and Temple 2019). They are also affected by aerial fungi, including *Mycosphaerella fijiensis* and *Mycosphaerella musicola* that cause the black and yellow Sigatoka diseases, respectively, *Trachysphaera fructigena* that is responsible of the cigar-end rot disease of banana (European Food Safety Authority (EFSA) 2008), and *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cubense*, which causes fusarium wilt (Pegg *et al.* 2019). Banana is also prone to viral diseases, with varying impacts on yield. Six viruses are currently recognized in banana: cucumber mosaic virus (CMV; genus

Cucumovirus), banana bunchy top virus (BBTV; genus *Babuvirus*), banana bract mosaic virus (BBrMV; genus *Potyvirus*), banana mild mosaic virus (BanMMV; genus *Banmivirus*), banana virus X (BVX; family *Betaflexiviridae*) and several species of banana streak virus (BSV; genus *Badnavirus*) (Mukwa Fama Tongo 2016). Since the incidence of telluric pests in a crop depends on the sanitary status of both the planting material and the soil (Gold *et al.* 2001; Haegeman *et al.* 2010), prophylactic solutions are an avenue to explore. Most plantain farmers cannot grow their plantations longer than two cycles on the same land, and must use crop rotation to prevent decreasing yields associated with the weevils' threat (Mboula 2014). Uprooting of the crops after two years of cultivation represents a significant financial burden for plantain producers. Besides crop rotation, the use of healthy planting material combined with soil sanitation through improved fallows is another practice that is gaining momentum. Indeed, using of healthy shoots as planting material allows pushing the number of consecutive crop cycles beyond two years (RITA Guadeloupe 2019). The production of healthy shoots can be implemented in two ways. Firstly, farmers could clean the banana shoots mechanically with a machete, and/or chemically with baths based on household products (chlorine-based), without guaranteeing the healthy sanitary status. Secondly, farmers can use virus-free vitroplants, ensuring the lowest sanitary risk (Sadom *et al.* 2010), but at a prohibitive initial cost imposed by buying vitroplants from private biotechnology companies (Olumba and Onunka 2020). Alternatively, farmers could use a technique, referred to as PIF (from the French *Plant Issus de Fragment de tige* - shoots resulting from corm fragments) with which new shoots are obtained from the fragmentation of banana corms.

The PIF technique was developed by the CARBAP (African Center for Research on Banana and Shootain) in Cameroon to tackle the lack of healthy shoots. This method involves activating latent buds by cutting corms to produce plantain shoots in large amounts and within a short period of time (Kwa 2003). Two experiments, led by the CARBAP between 1993 and 1998 to focus on the influence of global environmental conditions on the production of PIF shoots showed that a relative humidity over 80% in the macropropagation chamber, combined with an average air temperature of 30°C (7°C above outdoors temperature) and an average substrate temperature of 24°C (2 to 4°C above outdoors) were appropriate to obtain results, with 4 to 15 more shoots than controls (Kwa 2003; Tomekpe *et al.* 2011).

Visible light, especially in the red wavelengths (700–740 nm), was found to have a significant impact on the banana shoot length (Kwa and Temple 2019). A comparison of the impact of two types of light source (white fluorescent bulb *vs.* LED) was carried out for Cavendish *in vitro* multiplication and better results were obtained with LED light (Bhaya and Al-RazzaqSalim 2019). LEDs are commonly used to study shoot physiology (Jackson *et al.* 1985). Research has shown the role of light flashes (from 0.01 to 10 seconds) on dormancy termination and on germination process (Batlla and Banech-Arnold 2014; Yan and Chen 2020). They demonstrated that a single flash could induce a reaction, but that repeated flashes (two or more) were often required for the full germination process to occur. However, these works have been carried out on seeds and on model species such as *Arabidopsis thaliana* and cannot be extended to banana shoot activation and growth.

Coconut water, which contains a diversity of hormones such as auxin, cytokinins and gibberellins (Yong *et al.* 2009), has been shown to activate latent bud growth in three banana *Musa* AAA varieties (Gros Michel, Figue Rose et Yangambi Km5) (Bora Lukando 2013) as well as in *Dioscorea* spp. yams (Dibi *et al.* 2016).

Although the PIF technique has been shown to produce healthy shoots (Tomekpe *et al.* 2011), as long as safe practices are used, another study has highlighted the potential risk of activation of endogenous viral sequences (Mukwa Fama Tongo 2016), even if the symptoms caused by these viruses are limited (European Food Safety Authority, 2008). However, a recent long-term study carried out in Guadeloupe, has shown that the viral activation risk is negligible on plantain ‘French clair’ variety (Umber *et al.* 2022).

In a context where the agroecological transition is ongoing, and while the availability of affordable, healthy shoots is low, the PIF technique has potential to develop. The objective of this study is to assess the effects of actionable factors such as light, temperature and hormones supplementation under semi-controlled conditions, in order to propose ways of improving the PIF technique throughput. The underlying assumption is that improving the efficiency of this technique would lead to a greater adoption by farmers.

2. Material and Methods

2.1. Field experiment setup

The experimentations were carried out between 2021 and 2022 in Guadeloupe (French Caribbean), at the INRAE outstation (Domaine de Duclos, geographical coordinates 16°12'12.0"N, 61°39'41.9"W). Climatic conditions at the experimental site are those of a tropical climate (Table 1).

Table 1: Means of the seasonal temperature, global radiation and relative humidity measured at the experimental site during the 2021 and 2022 seasons. The dry season takes place from January to June and the humid season from July to December. Numbers between parentheses are standard deviation of the mean.

2021	Temperature (°C)	Global radiation (DaJ/cm²)	Relative humidity (%)
Dry season	24.02 (1.25)	1940.56 (485.75)	86.55 (3.68)
Humid season	25.40 (1.09)	1863.70 (451.99)	88.39 (88.39)
2022			
Dry season	24.02 (1.42)	1984.78 (455.39)	88.05 (3.36)
Humid season	26.18 (0.58)	2024.01 (522.40)	89.78 (3.19)

Shoots of cultivar ‘French clair’ (named ‘*Blanche*’ in Guadeloupe), which is the most present variety in the territory (Scherschel 2017), were used as planting material. These shoots had been produced locally at the INRAE outstation during a previous system experiment (Bezard *et al.* 2023b).

2.2. Production of planting material through PIF technique

Tools (table, knives, etc.) were disinfected with 4% household bleach (Kapadia and Patel 2021). Plantain shoots with no central leaf were selected for the following procedures (Kwa and Temple 2019). On a shaded and clean work surface, corms were cleaned mechanically, from the base of the leaves, with a knife (Figure 1A). Damaged or symptomatic parts, as well as prominent buds, are removed. Corms were then cleaned by soaking in 80 L containers filled with water and 4% bleach for 5 minutes (Figure 1B), then for 5 minutes in a solution of 2% Limocide (Vivagro, Martillac, France), a commercial mix of essential oils authorized in organic agriculture, and 2% black soap. Twenty-four hours later (Figure 1C), about five leaves were incised 2 millimeters above the meristematic line in order to preserve lateral buds (Figures 1D and 1E) (Bezard *et al.* 2023c). The rest of the pseudostem was cut off and a cross-shaped incision was made in the center of the apical meristem to inactivate it without damaging the lateral buds (Figure 1F). The incised corms, referred to as explants, were placed in disinfected macropropagation chambers, filled with a substrate made of moistened pine wood chips (Figure 1G), and then totally covered with a second layer of substrate a few centimeters thick. A transparent tarpaulin cover was placed on top of the chambers (Figure 1H). Water was applied to the substrate every 2 or 3 days. The apical meristem was checked regularly and new incisions were made whenever new apical growth was detected.



Figure 1: The different steps of the PIF (in French, *Plants Issus de Fragment de tige* - Shoots resulting from corm fragment) technique protocol based on (Bezard *et al.* 2023c). **A.** Mechanical cleaning; **B.** Chemical cleaning; **C.** Drying of shoots; **D.** Buds' exposure; **E.** Leaf removing; **F.** Apical meristem inactivation; **G.** Setting up in the micropropagation chamber; **H.** Transparent tarpaulin setting up; **I.** Small shoots emergence.

2.3. Three steps method to identify the impacting factors

The objective of the method was to proceed by three successive steps to test the effect of three main factors (temperature, hormone and light) in a partially uncoupled manner. The three steps were set up in growth chamber to control environmental conditions. Each stage takes between 2 or 3 months (depending on the experimental equipment availability, especially for the sensors), between May 2022 and January 2023.

To control the conditions, sensors were used to measure the environmental factors in the growth chamber: thermo-hygrometers, for the temperature and the relative humidity in the air (temperature in °C and humidity in percentage); PAR (Photosynthetically Active Radiation) sensors, for the radiations ($\mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), TDR (Time Domain Reflectometry) sensors, for the water content in the substrate (wood chips) and thermocouples, for the temperature in the substrate (°C). Measures were made every 5 minutes with a data logger (Campbell Scientific).

Twenty-seven corms were planted individually in 27 pots containing 11 L of substrate, composed of pine wood chips. The pots were distributed equally (according to their weight) to three growth chambers, each containing 9 pots (Figure 2A and 2B). At the beginning of the experiment, the weight of each corm was measured. Watering was done with a water pump according to Pourrat (2022). The growth chambers were lit with red-reinforced (55.6 % red, 630-660 nm; 22.2% blue, 430-460 nm; 5.5% InfraRed, 730 nm; 5.5% Ultraviolet and 11% white) LED lights (477 candelas, 15 watt) for 12 hours per day (which is the average photoperiod in Guadeloupe) from 6 am to 6 pm.



Figure 2: Growth chambers. **A.** Arrangement of the 9 pots and sensors within the growth chamber; **B.** Closed growth chambers.

The response variables were measured at the end of each experiment step as follows: (i) number of shoots produced per corm, (ii) average size of shoots produced per corm (cm), for shoots longer than 2 centimeters, (iii) average number of leaves per shoot produced and per corm, (iv) number of roots per corm and (v) length of the largest corm roots (cm).

In this study, we consider that the higher the variables (quantity, size), the higher the performance of the technique.

- **Step 1: effect of the temperature**

This step consisted in testing the effect of temperature according to 3 modalities. The first modality, the control, corresponds to a growth chamber left at ambient temperature around 30°C. The two other modalities were a heated modality (at 35°C) and a cooled modality (at 25°C). To achieve 25°C, the growth chamber was placed in a room regulated to 25°C with an air conditioner. The temperature of 35°C was achieved with the use of a regulated heater.

- **Step 2: effect of hormones**

The effect of hormones was tested according to 3 modalities: control, coconut water addition and synthetic hormone addition. For the control modality, the shoots were prepared according to the PIF protocol as presented in section 2.2. For the coconut water modality, coconuts were collected from the most common variety found at the research outstation. Non-fermented coconut water extracted from fresh coconuts was heated to 80-100°C for 10 minutes with continuous stirring in order to precipitate proteins, fats, and other compounds (George *et al.* 2008; Nasib *et al.* 2008). Precipitates were removed by filtration through coffee filters (20 microns approximately). Once the water was cooled, nine corms were immersed in the filtered coconut water for about 19h30. After immersion, the corms were left to dry for five hours, and planted in individual pots for the rest of the experiment. For the synthetic hormone modality, a commercial hormone was purchased online since no commercial hormone was marketed on the territory. This product was composed of 20 pills and each pill was composed of 50 mg of auxin (Indole-3-acetic acid). The 9 corms of the synthetic hormone modality were immersed for 5 seconds in a solution of 100 mg per liter as recommended by the suppliers for bromeliads treatment (an herbaceous shoot like banana).

- **Light and optimum steps**

The third step was set up to study the light effect and an optimum combination. A control modality was set up as for the two previous steps. For the light modality, a 15-minute flash was added at 5 am, with the device's LED light, with red-reinforced. The optimal modality corresponds to the combination of the impacting environmental factors identified in the previous steps (temperature, light and hormones) and during preliminary steps. The factors corresponding to the conditions allowing the most shoots to emerge were selected for this step: light addition and heater.

2.4. Data collection and process

The data were analyzed in 4 steps:

First, the response variables were compared using descriptive statistics. The leaf area was estimated with Mesurim software (Madre 2013). To go further, mean comparison test (Kruskal Wallis) and non-parametric post-hoc test (pairwise Wilcoxon test), to make a pairwise comparison, were used to compare the response variables between chambers.

Next, environmental factors were compared (air and substrate temperature, air and substrate humidity and solar radiation) to control the experimental conditions and explained the response variables. The hourly average was calculated for each environmental factor, mean comparison tests and Bonferroni-adjusted post hoc tests (to make a pairwise comparison) were used to highlight the significant differences. The Growing degree days (GDD) (°C) was also calculated. It corresponds to the maximum temperature plus the minimum temperature, divided by two, minus the base temperature. The base temperature for the banana is between 11.5 and 12.5 °C (Chaves *et al.* 2009; Turner *et al.* 2016). The temperature chosen for these calculations was 12°C. The GDD allows to evaluate the heat accumulation.

The correlation between the weight and the response variables was evaluated with a Spearman correlation test as data does not follow a normal distribution. Weight values were divided into four classes: 100–300 g (class 1), 300–500 g (class 2), 500–700 g (class 3) and > 700 g (class 4).

And finally, a statistical model (interaction model) was used to evaluate the interaction between corms' weight and chamber effect globally (which means all environmental factors).

All statistical analysis were processed with R software (R Core Team 2022).

2.5. Viral status assessment of banana shoots

In this work, the purpose of this sanitary risk stage is to follow the presence of the BanMMV in the shoot material and evaluate its transmission from one generation to another after PIF preparation.

The complete viral status of a panel of 75 plantain trees, variety 'French clair', collected in the largest production area of Guadeloupe, was evaluate for the six banana-infecting viruses. Sampled leaves were processed as described by the two extraction methods, depending on the detected virus. Firstly, total nucleic acids (TNAs) were extracted using the procedure 2 described by Foissac *et al.*, (2005) for RNA viruses detection (BanMMV, BBrMV, BVX and CMV); cDNA was synthetized according to Umber *et al.*, (2022). Detection primers were designed by Foissac *et al.* (2005) for BanMMV, Iskra-Caruana *et al.* (2008) for BBrMV, Mansoor *et al.* (2005) for BBTv, Teycheney *et al.* (2007) for BVX and Blas *et al.*, (1994) for CMV. Then, for BSV detection, in order to avoid the detection of endogenous viral sequences, virus indexing was performed by immunocapture-PCR (IC-PCR) according to Le Provost *et al.* (2006) modified by Umber *et al.*, (2016), using a polyclonal antibody purchased from Neogen (Ayr, Scotland).

As only BanMMV was detected in 'French clair' plantains in Guadeloupe, leaves of 32 mother suckers, *i.e.* suckers used for PIF production, were collected just before performing the PIF technique, processed as described before and indexed only for BanMMV. Then, 30 shoots originated from BanMMV-infected corms were collected at the three-leaf stage, *i.e.* when the shoots are well developed but still attached on the mother corm and samples were indexed for BanMMV. The integrity of synthetized cDNA was verified by using housekeeping primers targeting *Musa actin* gene (Gayral *et al.* 2008). All sequences of primers and PCR conditions used in this study are described in Supplementary Table S1.

3. Results

3.1. Number of shoots emergence significantly increases with temperature

The detailed measures of the response variables, in the different conditions, are presented in Supplementary Table S2). Significant differences were identified for each response variables in the temperature phase and for the root size variable in the hormone phase (Table 2).

For the temperature step, looking at the chamber separately, with the post-hoc test (pairwise Wilcox test), the variables all increase significantly with increasing temperature (Figure 3) except for the quantity of emerged shoots per corm which is significantly lower in the air-conditioned chamber (25°C). This variable is not significantly different between the control chamber (30°C) and heated chamber (35°C). The other response variables are all significantly higher in the heated chamber (35°C). The leaf area is also the highest in the heated chamber (35°C) (Figures 3 and 6).

Table 2: Kruskal Wallis test to identify the significant differences between response variables. ‘Quantity’ corresponds to the number of emerged shoots per corm, the ‘shoot size’ to the ‘average size’ of emerged shoots for shoot over 2 centimeters, the ‘root number’ to the average corm roots number, the ‘root size’ to the largest root size and the ‘leaves’ to the average number of leaves per emerged shoots. Significant differences are marked by an asterisk (*).

Step	Temperature	Hormone	Light + Optimum
Response variables	<i>P</i> -value	<i>P</i> -value	<i>P</i> -value
Quantity	3.23e-03*	0.07	0.15
Shoot size	0.02*	0.13	0.44
Roots (number)	0.01*	0.07	0.50
Root size	3.2e-03*	0.02*	0.59
Leaves	0.02*	0.71	0.38

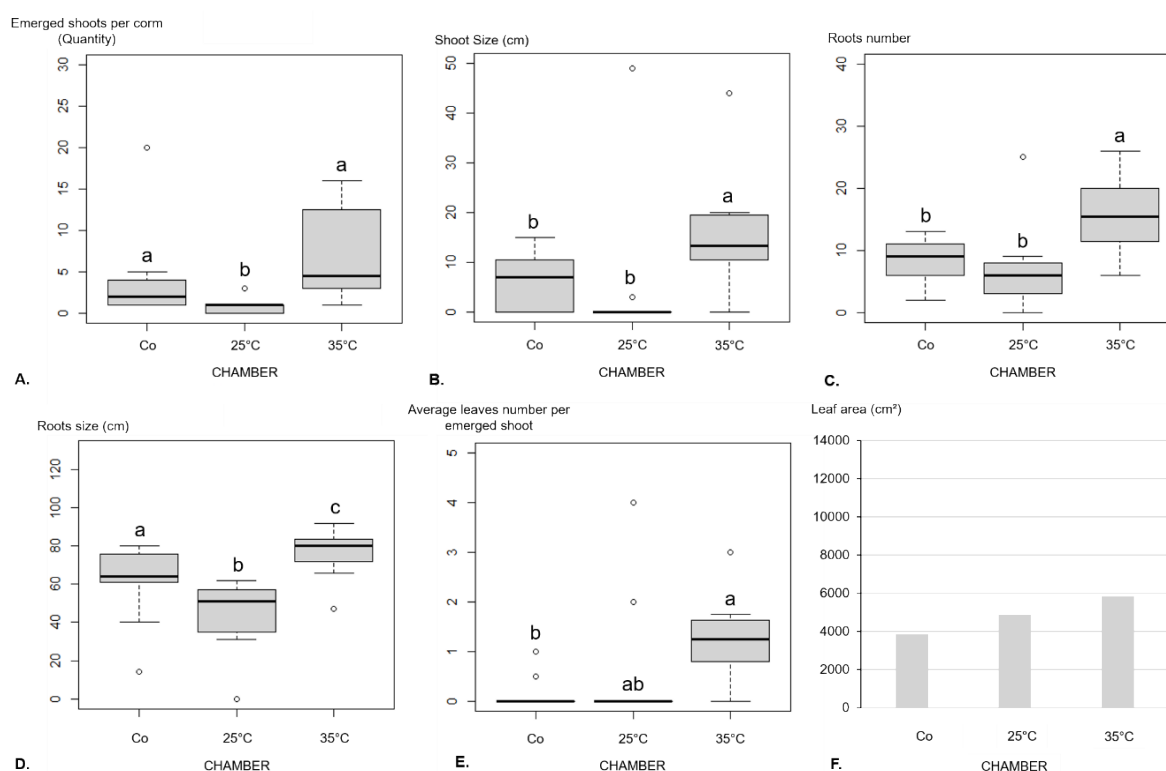


Figure 3: Response variable for the temperature step. **A** Quantity of emerged shoots per corm; **B** The ‘Shoot size’ variable corresponds to the average size of emerge shoots (for shoots over 2 centimeters); **C**. The ‘Roots number’ to the average number of roots per corm; **D**. The ‘Root size’ to the largest corm roots; **E**. The ‘Leaves’ to the average leaves number per emerged shoots. **F**. Leaf area. The Co modality corresponds to the control chamber (ambient temperature, with an average of 30°C), the 25°C modality to the chamber in air conditioning conditions and the 35°C modality to the heated chamber.

For the hormone step, looking at the chamber separately, with the post-hoc test (pairwise Wilcoxon test), for the 'root size' variable (the only identified as significantly different in Table 2), the addition of coconut water negatively affected performance, since the size of the largest root was significantly smaller, on average, than in the control and hormone synthesis chambers (Figure 4). Looking at the individual results, the greatest number of emerged shoots per corm was reached with a maximum of 32 emerged shoots for one corm during the synthetic hormone modality (Supplementary Table S2).

For the light and optimum step, we do not statistically demonstrate that adding light or combining optimal factors increase statistically the performance of the PIF technique (Figure 5). Moreover, the 'roots number', the 'root size' variable, variables and the 'leaves' variable are higher in the chamber with the 'light' modality. The highest value for the 'quantity' variable, for this step, is reached in the optimum chamber modality with up to 20 emerged shoots per corm (Supplementary Table S2).

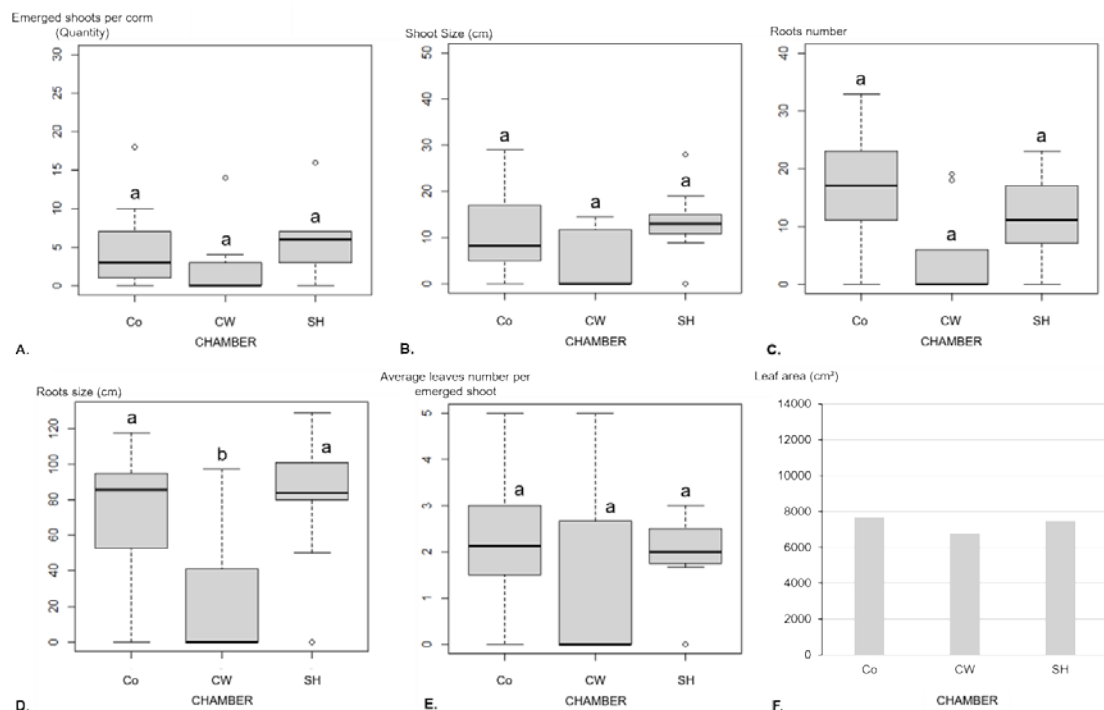


Figure 4: Response variable for the hormone step. **A** Quantity of emerged shoots per corm; **B** The ‘Shoot size’ variable corresponds to the average size of emerge shoots (for shoots over 2 centimeters); **C**. The ‘Roots number’ to the average number of roots per corm; **D**. The ‘Root size’ to the largest corm roots; **E**. The ‘Leaves’ to the average leaves number per emerged shoots. **F**. Leaf area. The Co modality corresponds to the control modality, the CW to the Coconut modality and the SH modality to the Synthetical hormone modality.

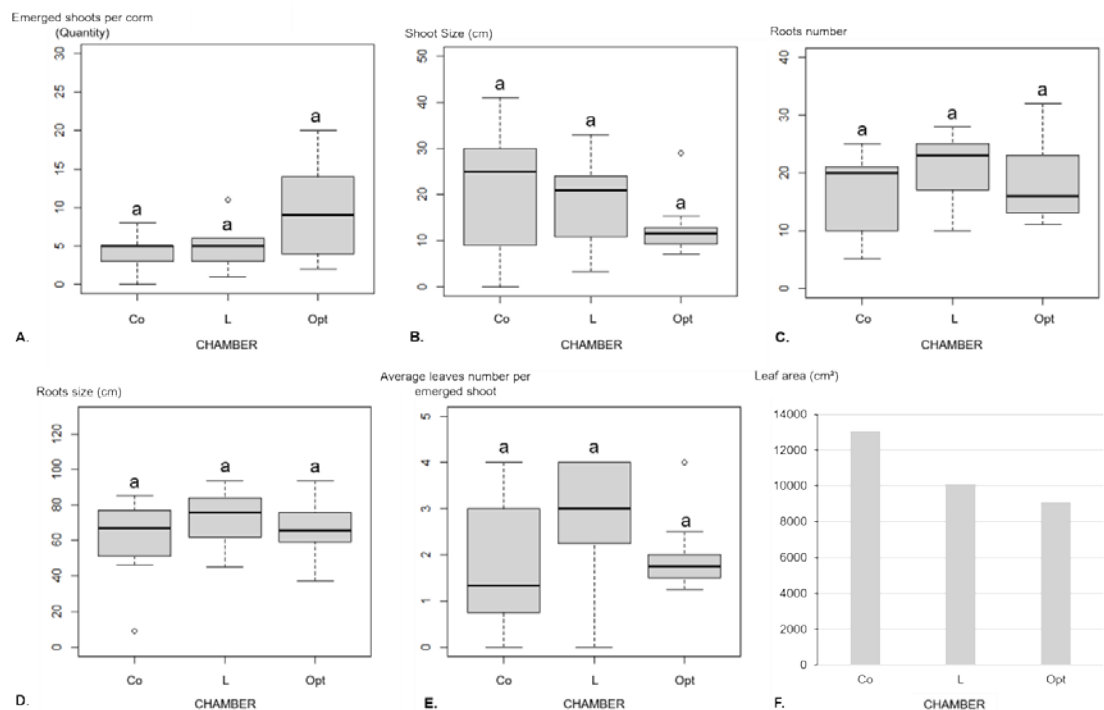


Figure 5: Response variable for the light and optimum step. **A** Quantity of emerged shoots per corm; **B** The ‘Shoot size’ variable corresponds to the average size of emerge shoots (for shoots over 2 centimeters); **C**. The ‘Roots number’ to the average number of roots per corm; **D**. The ‘Root size’ to the largest corm roots; **E**. The ‘Leaves’ to the average leaves number per emerged shoots. **F**. Leaf area. The Co modality corresponds to the control modality, the L modality corresponds to the Light addition modality and the Opt modality to the optimal modality.

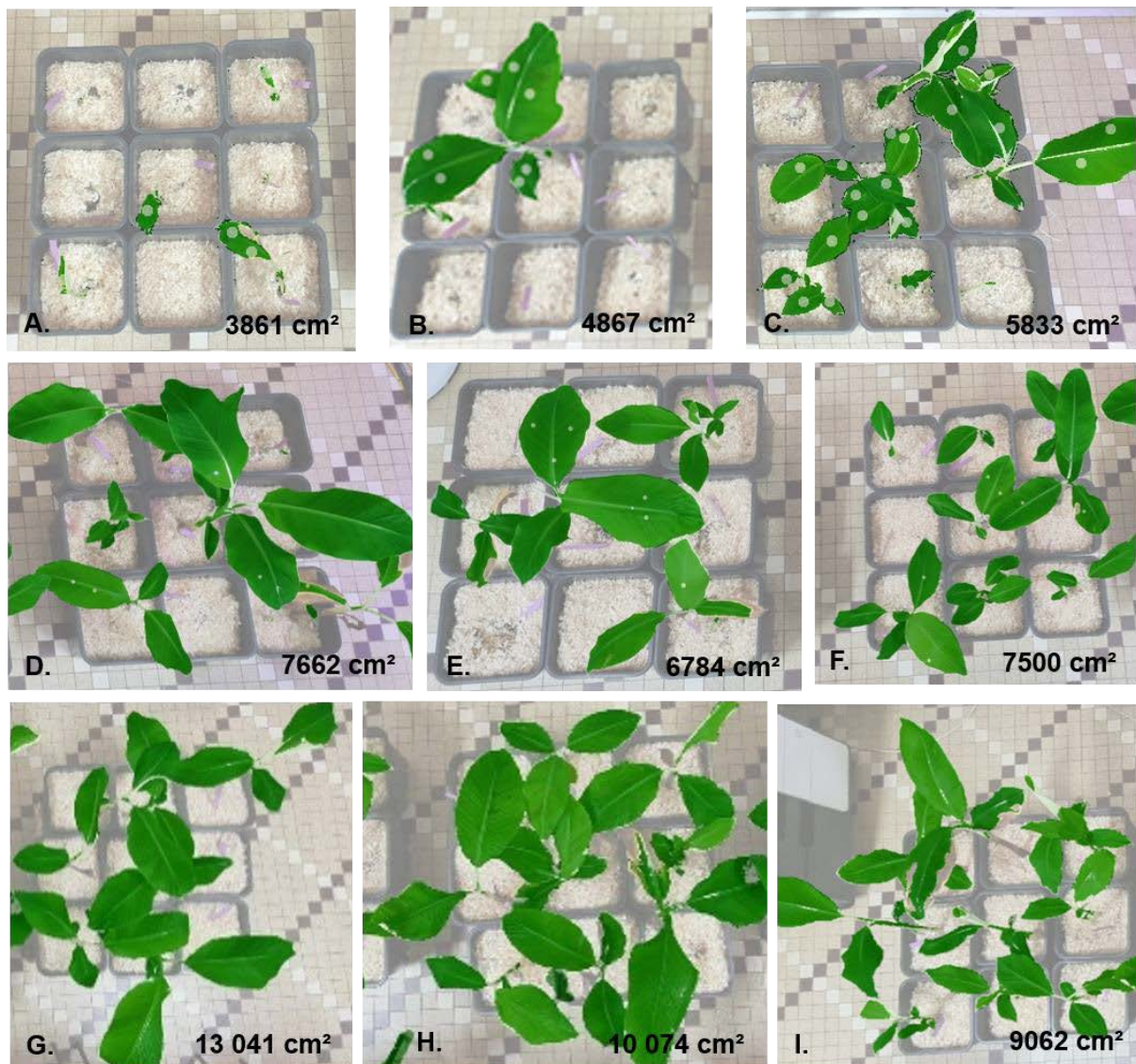


Figure 6: Estimation of 'Leaf area' with Mesurim software (Madre 2013) **A.** Control modality (ambient temperature, with an average of 30°C) (temperature step); **B.** 25°C modality (air conditioning conditions) (temperature step); **C.** 35°C modality (heated chamber) (temperature step); **D.** Control modality (hormone step); **E.** Coconut water modality (hormone step); **F.** Synthetic hormone modality (hormone step); **G.** Control modality (light and optimum step); **H.** Light modality (light and optimum step) and **I.** Optimum modality (light and heater) (light and optimum step).

3.2. Combination of environmental factor (chamber effect) rather than specific effect related to a single factor for the experimental conditions

The objective of this part was to evaluate if a single environmental factor was responsible for the variations observed on the response variables or if several factors were involved. For each step, in every modality, the environmental factors are all systematically and significantly different (Table 3). These results mean that, during each step, the modulated factor was not the only one which have influenced the differences between response variables.

For the temperature step, Post-hoc Bonferroni-adjusted tests confirmed that the differences were significant between each chamber for all the environmental factors. The results were the same for the hormone step, post-hoc Bonferroni-adjusted tests confirmed that the differences were significant between each chamber for all the environmental factors.

For the light and optimum step, post-hoc Bonferroni-adjusted tests confirmed that the differences were significant between each chamber for all the environmental factors but were more important for T_{AIR} between chamber 1 and 3 and 2 and 3 ($P = 2e-16$) than between chamber 1 and 2 ($P = 1.2e-8$). The differences were significant between each chamber for all the other factors ($P = 2e-16$).

Growing degree days vary between growth chambers even when temperature was not controlled, especially during the hormone step (Table 4).

Thus, the performance of PIF technique, measured through environmental factors, could be better explained by a chamber effect link to a combination of environmental factors, rather than the effect of a single factor.

Table 3: Experimental conditions. A Friedman test was performed to compare the environmental factors between the three growth chambers for each step. Significant differences are marked by an asterisk (*). T_{AIR} corresponds to the air temperature (in °C), HR to relative humidity, TS to substrate temperature (in °C), PAR to the Photosynthetically Active Radiation and TDR to the Time Domain Reflectometry (a measure to estimate the water content in the substrate)

Step	Temperature	Hormone	Light + Optimum
Environmental factors	<i>P</i> -value**	<i>P</i> -value**	<i>P</i> -value**
T_{AIR}	< 2.2e-16*	< 2.2e-16*	< 2.2e-16*
HR	< 2.2e-16*	< 2.2e-16*	< 2.2e-16*
TS	< 2.2e-16*	< 2.2e-16*	< 2.2e-16*
PAR	< 2.2e-16*	< 2.2e-16*	< 2.2e-16*
TDR	< 2.2e-16*	< 2.2e-16*	< 2.2e-16*

Table 4: Growing degree days (GDD) (°C) in each chamber for each step. The GDD corresponds to the maximum temperature plus the minimum temperature, divided by two, minus the base temperature. The temperature chosen for these calculations was 12°C according to the work carried out by (Chaves *et al.* 2009; Turner *et al.* 2016)

Temperature step			
Modality	Control	25°C	35°C
GDD (°C)	1026	783	1082
Hormone step			
Modality	Control	Coconut water	Synthetic hormone
GDD (°C)	1257	1258	1313
Light + Optimum step			
Modality	Control	Light	Optimum (light + heater)
GDD (°C)	972	973	1060

3.3. Relationships between corms' weight and quantity

3.3.1. Not statistically significant correlation between corms' weight and the number of emerged shoots

The correlations between corms' weight and the response variables are not statistically different for each step (Table 5). However, even if the correlations are not statistically significant for these steps, we could identify that the number of shoots emergences per corm (quantity) was higher for the corms between 200 and 400 grams rather than for heavier corms.

Table 5: Correlation between corms' weight and response variables (Quantity, Shoot size, Roots (number), Roots size and Leaves). A Spearman correlation test was performed to evaluate the correlation. Significant differences are marked by an asterisk (*).

Step	Quantity	Shoot Size	Roots (number)	Roots Size	Leaves
Temperature					
R ²	0.01	9.78e-02	0.38	0.28	0.05
P-value	0.96	0.63	0.05	0.17	0.81
Hormone					
R ²	0.16	0.23	0.28	0.20	0.08
P-value	0.42	0.24	0.16	0.32	0.69
Light + Optimum					
R ²	0.13	-0.08	0.02	-0.09	-0.25
P-value	0.52	0.7	0.91	0.67	0.21

3.3.2. Interaction effect between chamber effect and corms' weight on PIF performances

The interaction of the corms' weight and the chamber effect (combination of environmental factors) on the response variables were not statistically significant, except for the 'shoot size' in the 'light and optimum' step (Table 6). For the 'temperature' and 'light and optimum' steps, the chamber effect was significant for the root size and the quantity, respectively. No effect was significant for the 'hormone' step.

Table 6: Interaction effect between chamber effect and corms' weight on response variables. Significant differences are marked by an asterisk (*).

Step	Temperature	Hormone	Light + Optimum
QUANTITY			
<i>P</i> -value Chamber	0.11	0.15	0.05*
<i>P</i> -value Class (weight)	0.21	0.68	0.85
<i>P</i> -value Interaction Chamber and Perimeter or Weight class	0.51	0.67	0.96
SHOOT SIZE			
<i>P</i> -value Chamber	0.73	0.22	0.24
<i>P</i> -value Class (weight)	0.11	0.32	0.41
<i>P</i> -value Interaction Chamber and Weight class	0.13	0.84	0.01*
ROOTS NUMBER			
<i>P</i> -value Chamber	0.70	0.16	0.46
<i>P</i> -value Class (weight)	0.70	0.15	0.83
<i>P</i> -value Interaction Chamber and Weight class	0.89	0.41	0.28
ROOTS SIZE			
<i>P</i> -value Chamber	0.04*	0.08	0.45
<i>P</i> -value Class (weight)	0.28	0.64	0.68
<i>P</i> -value Interaction Chamber and Weight class	0.25	0.98	0.11
LEAVES			
<i>P</i> -value Chamber	0.32	0.79	0.38
<i>P</i> -value Class (weight)	0.23	0.29	0.26
<i>P</i> -value Interaction Chamber and Weight class	0.23	0.88	0.05

The curves do not all have the same trend as shown in Figure 7 with the example of the temperature step (the same results were identified for the other steps). Thus, the corms do not react in the same way between the chambers.

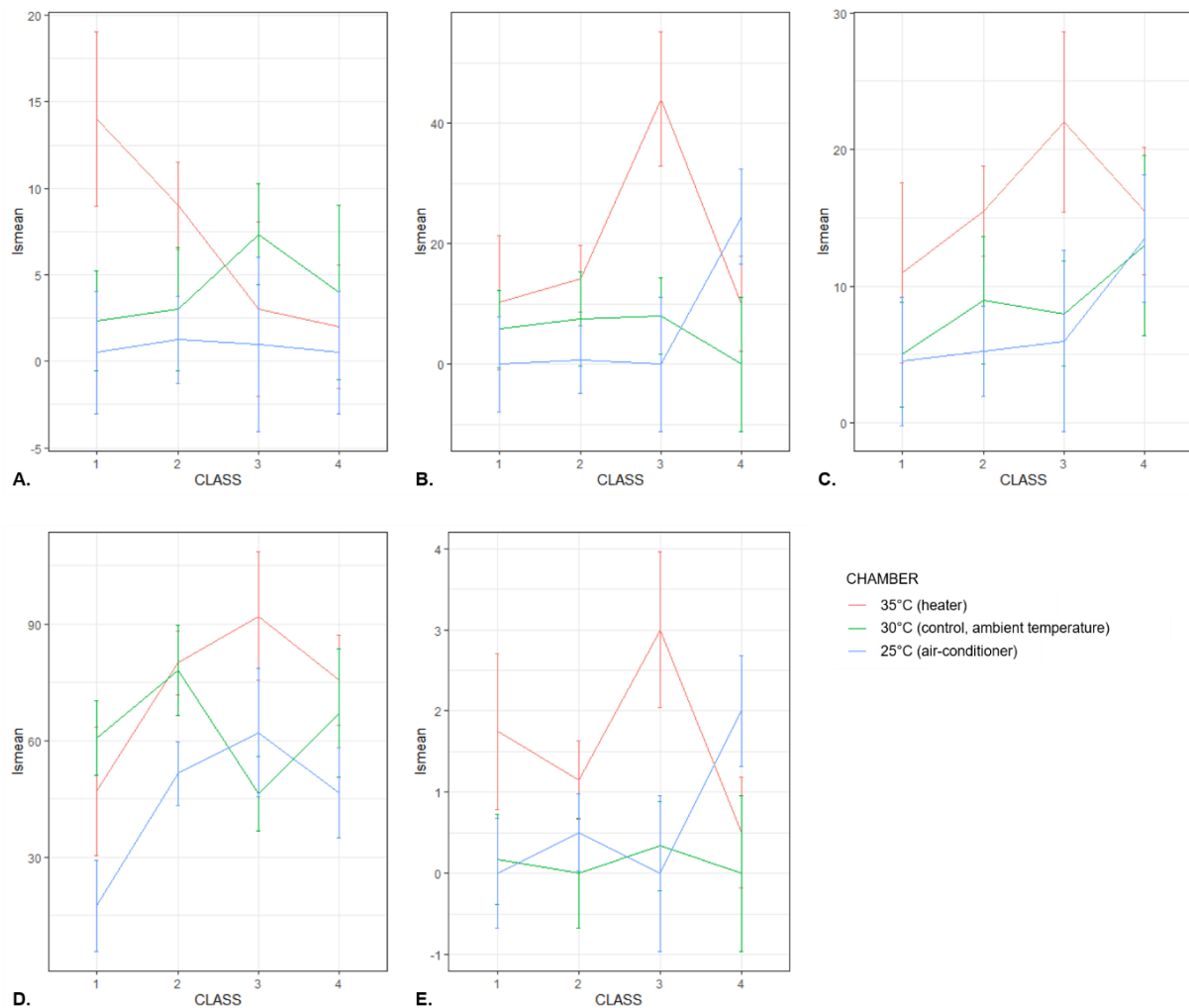


Figure 7: Interaction plots to evaluate the interaction between the chamber effect (environmental factors) and corms' weight. These plots are for the temperature step **a**. Interaction effect on 'quantity'; **b**. Interaction effect on 'shoot size' **c**. Interaction effect on 'root number'; **d**. Interaction effect on 'root size'; **e**. Interaction effect on 'leaves' (average number per corm). Four classes of weight were defined: class 1 = [100-300[grams; class 2 = [300 to 500 grams [; class 3 = [500-700[grams and class 4 over 700 grams.

3.4. Estimation of viral sanitation of PIF technique

In order to assess the sanitary risks of the PIF technique, the potential of vertical transmission (from infected corms to generated shoots) of virus was evaluated using molecular detection tools. Firstly, the viral status of 'French clair' variety in Guadeloupe was assessed using 75 suckers randomly selected throughout production areas. After indexing for the six banana-infecting viruses (BanMMV, BBrMV, BBTv, BSV, BVX and CMV), only BanMMV was detected with a very high prevalence of 74.7% (56/75; Supplementary Table S3). BanMMV indexing was therefore undertaken for 32 mother suckers (suckers used for PIF technique) from leaves collected just before preparing the corm for PIF technique, and BanMMV was detected in 13 mothers' suckers (Supplementary Table S3). Following the production of shoots by the PIF technique, shoots from BanMMV-infected mother suckers were also indexed only for BanMMV. Among the 30 analyzed samples, 11 were negative for BanMMV, although the quality of their cDNA was good, as it reacted with housekeeping primers (Supplementary Table S3).

4. Discussion

The objective of this study was to identify the environmental factors that have the greatest impact on the performance of the PIF technique. We first analyzed the response variables and the environmental factors separately and we identified that the performances (response variables factors) were significantly higher in the chamber with higher temperature during the ‘temperature step’. This result is coherent with the results obtained by Turner *et al.*, (2007) on the positive correlation between a higher Growing-Degree-Days (GDD) and the bunch initiation development.

In other conditions, the performance of the PIF technique was not increased significantly. Thus, we did not statistically demonstrate that the addition of light or hormones allow improving the efficiency of PIF technique, but it allows to identify trends. The performance of each response variable was higher with the addition of light or synthetical hormone for the ‘leaf area’. It has been shown that for other species, notably tulips, the addition of hormones (Gibberellic Acid) significantly affects vegetative characteristics (Ramzan *et al.* 2014).

We can hypothesize that the non-significance of the results is related to the small sample size and that it would be appropriate to conduct tests on a larger scale to confirm or not the identified trends. For the specific case of coconut water, we plunged shelled corms into coconut water. A bath before the stages of corms preparation would be a way to explore since rots were probably related to the fact that the corms were naked. The characterization of the composition of the coconut water would also be interesting to discuss. Indeed the physico-chemical composition of coconut water depends on the variety (Ma *et al.* 2008) and on the phenological state (Jackson *et al.* 2004). Coconut water from immature fruits was reported to produce better results than water from mature fruits (Yong *et al.* 2009).

Environmental factors combination impact on response variables

We also identified that between the different chambers, several environmental factors varied as only one was controlled and thus modified. Indeed, some environmental factors are correlated, the substrate temperature (TS) and the air temperature (TAIR) on the one hand, and the TDR (Time-Domain Reflectometry) and relative humidity (HR) on the other hand. In addition, the relative humidity depends on the temperature (Bergeron and Naud 1995), thus it explains why it is more a chamber effect rather than the effect of an isolated environmental factor. The interconnection between two other factors (Photosynthetically Active Radiation (PAR) and temperature was

clearly shown that there is a link between light and hormone production by weed seeds, for germination process, such as giberellin (GA) (Batlla and Benech-Arnold 2014).

Other factors were not tested in this experiment but could be tested in later steps. In particular the variety effect (Dépigny and Damour 2022) which was tested by Kwa (2003) in combination with other factors (temperature, humidity, etc.) or the substrate effect, since Monono *et al.*, (2018) showed that there were significant differences according to the type of substrate and in particular with the use of palm male inflorescence.

No correlation between corms' weight and number of shoot emergence (quantity)

As the corms were distributed homogeneously in the growth chambers, to avoid the weight effect, the correlation was not statistically significant between corms' weight and the quantity. But, a positive correlation was identified during preliminary steps. A positive correlation between corm size and vegetative performance was demonstrated by Hasanuzzaman *et al.*, (2023) for the onion.

Interaction phenomena between chamber effect and perimeter or weights' corm on response variables

For interaction phenomena we did not show that the chamber effect and the corms' weight interacted and had a significant impact on response variable, except in one case (during the 'light and optimum' step on the shoot size factor).

However, the curves cross each other in the interaction graphs, which may suggest that there are interactions. Here again, a larger scale test would allow to confirm or not the trends, since these are the first statistical tests conducted on such an interaction.

Experimental set-up

This experimentation made it possible to test a set up for controlled condition. It allowed a comfort of experimentation as well as the statistical confirmation of the trends identified by Kwa, (2003). It also allowed to identify new trends (with the light and the synthetical hormone addition). However, some points need to be improved, especially the use of heating or air conditioning as it impact the relative humidity, as suggested by Fouda and Melikyan, 2011.

Sanitary risk

Unlike the use of vitroplants as planting material, the use of shoot from PIF technique does not guarantee the sanitary status of planting material. Indeed, even if foliar fungi contamination does not occur with the used of shoots from PIF technique as leaves were removed during the preparation, nematodes and weevils' larvae may remain if the corm is not cut properly. Concerning viral contamination, vegetative multiplication, like PIF, can lead to the spread of viruses from contaminated shoots. However, we demonstrated that PIF technique might be a way to eliminate some viruses, like BanMMV, with a moderate sanitation rate of 36.7% (11 sanitized shoots/30 shoots produced from BanMMV-infected mother suckers). The sanitation of BanMMV can be explained by the fact that shoots generated during PIF process directly originated from meristematic cells, which are in most cases virus-free. Thus, considering that BanMMV causes weak impact on banana production (European Food Safety Authority (EFSA) 2008) and that the PIF technique may eliminate this virus, the PIF technique does not cause high sanitary risks in Guadeloupe, if done properly. However, further studies are required to improve the sanitary rate of BanMMV by the PIF technique.

Specific context

The experiment presented in this work was carried out in Guadeloupe, where the dissociation between Cavendish intended for export in structured channel market and plantain intended for the local market is also present. In this context, the PIF technique has already been adopted by some farmers, but they highlighted a number of difficulties, including the time required to set up this technique and the small number of produced shoots (Bezard *et al.* 2023b, c, a). However, by optimizing this technique, farmers will be able to reduce their production costs and increase their autonomy.

5. Conclusion

In this experiment, we highlighted the important factors for optimizing the PIF technique. These factors are easily controllable, which can be of major interest to farmers who lack plantain shoots. Furthermore, this technique, set up by respecting the good practices, does not present any sanitary risk.

These results open perspectives for research. Larger scale tests could confirm or refute the trends identified. The experimental setup could be improved with the addition of a fogger to control humidity as the temperature increases.

For the farmers, these results are interesting since the factors identified as significantly impacting are factors that can be controlled by creating 'greenhouse' devices with a warm and humid environment. The other factors identified in the trends could present interesting perspectives in nursery type production conditions.

Acknowledgments

The authors are grateful to the Regional Council of Guadeloupe for its support of the PhD project, to the European Union for funding the FEDER project AgroEcoDiv, FEADER project IntensEcoShootain, INTERREG project CambioNet and to the experimental unit PEYI of INRAE Antilles Guyana Center for co-funding the PhD project. Special thanks go to the technicians Damien Hubert, Lina Alidor, Christophe Latchman, Pierre Marival, Bruno Cayaci, Mathieu Chaumien and David Labirin, to the trainees Raphaël Morin, Alexia Crézé, Wylliam Darmalingon, Thomas Sardo and Florent Zabal, who took part in the first trials since 2017, to Regis Tournebize for the reflection, to Audrey Ganteil and Matthieu Bonneau for help with statistics and to the entire PEYI experiment unit for logistical support.

Declarations of competing interest

The authors declare that they have no conflicts of interest.

Funding

This study was funded by the Regional Council of Guadeloupe for the thesis scholarship (Grant number CR / 5-2020 signed 14 August 2020); This study was co-funded by the European Union (European Regional Development Fund, Grant number 2015-FED-202 GP0007652 and 2019-FED-33 GP0022338 for the second tranche fund) and the Regional Council of Guadeloupe (Grant number CR / 16-68 signed 28 September 2016) in the AgroEcoDiv project; This study was also co-funded by the European Union (Grant number CR-FEADER-1420-DCEP-1456 RITA2-Domaine Vegetal) in the IntensEcoShootain; This study was also co-funded by the European Union (European Regional Development Fund, Grant INTERREG V Caraïbes number 7629 signed May 2021); This study was also co-funded by the PEYI experiment unit.

Conflicts of interest/Competing interests

The authors declare that they have no conflicts of interest.

Authors' contributions

Marie Bezar, David Hammouya, Thierry Bajazet, Marie Umber, Jean-Louis Diman and Harry Ozier Lafontaine contributed to the study conception and design. All authors contributed to the

development of the methodology. The data collection was performed by Marie Bezard, Marion Villard and Simon Pourrat. Marie Bezard and Marie Ueber performed the molecular viral indexation. The data visualization was prepared by Marie Bezard, the first draft of the manuscript was written by Marie Bezard and all authors commented on earlier versions of the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

References

- Batlla, D., Benech-Arnold, R.L., 2014. Weed seed germination and the light environment: Implications for weed management: Light control of weed seed germination. *Weed Biol. Manag.* 14, 77–87. <https://doi.org/10.1111/wbm.12039>
- Bergeron, A., Naud, C., 1995. L'humidité relative et la température [WWW Document]. URL <https://www.ccq.gouv.qc.ca/index-id=171.html> (accessed 2.24.23).
- Bezard, M., Barlagne, C., Angeon, V., Caperaa, M., Ozier Lafontaine, H., Diman, J.-L., Andrieu, N., 2023a. Adoption of Agroecological Innovations in Plantain Agricultural Innovation System in Guadeloupe: A Disconnect between Network Structure and Functions. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4464450>
- Bezard, M., Barlagne, C., Diman, J.-L., Angeon, V., Morin, R., Ozier Lafontaine, H., Andrieu, N., 2023b. Co-designing innovative plantain cropping systems to support the diversity of agroecological pathways in Guadeloupe. *Agron. Sustain. Dev.* <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00879-8>
- Bezard, M., Hammouya, D., Diman, J.-L., Ozier Lafontaine, H., 2023c. La méthode du PIF : multiplication et assainissement des plants de bananiers plantains à la ferme. *NOV'AE* 9. <https://doi.org/10.17180/novae-2023-NO-art03>
- Bhaya, M.H.M., Al-RazzaqSalim, S., 2019. Impacts of plant growth regulators and light quality on banane (*Musa spp*) micropropagation. *Plant Arch.* . 19, 1379–1385.
- Blas, C., Borja, M.J., Saiz, M., Romero, J., 1994. Broad Spectrum Detection of Cucumber Mosaic Virus (CMV) Using The Polymerase Chain Reaction. *J Phytopathol* 141, 323–329. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.1994.tb01476.x>
- Bora Lukando, N., 2013. Effets des différentes concentrations de lait de noix de Coco sur la prolifération ex-situ de Trois cultivars de Bananier de table (*Musa AAA*) à Kisangani. Université de Kisangani, Kisangani.
- Chaves, B.C., Cayon, C.S., Jones, J.W., 2009. Modeling plantain (*Musa AAB Simmonds*) potential yield. *Agronomia Colombiana* 27, 359–366.
- Dépigny, S., Damour, G., 2022. Trait-based description of the agronomic and usage potential of a range of plantain varieties from Cameroon. *Ex. Agric.* 58, e53. <https://doi.org/10.1017/S0014479722000503>
- Dibi, K.E.B., Kouakou, A.M., Camara, B., N'zue, B., Zohouri, P.G., 2016. Inventaire des méthodes de production de semenceaux d'igname (*Dioscorea spp*) : une revue de la littérature. *J Anim Plant Sci* 29, 19.
- European Food Safety Authority (EFSA), 2008. Pest risk assessment made by France on Banana mild mosaic virus (BanMMV) considered by France as harmful in French overseas departments of French Guiana, Guadeloupe, Martinique and Réunion - Scientific Opinion of the Panel on Plant Health. *EFS2* 6. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2008.652>
- FAO, 2023. FAOSTAT.

- Foissac, X., Svanella-Dumas, L., Gentit, P., Dulucq, M.-J., Marais, A., Candresse, T., 2005. Polyvalent Degenerate Oligonucleotides Reverse Transcription-Polymerase Chain Reaction: A Polyvalent Detection and Characterization Tool for Trichoviruses, Capilloviruses, and Foveaviruses. *Phytopathology* 95, 617–625. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-95-0617>
- Fouda, A., Melikyan, Z., 2011. A simplified model for analysis of heat and mass transfer in a direct evaporative cooler. *Appl. Therm. Eng.* 31, 932–936. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.11.016>
- Gayral, P., Noa-Carranza, J.-C., Lescot, M., Lheureux, F., Lockhart, B.E.L., Matsumoto, T., Piffanelli, P., Iskra-Caruana, M.-L., 2008. A Single Banana Streak Virus Integration Event in the Banana Genome as the Origin of Infectious Endogenous Pararetrovirus. *J Virol* 82, 6697–6710. <https://doi.org/10.1128/JVI.00212-08>
- George, E.F., Hall, M.A., Klerk, G.-J. de, 2008. *Plant propagation by tissue culture*, Springer. ed. Springer, Dordrecht.
- Gold, C.S., Pena, J.E., Karamura, E.B., 2001. Biology and integrated pest management for the banana weevil *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Coleoptera: Curculionidae). *J. Integr. Pest Manag.* 6, 79–155. <https://doi.org/10.1023/A:1023330900707>
- Haegeman, A., Elsen, A., De Waele, D., Gheysen, G., 2010. Emerging molecular knowledge on *Radopholus similis*, an important nematode pest of banana. *Mol. Plant Pathol.* 11, 315–323. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2010.00614.x>
- Hasanuzzaman, S.M., Islam, M.K., Alim, M.A., Hossainuzzaman, S.M., Hasan, M.S., 2023. Effect of Bulb Sizes and Varieties on Growth, Yield and Quality of Onion Seeds. *SFNA* 4, 11–19. <https://doi.org/10.26480/sfna.01.2023.11.19>
- Iskra-Caruana, M., Galzi, S., Laboureau, N., 2008. A reliable IC One-step RT-PCR method for the detection of BBrMV to ensure safe exchange of *Musa* germplasm. *J. Virol. Methods* 153, 223–231. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2008.06.028>
- Jackson, D.L., Walker, J.R.L., McWha, J.A., 1985. The use of light-emitting diodes (LEDs) as green and red/far-red light sources in plant physiology. *J. Biol. Educ.* 19, 79–82. <https://doi.org/10.1080/00219266.1985.9654691>
- Jackson, J.C., Gordon, A., Wizzard, G., McCook, K., Rolle, R., 2004. Changes in chemical composition of coconut (*Cocos nucifera*) water during maturation of the fruit. *J. Sci. Food Agric.* 84, 1049–1052. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1783>
- Kapadia, C., Patel, N., 2021. Sequential Sterilization of Banana (*Musa* Spp.) Sucker Tip Reducing Microbial Contamination With Highest Establishment Percentage. *Bangladesh J. Bot.* 50, 1151–1158. <https://doi.org/10.3329/bjb.v50i4.57083>
- Kwa, M., 2003. Activation de bourgeons latents et utilisation de fragments de tige du bananier pour la propagation en masse de plants en conditions horticoles in vivo. *Fruits* 58, 315–328. <https://doi.org/10.1051/fruits:2003018>

- Kwa, M., Temple, L., 2019. Le bananier plantain. Quae, CTA, Presses agronomiques de Gembloux, Wageningen (The Netherlands), Versailles (France), Gembloux (Belgium).
<https://doi.org/10.35690/978-2-7592-2680-1>
- Lassoudière, A., 2007. Le bananier et sa culture. Quae, Versailles, France.
- Le Provost, G., Iskra-Caruana, M.-L., Acina, I., Teycheney, P.-Y., 2006. Improved detection of episomal Banana streak viruses by multiplex immunocapture PCR. *J. Virol. Methods* 137, 7–13.
<https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2006.05.021>
- Lockhart, B.E.L., 2002. Management of viral diseases of banana. Presented at the Asociacion de Bananeros de Colombia, Cartagena de Indias, Colombia, p. 5.
- Ma, Z., Ge, L., Lee, A.S.Y., Yong, J.W.H., Tan, S.N., Ong, E.S., 2008. Simultaneous analysis of different classes of phytohormones in coconut (*Cocos nucifera* L.) water using high-performance liquid chromatography and liquid chromatography–tandem mass spectrometry after solid-phase extraction 8. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.01.045>
- Madre, J.-F., 2013. Mesurim Pro.
- Mansoor, S., Qazi, J., Amin, I., Khatri, A., Khan, I.A., Raza, S., Zafar, Y., Briddon, R.W., 2005. A PCR-Based Method, With Internal Control, for the Detection of Banana Bunchy Top Virus in Banana. *Mol. Biotechnol.* 30, 167–170. <https://doi.org/10.1385/MB:30:2:167>
- Mboula, L.S., 2014. Ecophysiology of dwarf plantain in hybrids in peri-urban areas of Cameroon. Université catholique de Louvain, Belgique.
- Mettananda, Sk.A., Fordham, Sr., 1999. The effects of plant size and leaf number on the bulbing of tropical short-day onion cultivars (*Allium cepa* L.) under controlled environments in the United Kingdom and tropical field conditions in Sri Lanka. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 74, 622–631.
<https://doi.org/10.1080/14620316.1999.11511164>
- Monono, E.Y., Ngale, J.E., Dopgima, L.L., Njukang, A.P., 2018. Use of Palm Male Inflorescence and River-Sand as Acclimatization Substrate for Plantain (*Musa* sp.) Cultivars. *Biotechnol. J. Int.* 21, 1–10. <https://doi.org/10.9734/BJI/2018/43879>
- Mukwa Fama Tongo, L., 2016. Les virus du bananier et plantain (*Musa* spp.) en République démocratique du Congo : occurrence, identification de nouveaux virus et diversité génétique. Université catholique de Louvain, Belgique.
- Nasib, A., Ali, K., Khan, S., 2008. An optimized and improved method for the In vitro propagation of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) using coconut water. *Pak. J. Bot.* 40, 7.
- Olumba, C., Onunka, C., 2020. Banana and plantain in West Africa: Production and marketing. *African J. Food, Agric. Nutr. Dev.* 20, 15474–15489. <https://doi.org/10.18697/ajfand.90.18365>
- Pegg, K.G., Coates, L.M., O'Neill, W.T., Turner, D.W., 2019. The Epidemiology of Fusarium Wilt of Banana. *Front. Plant Sci.* 10, 1395. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01395>

- Pourrat, S., 2022. Influence de la lumière rouge sur la méthode de multiplication végétative et d'assainissement PIF (Plants Issus de Fragment de tige) pour le bananier plantain en Guadeloupe. AgroParisTech, Paris.
- R Core Team, 2022. R: A language and environment for statistical computing.
- Ramzan, F., Younis, A., Riaz, A., Ali, S., Siddique, M.I., Lim, K.-B., 2014. Pre-planting exogenous application of gibberellic acid influences sprouting, vegetative growth, flowering, and subsequent bulb characteristics of 'Ad-Rem' tulip. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 55, 479–488. <https://doi.org/10.1007/s13580-014-0113-7>
- RITA Guadeloupe, 2019. Bilan d'activité - Intensecplantain.
- Sadom, L., Tomekpé, K., Folliot, M., Côte, F.-X., 2010. Comparaison de l'efficacité de deux méthodes de multiplication rapide de plants de bananier à partir de l'étude des caractéristiques agronomiques d'un hybride de bananier plantain (*Musa* spp.). *Fruits* 65, 3–9. <https://doi.org/10.1051/fruits/2009036>
- Scherschel, L., 2017. Les variétés de banane plantain et autres bananes à cuire en Guadeloupe : identification et critères de choix par les producteurs [WWW Document]. URL <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03805680> (accessed 7.28.19).
- Teycheney, P.-Y., Acina, I., Lockhart, B.E.L., Candresse, T., 2007. Detection of Banana mild mosaic virus and Banana virus X by polyvalent degenerate oligonucleotide RT-PCR (PDO-RT-PCR). *J. Virol. Methods* 142, 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2007.01.004>
- Tomekpe, K., Kwa, M., Dzomeku, B.M., Ganry, J., 2011. CARBAP and innovation on the plantain banana in Western and Central Africa. *Int J Agric Sustain* 9, 264–273. <https://doi.org/10.3763/ijas.2010.0565>
- Turner, D.W., Fortescue, J.A., Ocimati, W., Blomme, G., 2016. Plantain cultivars (*Musa* spp. AAB) grown at different altitudes demonstrate cool temperature and photoperiod responses relevant to genetic improvement. *Field Crops Res.* 194, 103–111. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.02.006>
- Turner, D.W., Fortescue, J.A., Thomas, D.S., 2007. Environmental physiology of the bananas (*Musa* spp.). *Braz. J. Plant Physiol.* 19, 463–484. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400013>
- Umber, M., Pichaut, J.P., Farinas, B., Laboureau, N., Janzac, B., Plaisir, K., Pressat, G., Baurens, F.C., Chabannes, M., Duroy, P.O., Guiougou, C., Delos, J.M.E., Jenny, C., Iskra Caruana, M.L., Salmon, F., Teycheney, P.Y., 2016a. Marker-assisted breeding of *Musa balbisiana* genitors devoid of infectious endogenous Banana streak virus sequences 11.
- Umber, M., Pichaut, J.-P., Farinas, B., Laboureau, N., Janzac, B., Plaisir-Pineau, K., Pressat, G., Baurens, F.-C., Chabannes, M., Duroy, P.-O., Guiougou, C., Delos, J.-M., Jenny, C., Iskra-Caruana, M.-L., Salmon, F., Teycheney, P.-Y., 2016b. Marker-assisted breeding of *Musa balbisiana* genitors devoid of infectious endogenous Banana streak virus sequences. *Mol Breeding* 36, 74. <https://doi.org/10.1007/s11032-016-0493-8>
- Umber, M., Pressat, G., Fort, G., Plaisir Pineau, K., Guiougiou, C., Lambert, F., Farinas, B., Pichaut, J.-P., Janzac, B., Delos, J.-M., Salmon, F., Dubois, C., Teycheney, P.-Y., 2022. Risk Assessment of

Infectious Endogenous Banana Streak Viruses in Guadeloupe. *Front. Plant Sci.* 13, 951285.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.951285>

Yan, A., Chen, Z., 2020. The Control of Seed Dormancy and Germination by Temperature, Light and Nitrate. *Bot. Rev.* 86, 39–75. <https://doi.org/10.1007/s12229-020-09220-4>

Yong, J.W., Ge, L., Ng, Y.F., Tan, S.N., 2009. The Chemical Composition and Biological Properties of Coconut (*Cocos nucifera* L.) Water. *Molecules* 14, 5144–5164.
<https://doi.org/10.3390/molecules14125144>

Supplementary Table S1. Sequence of primers and PCR parameters used in this study.

Name	Targeted virus or plant	Sequence	Reference	[Primers] (nM)	[MgCl ₂] (mM)	Annealing temperature	Size of amplification product
PDO-F1i	BanMMV	5' TIT TYA TKA ARW SIC ARY WIT GIA C 3'	Foissac <i>et al.</i> , 2005	800	3	49°C	362 pb
PDO-F2i		5' GCY AAR GCI GGI CAR ACI YTK GCI TG 3'					
PDO-R1i		5' TCH CCW GTR AAI CKS ATI AII GC 3'					
PDO-R3i		5' GCR CAC ATR TCR TCI CCI GCR AAI IA 3'					
PDO-R4i		5' ARI YIC CAT CCR CAR AAM ITI GG 3'					
Bract N1	BBrMV	5' GGR ACA TCA CCA AAT TTR AAT GG 3'	Iskra-Caruana <i>et al.</i> , 2008	400	1.5	57°C	280 pb
Bract NR		5' GTG TGC YTC TCT AGC CCT GTT 3'					
BBTV-FN	BBTV	5' GGC GCG ATA TGT GGT ATG CTG G 3'	Mansoor <i>et al.</i> , 2005	400	2	58°C	290 pb
BBTV-RN		5' CCA AAC TCG AAG GGA CCT TCG 3'					
Gf-F	BSGFV	5' TCG GTG GAA TAG TCC TGA GTC TTC 3'	Le provost <i>et al.</i> , 2006 Umber <i>et al.</i> , 2016	60	1.5	58°C	476
Gf-R		5' ACG AAC TAT CAC GAC TTG TTC AAG C 3'					
Im-F	BSIMV	5' CAC CCA GAC TTT TCT TTC TAG C 3'		200			384
Im-R		5' TGC CAA CGA ATA CTA CAT CAA C 3'					
Mys-F	BSMYV	5' TAA AAG CAC AGC TCA GAA CAA ACC 3'		400			589
Mys-R		5' CTC CGT GAT TTC TTC GTG GTC 3'					
OL-F	BSOLV	5' GCT CAC TCC GCA TCT TAT CAG TC 3'		120			522
OL-R		5' ATC TGA AGG TGT GTT GAT CAA TGC 3'					
MonF2	Musa DNA	5' GTC GAC ACA TGG GAG GAC TT 3'		300			300
MonR2		5' CTT GTT GGG TCT TCA GAG GAA 3'					
BVX1	BVX	5' GCC AAA CTC TCG CTT GTT TC 3'	Teycheney <i>et al.</i> , 2007	800	3	53°C	410 pb
BVX3		5' CCA TTC AAT TTG TAC CTC AAA A 3'					
CMV1-F	CMV	5' GTA GAC ATC TGT GAC GCG A 3'	De Blas <i>et al.</i> , 1998	200	1.5	53°C	540 bp
CMV1-R		5' GCG CGA AAC AAG CTT CTT ATC 3'					
Actine1F	Musa actin gene	5' TCC TTT CGC TCT ATG CCA GT 3'	Gayral <i>et al.</i> , 2008	200	1.5	58°C	420 pb
Actine1R		5' GCC CAT CGG GAA GTT CAT AG 3'					

Supplementary Table S2. Response variables

TEMPERATURE STEP						
Control (average 30°C) modality						
Internal code	Weight (g)	Quantity	Plant Size (cm)	Roots number	Root Size (cm)	Leaves number
PT10	200	1	7	6	40	0
PT22	240	1	0	3	62	0
PT4	280	5	10.5	6	80	0.5
PT12	360	2	15	9	76	0
PT23	380	4	0	9	80	0
PT19	500	1	10	2	14	0
PT25	560	1	14	11	64	1
PT17	680	20	0	11	61	0
PT18	780	4	0	13	67	0
25°C (air-conditionning) modality						
Internal code	Weight (g)	Quantity	Plant Size (cm)	Roots number	Root Size (cm)	Leaves number
PT2	120	0	0	0	0	0
PT5	220	1	0	9	35	0
PT24	300	0	0	8	42	0
PT3	340	1	3	7	57	2
PT7	400	1	0	3	51	0
PT26	480	3	0	3	56	0
PT15	520	1	0	6	62	0
PT16	760	0	0	2	31	0
PT27	940	1	49	25	62	4
35°C (heater) modality						
Internal code	Weight (g)	Quantity	Plant Size (cm)	Roots number	Root Size (cm)	Leaves number
PT1	120	14	10.25	11	47	1.75
PT13	300	4	19	6	80	1
PT11	340	16	11.25	18	78	1.5
PT21	380	11	15.5	26	82	1.5
PT8	440	5	10.8	12	80	0.6
PT14	580	3	44	22	92	3
PT9	740	1	20	14	66	1
PT6	760	3	0	17	85	0

HORMONE STEP						
Control modality						
Internal code	Weight (g)	Quantity	Plant Size (cm)	Roots number	Root Size (cm)	Leaves number
PH12	260	4	22.00	20	92	3.00
PH18	240	0	0.00	0	0	0.00
PH23	360	3	17.00	33	86	3.00
PH10	100	18	6.17	17	95	2.50
PH24	440	1	29.00	13	118	5.00
PH11	200	0	0.00	0	0	0.00
PH30	540	7	12.00	31	80	1.50
PH6	240	10	8.19	23	104	2.13
PH25	320	1	5.00	11	53	2.00
Coconut Water modality						
Internal code	Weight (g)	Quantity	Plant Size (cm)	Roots number	Root Size (cm)	Leaves number
PH9	300	0	0	0	0	0.00
PH7	240	0	0	0	0	0.00
PH13	420	14	11.67	18	42	3.33
PH8	180	1	14.50	5	34	5.00
PH22	460	4	12.33	19	97.5	2.33
PH5	220	0	0	0	0	0.00
PH27	660	0	0	0	0	0.00
PH17	260	0	0	0	0	0.00
PH26	340	3	10.67	6	41	2.67
Synthetic hormone modality						
Internal code	Weight (g)	Quantity	Plant Size (cm)	Roots number	Root Size (cm)	Leaves number
PH21	280	3	14.50	17	50	2.50
PH15	240	32	10.83	11	101	2,33
PH29	380	6	11.25	11	90	1.75
PH4	140	0	0.00	0	0	0.00
PH31	460	7	13.00	14	120	2.00
PH20	220	16	28.00	23	129	3.00
PH28	560	6	8.83	7	82	1.67
PH1	240	3	15.00	7	84	2.00
PH14	320	5	19.00	17	80	3.00

LIGHT AND OPTIMUM STEP						
Control modality						
Internal code	Weight (g)	Quantity	Plant Size (cm)	Roots number	Root Size (cm)	Leaves number
PL9	502	0	0.00	5	9	0.00
PL17	375	5	2.90	7	46.5	0.00
PL35	244	3	26.00	10	77	4.00
PL25	278	5	41.00	21	80	1.33
PL1	572	6	9.00	16	70.5	0.75
PL6	482	5	30.00	20	67	3.00
PL38	175	1	25.00	20	85.5	4.00
PL29	333	3	10.50	25	51	1.00
PL31	778	8	38.00	24	59	3.00
Light modality						
Internal code	Weight (g)	Quantity	Plant Size (cm)	Roots number	Root Size (cm)	Leaves number
PL30	512	3	21	13	84	2.50
PL37	282	11	9.75	17	76	2.25
PL5	240	1	24.00	24	45	4.00
PL12	414	5	25.00	23	62	4.00
PL16	523	5	21.00	27	93,5	3.50
PL20	192	1	23	25	81,5	4.00
PL11	473	6	11	19	90	1.00
PL24	290	6	33	28	72	3.00
PL2	813	6	3.25	10	45	0.00
Optimum (Light + heater) modality						
Internal code	Weight (g)	Quantity	Plant Size (cm)	Roots number	Root Size (cm)	Leaves number
PL8	492	4	9.25	32	37	1.50
PL3	345	20	9.33	20	76	1.50
PL19	252	19	8.88	11	66	1.25
PL18	264	5	11.63	16	50	2.50
PL21	645	4	29.00	11	72	4.00
PL14	484	2	15.25	23	62	2.00
PL34	151	13	7.06	13	59.5	1.50
PL27	341	9	11.88	14	93.5	1.75
PL23	646	14	12.75	32	85	2.00

Supplementary Table S3. Indexing results for all samples analyzed in this study. The green part of the table corresponds to the banana plant tested for the evaluation of viral status; the dark orange to the mother plant used for PIF production and tested for BanMMV detection and the light orange to the shoots produced from PIF method and tested for BanMMV detection. ND means Not Determined.

Samples			Location			Virus indexing results								
Varieties	Internal code	Species	Date of collection	Country of origin	Municipality	BanMMV	BBrMV	BBTV	BSGFV	BSIMV	BSMYV	BSOLV	BVX	CMV
French Clair	B1	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B2	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B3	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B4	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B5	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B6	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B7	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B8	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B9	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B10	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B11	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B12	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B14	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B15	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B16	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B17	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-

French Clair	B18	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B19	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B20	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B21	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B22	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B23	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	-	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B24	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	-	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B25	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	-	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B26	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	-	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B27	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B28	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B29	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B30	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B31	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B32	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B33	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B34	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B35	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B36	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B37	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-

French Clair	B38	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B39	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B40	<i>Musa</i> spp.	24/07/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-
French Clair	B100	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B101	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B103	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	-	-	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B104	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	-	-	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B105	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	-	-	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B106	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	-	-	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B111	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B112	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	-	-	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B113	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B114	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B115	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B117	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B119	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	-	-	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B122	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	-	-	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B124	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B129	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	-	-	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B130	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	-	-	-	-	-	-

French Clair	B131	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B132	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B133	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	-	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B134	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B135	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	-	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B136	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	-	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B137	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	-	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B138	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	-	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B139	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B140	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B141	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B142	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	-	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B143	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B144	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	-	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B145	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B146	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B147	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B148	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	-	-	-	-	-
French Clair	B149	<i>Musa</i> spp.	29/08/2017	Guadeloupe	Capesterre Belle-Eau	+	-	-	-	-	-	-	-

Samples			Location			Virus indexing results								
Varieties	Internal code	Species	Date of collection	Country of origin	Municipality	BanMMV	BBrMV	BBTV	BSGFV	BSIMV	BSMYV	BSOLV	BVX	CMV
French Clair	L32 mp	<i>Musa</i> spp.	08/03/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	L32-1	<i>Musa</i> spp.	26/07/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	L32-2	<i>Musa</i> spp.	26/02/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	L32-3	<i>Musa</i> spp.	26/02/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PH13 mp	<i>Musa</i> spp.	26/07/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PH13-1	<i>Musa</i> spp.	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PH30 mp	<i>Musa</i> spp.	26/07/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PH30-1	<i>Musa</i> spp.	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PH30-2	<i>Musa</i> spp.	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL1 mp	<i>Musa</i> spp.	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL1-1	<i>Musa</i> spp.	18/01/2023	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL1-2	<i>Musa</i> spp.	18/01/2023	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL2 mp	<i>Musa</i> spp.	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL2-1	<i>Musa</i> spp.	18/01/2023	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL2-2	<i>Musa</i> spp.	18/01/2023	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL3 mp	<i>Musa</i> spp.	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL3-1	<i>Musa</i> spp.	18/01/2023	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL3-2	<i>Musa</i> spp.	18/01/2023	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Partie 3. Résultats

French Clair	PL3-3	<i>Musa</i> spp.	18/01/2023	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL5 mp	<i>Musa</i> spp.	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL6 mp	<i>Musa</i> spp.	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL6-1	<i>Musa</i> spp.	18/01/2023	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL6-2	<i>Musa</i> spp.	18/01/2023	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL8 mp	<i>Musa</i> spp.	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL9 mp	<i>Musa</i> spp.	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL11 mp	<i>Musa</i> spp.	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL12 mp	<i>Musa</i> spp.	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL14 mp	<i>Musa</i> spp.	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL14-1	<i>Musa</i> spp.	18/01/2023	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL14-2	<i>Musa</i> spp.	18/01/2023	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL16 mp	<i>Musa</i> spp.	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL16-1	<i>Musa</i> spp.	18/01/2023	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL16-2	<i>Musa</i> spp.	18/01/2023	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL17 mp	<i>Musa</i> spp.	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL17-1	<i>Musa</i> spp.	18/01/2023	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL17-2	<i>Musa</i> spp.	18/01/2023	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL18 mp	<i>Musa</i> spp.	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL19 mp	<i>Musa</i> spp.	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Partie 3. Résultats

French Clair	PL20 mp	<i>Musa spp.</i>	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL20-1	<i>Musa spp.</i>	18/01/2023	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL20-2	<i>Musa spp.</i>	18/01/2023	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL21 mp	<i>Musa spp.</i>	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL23 mp	<i>Musa spp.</i>	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL24 mp	<i>Musa spp.</i>	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL25 mp	<i>Musa spp.</i>	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL25-1	<i>Musa spp.</i>	18/01/2023	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL25-2	<i>Musa spp.</i>	18/01/2023	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL25-3	<i>Musa spp.</i>	18/01/2023	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL25-4	<i>Musa spp.</i>	18/01/2023	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL27 mp	<i>Musa spp.</i>	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL29 mp	<i>Musa spp.</i>	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL30 mp	<i>Musa spp.</i>	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL31 mp	<i>Musa spp.</i>	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL34 mp	<i>Musa spp.</i>	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL35 mp	<i>Musa spp.</i>	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL37 mp	<i>Musa spp.</i>	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL37-1	<i>Musa spp.</i>	18/01/2023	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL37-2	<i>Musa spp.</i>	18/01/2023	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

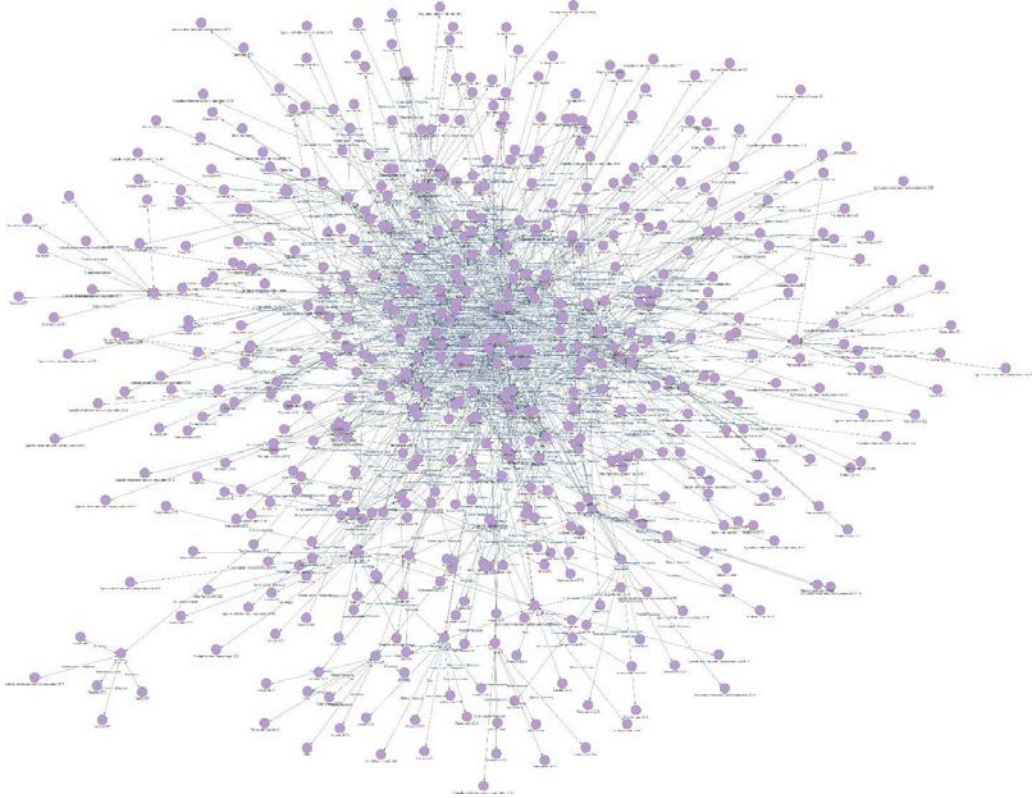
Partie 3. Résultats

French Clair	PL37-3	<i>Musa</i> spp.	18/01/2023	Guadeloupe	Petit-Bourg	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL38 mp	<i>Musa</i> spp.	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL39 mp	<i>Musa</i> spp.	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
French Clair	PL40 mp	<i>Musa</i> spp.	07/11/2022	Guadeloupe	Petit-Bourg	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

2. Conclusion du chapitre 2

La mise en place d'une expérimentation en conditions semi-contrôlées a permis de mettre en évidence qu'une température élevée (supérieure ou égale à 30°C) augmentait significativement les performances de la technique du PIF. D'autres facteurs ont été identifiés comme d'intérêt, l'ajout de lumière rouge et d'hormone de synthèse, bien que les résultats n'aient pas été statistiquement significatifs. La caractérisation de la transmission verticale du virus BanMMV a également permis d'identifier le potentiel assainissant de la technique, puisque 37% des petits plants issus de plants mères infectés ont été assainis. L'identification des facteurs permettant d'augmenter les performances de la technique du PIF ouvre la voie à son optimisation ce qui pourrait permettre de compenser le temps nécessaire à sa mise en place.

Chapitre 3 : Caractériser les réseaux d'acteurs pour identifier les points de blocage



Ce troisième chapitre présente les résultats de l'analyse des réseaux d'acteurs sous-tendant l'adoption de trois types d'alternatives agroécologiques (production de plants sains, gestion de la fertilisation et gestion de l'amendement). Cette analyse a permis de mettre en évidence l'existence d'un AIS plantain composé de réseaux d'innovation interconnectés. Elle a également contribué à l'identification de deux types de réseaux d'acteurs : des réseaux diffus autour des pratiques liées à la modernisation écologique forte et des réseaux centralisés (avec des acteurs issus du système dominant) autour des pratiques liées à la modernisation écologique faible. Des points de blocage à la transition agroécologique ont également été identifiés, en lien avec des fonctions non remplies par les acteurs centraux.

Sous-Question de recherche

Quel type de réseau d'acteur favorise la diffusion d'alternatives agroécologiques ?

1. Article 3: Adoption of agroecological innovations in plantain Agricultural Innovation System in Guadeloupe: A disconnect Between Network Structure and Functions

Statut : A soumettre à « Journal of Rural Studies »

Adoption of Agroecological Innovations in Plantain Agricultural Innovation Systems in Guadeloupe: A Disconnect Between Network Structure and Functions

Marie Bezard^{a*}, Carla Barlagne^b, Valérie Angeon^c, Maud Caperaa^a, Harry Ozier Lafontaine^b, Jean-Louis Diman^a, Nadine Andrieu^{d,e}

*Corresponding author: marie.bezard01@gmail.com, UE PEYI, Centre INRAE Antilles Guyane, Domaine de Duclos, Prise d'eau, 97179 Petit Bourg, France.

^a UE PEYI, INRAE, F-97170 Petit Bourg, France ; ^b UR ASTRO, INRAE, F-97170 Petit Bourg, France ; ^c UR Ecodéveloppement, INRAE, F-84914 Avignon Cedex 9, France ; ^d UMR Innovation, CIRAD, F-97130 Capesterre-Belle-Eau, France ; ^e INNOVATION, Univ Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agro, F-97130 Capesterre, Guadeloupe, France

Highlights

- We seek to better understand how current agricultural innovation systems (AIS) support or hinder agroecological transitions;
- The plantain AIS comprise a diversity of interconnected networks created around practices, alternatives to dominant techniques and strategies;
- A disconnect between the structure of AIS and its functions hinders agroecological transitions;
- Central actors do not always fulfill expected functions and only support a weak agroecological transition;
- Spontaneous farmers organizations have been set up and foster strong agroecological transition.

Abstract

Context: Few studies analyze how agroecological transitions within Agricultural Innovation Systems (AIS) are supported by the structure of and functions fulfilled within those AIS. This is especially true in the case of plantain (*Musa* spp. AAB) production, a key crop for local consumption in Guadeloupe, in the French West Indies.

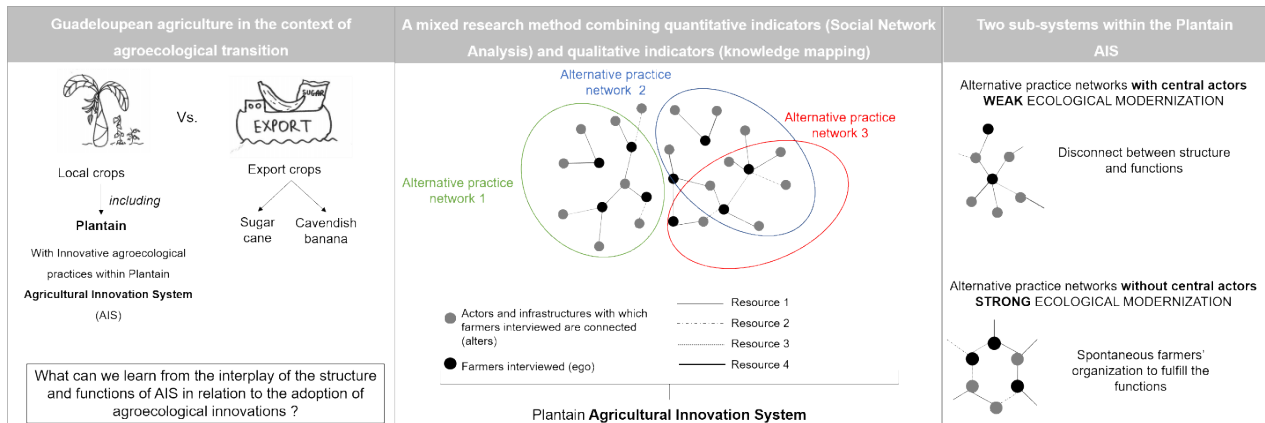
Objective: The main objective of this paper is to better understand how the specific combinations of the structure and functions of an AIS lead to specific patterns of agroecological transition.

Methods: A mixed research method has been used, combining quantitative social network analysis (SNA) with knowledge mapping (via interviews with farmers) in order to analyze the structure and functions (the role that actor play) in the plantain AIS in Guadeloupe. We focused on the networks of actors supporting plant preparation, amendment and fertilization practices.

Results and conclusion: We identified a disconnect between the structure of the networks and the fulfilled functions. Two main types of network were identified, based on the importance of their central actors (in brokerage position) and their engagement in agroecological transition (weak or strong). We found that central actors are responsible for weak agroecological transition when they support certain types of practice (in-vitro plants, imported organic fertilizers and amendments) and do not fulfill key functions (such as enabling financial, knowledge, material resources and labor flows), leading to mistrust on the part of farmers. These unfulfilled functions constitute bottlenecks for which farmers have to compensate by fulfilling the functions themselves, often collectively, creating spontaneous organizations around agroecological practices that support strong agroecological transition.

Significance: A participatory method combining qualitative and quantitative indicators was used to study the relationship between AIS structure and the functions of central actors. The results call for a deeper analysis of the lack of organizational innovations to support strong agroecological transition and of links with the dominant system. They also highlight the need for central actors (such as extension services, agricultural research centers, input suppliers) to reconsider the innovations they propose, in order that they may be in line with farmers' strategies.

Graphical abstract



Key words

Musa spp., AAB; Agricultural Innovation System; Social Network Analysis; Knowledge mapping; French West Indies; Agroecological Transition

1. Introduction

Agricultural systems worldwide are facing major challenges, due in large part to the degradation of ecosystems and exposure to climate risks (Brondízio *et al.* 2019; IPCC 2023). It is hoped that the development of agroecology will help farmers to cope with these issues (Wezel *et al.* 2020), making it possible to address the needs of a growing population through the sustainable management of productive resources, in a context of global change. In order to achieve this, the design of agroecological systems requires new modes of mobilization and circulation of knowledge that enhance innovative interactions between farmers and their environment (Touzard *et al.* 2015).

For a long while, innovation has been seen as the adoption of technological inventions and as a driver of change (Godin 2015) in a technologically deterministic view of societal transformations. Yet, this high regard for technology has meant that the role of farmers' knowledge in enabling agricultural improvements has been underestimated and their social networks have been disregarded. Since the seminal article of Rip and Kemp (1998), this technologically deterministic view has been widely contested. Rip and Kemp (1998) define technological design as configuration, *i.e.* combination of tangible and immaterial assets, such as skills, knowledge and cultural norms. These configurations are embedded in a social context, which is a determinant itself to innovation adoption and diffusion. The diffusion and the adoption of an innovation work when the assets/determinants are 'aligned' and make the configuration works (Geels 2002). Therefore, analyzing the determinants of the adoption and diffusion of innovation is crucial.

The processes of design, adoption and diffusion of innovations take place in an Innovation System (IS), defined as a network of actors (organizations, enterprises, individuals, institutions and policies) generating new products, new processes and new forms of organization (Hall *et al.* 2006; Rajalahti *et al.* 2008; Faure *et al.* 2018). The IS can be described both in terms of its structure and function. We define here the structure of an IS as the actors and organizations that compose the AIS and their characteristics, *i.e.* their place, their role and their intrinsic properties, while the function of the IS refers to the processes underpinning its performances.

Seven functions necessary for the IS to work properly were suggested by Hekkert *et al.* (2007): the entrepreneurial activities, the knowledge development, the knowledge diffusion, the guidance for research, the market formation, the mobilization of resources and the creation of legitimacy.

However, Wieczorek and Hekkert (2012) have shown that the functions studied alone are not a sufficient basis for developing public innovation policies. In particular, because to have an impact on the functions (*e.g.* knowledge dissemination), it is necessary to influence the structure by involving key actors. Hermans *et al.* (2013) show that, in order to up- and out-scale innovations, there is a need to investigate both the role and the functions embraced by the actors within an IS. Those functions are materialized by the links between actors in the Social Network methodology (Borgatti *et al.* 2022). In this paper, the functions are regarded as the role the actor play on the IS and thus in the network.

Analytical frameworks, drawing upon Wieczorek and Hekkert's (2012) have been used to characterize blocking mechanisms within Agricultural Innovation Systems (AIS) (Fielke *et al.* 2018; Minh 2019) and to understand the mechanisms of agricultural innovation diffusion (Torres-Avila *et al.* 2022). But, to our knowledge, gaps remain with regard to the understanding of how given combinations of AIS structures and functions support specific patterns of agroecological transition. In other words, for a given stage in the management of an agricultural crop (*e.g.* fertilization), how the combination of AIS structure and function supports the adoption of one practice rather than another. More precisely, two main pathways have been identified for agroecological transition: weak and strong agroecological transition. The first pathway does not break with dependence on purchased inputs and searches for higher efficiency of mineral fertilizers massively used in conventional agriculture or their substitution by organic inputs for example. The second pathway is based on ecological processes and the enhancement of biodiversity (Horlings and Marsden 2011; Duru *et al.* 2015b, a).

Based on the example of Guadeloupe, a French overseas region consisting of an archipelago of islands in the Caribbean, and specifically on plantain-based production systems (*Musa* spp. AAB), which are mostly owned by smallholder farmers (Bezard *et al.* 2023b), this paper addresses the following research question: What can we learn from the interplay of structure and function in relation to the adoption of agroecological innovations? To answer this question, we use social network analysis (SNA) to gain a deeper understanding of the relationships between the structures and functions of innovation networks within the AIS and how they affect various patterns of agroecological transition. First, we look at the networks created around alternative practices to the dominant technology-centric practices, in order to bring insight regarding the links between

network structure and the way farmers innovate. Second, we focus on the node level (*i.e.* the actors) to discuss the specific role of central actors in the adoption of agroecological practices. And finally, we analyze the link between structures and functions.

2. Conceptual framework

The abundant literature on IS sheds light on the conditions that enable innovation (for a literature review, see Touzard *et al.* (2015)) and has gained increased traction in the practice field. This body of work has evolved evidenced by the fact that the concept of IS is widely used in the public policy documents of international organizations, including numerous works in the field of innovation support for agricultural development (among others: OECD (2013); Toilier *et al.* (2020); World Bank (2012)). The AIS perspective offers a systemic framework to identify the network of actors, the context, and the role of both in the innovation process in agriculture (de Boon *et al.* 2022).

When it comes to understanding the factors that underpin innovation dynamics in agriculture, two bodies of work can be identified within the AIS literature. The first one takes a more theoretical perspective, focusing on analyzing the conditions for innovation (Klerkx *et al.* 2010; Leeuwis and Aarts 2011; Touzard *et al.* 2015), while the second has a more operational concern and seeks to build and manage communities of innovating actors (Tropical Agricultural Platform 2016). Both bodies of works look at the structure and/or functions of AIS in order to gain a deeper understanding of the ecosystem of actors involved in innovation dynamics.

2.1. The structure and functions of an AIS

2.1.1. AIS structure: The classification of actors and infrastructures

From the infrastructural point of view, as defined by Klerkx *et al.*, (2012), an AIS can be considered as a ‘innovation support infrastructure’ with actors that interact. The analysis of an AIS from this structural point of view makes it possible to evaluate whether its composition supports or hinders innovation. Many studies have focused on the role of specific actors in the innovation process, such as farmers (Skaalsveen *et al.* 2020; Mekonnen *et al.* 2022; Giroux *et al.* 2023; Iyabano *et al.* 2023), input suppliers (Hornum and Bolwig 2021), agricultural research and development organizations (Kamara *et al.* 2019; Anandajayasekeram 2022), governance actors (Akimowicz *et al.* 2022) and the media (Basu and Leeuwis 2012). Other authors have worked in a more systemic way to define the categories of actors involved in the innovation process (Schut *et al.* 2015; Stræte *et al.* 2022). To identify the relevant actors, structural analysis can be employed, based on a typology of actors (Lamprinopoulou *et al.* 2014; Fieldsend *et al.* 2022) that can be derived from interviews with the actors involved in the implementation and/or diffusion of an innovation around a specific crop or located in a specific geographic area (Stræte *et al.* 2022). The

structure can also be analyzed using network theory to characterize the relative place of the actors (central or not) within the AIS (Borgatti *et al.* 2009; Borgatti and Lopez-Kidwell 2011).

2.1.2. Functions: role that actors play on the IS

In addition to structural analysis, functional analysis looks at the functions fulfilled by the actors of the AIS (Klerkx *et al.* 2012), in order to describe the state and characterize the performances of an AIS at any given moment in time (Lamprinopoulou *et al.* 2014).

Various functions that support innovation processes within an AIS have been identified in the literature. From an operational point of view, the FAO mobilizes the seven functions defined in the literature by Hekkert *et al.* (2007) and Klerkx *et al.* (2012). Hermans *et al.* (2013) outline three key functions linked specifically to knowledge creation and diffusion: (i) knowledge co-creation, (ii) upscaling, which implies vertical or hierarchical links (change of scale or level, *e.g.* from territorial level to national level) within the AIS, and (iii) outscaling, which corresponds to horizontal exchanges (diffusion at the same level) over the time. Hermans *et al.* (2013) identified that it is not all the actors but a small group, including the innovation brokers, who have a central role in fulfilling these functions and therefore in the diffusion of innovations.

These functions depend on the connections between the different actors present within the AIS and the resources that are used. A certain number of resources are necessary to fulfill the functions in order that innovation processes may function properly, and knowledge is often presented as a determining resource, particularly in agroecological transition (Klerkx and Leeuwis 2009; Spielman *et al.* 2009; Klerkx *et al.* 2010; Touzard *et al.* 2015; Van Hulst 2016; Skaalsveen *et al.* 2020; Kabirigi *et al.* 2022).

2.2. Social network analysis and AIS

Network analysis is a useful tool for studying IS as it focuses on relationships rather than simply on actors' attributes (Spielman *et al.* 2011). Based on network theory, network analysis can be mobilized to (i) characterize the structure of a network and (ii) identify the availability of resources mobilized for innovation (Borgatti *et al.* 2009; Borgatti and Lopez-Kidwell 2011). Network analysis and, more specifically, social network analysis (SNA) can provide insights into who the influential actors and key players are (Reed *et al.* 2009). Additionally, it aids the identification and

analysis of relationships between actors involved in innovation processes as well as the flows, such as knowledge, that circulate between these actors (Spielman *et al.* 2009).

SNA helps identify central actors and key interactions that underpin innovation processes within an AIS, with the help of both quantitative and qualitative indicators, and has been used in various contexts and on various scales, to study the dynamics of innovation within an AIS (Weyori *et al.* 2018; Ramírez-Gómez *et al.* 2020).

Network analysis enables the characterization of the structure of an IS through quantitative measures that provide insights regarding the central actors and the links between these actors. This quantitative analysis can be completed with qualitative analysis of survey data, such as actors' opinions and perception, in order to gain a deeper understanding of the interactions between actors (Reed *et al.* 2009) and therefore to study the functions fulfilled or not by actors within the AIS.

3. Material and methods

3.1. Case study: The Plantain Agricultural Innovation System in Guadeloupe

Guadeloupe is an archipelago composed of two major islands, Basse Terre and Grande Terre, and several smaller islands, Marie Galante, Les Saintes, La Désirade and Petite Terre (Figure 1). Two export crops dominate Guadeloupean agriculture: sugar cane and Cavendish banana (DAAF 2019). Cavendish banana is produced in the ‘banana crescent’ (*croissant bananier* in French), located in the southeast of Basse Terre, and the sugarcane basins are distributed between the north of Basse Terre, Grande Terre and Marie Galante. Plantain banana is also produced throughout the territory, except on Les Saintes and La Désirade. Thus, the study area is composed of Marie Galante, Grande Terre, South Basse Terre and North Basse Terre (Figure 1).

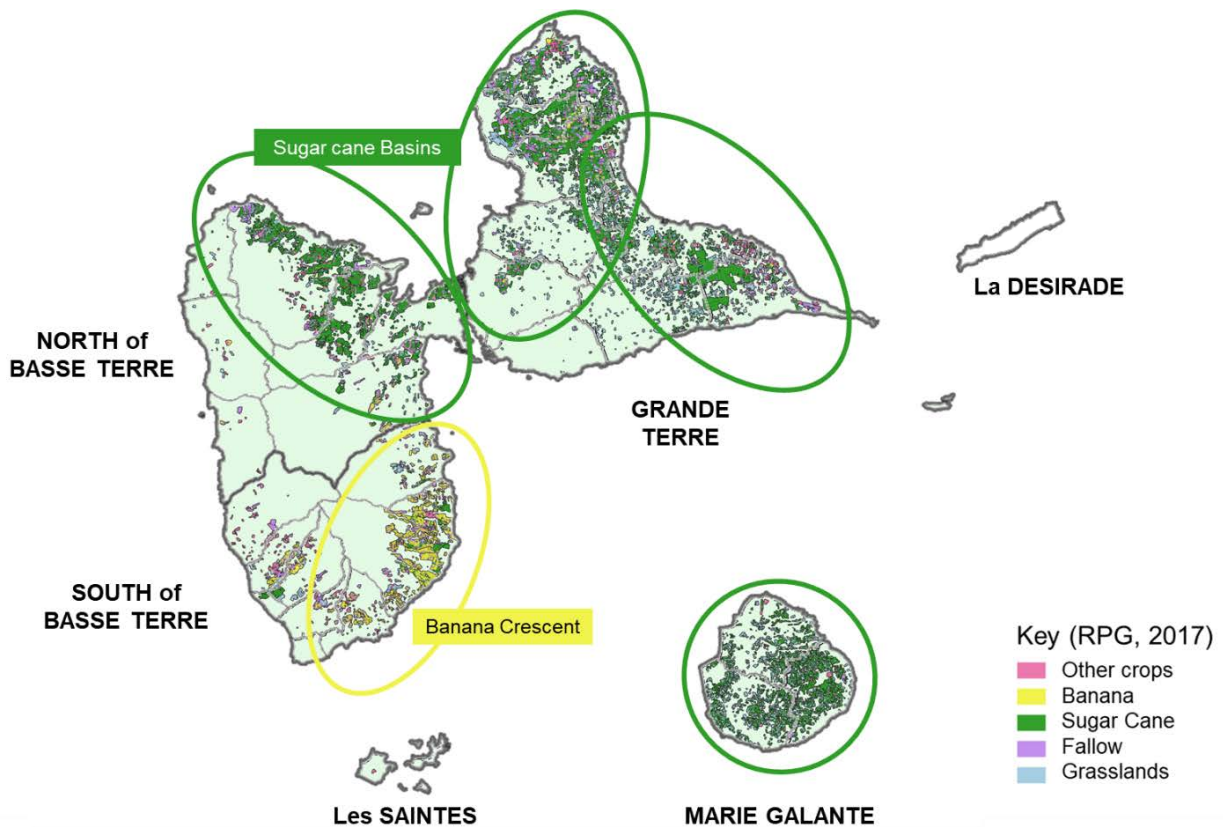


Figure 1: Study Area (Elaboration by the authors based on data from ADMIN EXPRESS, IGN, National Geographic Institute)

According to the Ministry of Agriculture, plantain is grown across 120 hectares, with a total production of 1,116 tons (Agreste 2020). Bezard *et al.* (2023) have identified six types of plantain farming systems, that differ according to the role played by plantain in the farming system, marketing strategy and involvement in agroecological transition: (i) B type (export (Cavendish) banana farmers who grow plantain) with few agroecological practices, (ii) B type with many agroecological practices, (iii) C type (sugarcane farmers who grow plantain) with few agroecological practices, (iv) C type with many agroecological practices, (v) D type (diversification crop farmers who grow plantain) with few agroecological practices and (vi) D type with many agroecological practices. Therefore, these farming systems are at different stages of the agroecological transition, from a weak agroecological transition that relies heavily on industrial input, to a strong agroecological transition that relies on biodiversity-based natural processes instead (in a logic of redesign) (Hill and MacRae 1996; Hurlings and Marsden 2011; Duru *et al.* 2015b).

The level of transition of plantain farmers was based on the use or not of industrial inputs in plant preparation, soil amendment and crop fertilization (Bezard *et al.* 2023b).

Two alternative methods were identified for plant preparation. The first one, related to weak agroecological transition, as it does not imply redesign in the crop system, is the use of in-vitro plants, which are plants used to sanitize crops, but which are produced in a laboratory in mainland France and then transported to Guadeloupe. This method guarantees the minimum sanitary risk (Sadom *et al.* 2010). The second method observed in Guadeloupe, related to strong agroecological transition, is a technique called PIF, which uses plants from stem fragments (*Plants Issus de Fragments de tiges* in French), a technique for on-farm sanitation and multiplication of plantain plants (Kwa 2003). For soil amendment and crop fertilization, three alternative strategies to conventional ones were identified: the use of organic amendments or fertilizers made on the farm (in a logic of redesign and strong agroecological transition), produced in Guadeloupe (local) or imported (commercial) (Table 2).

Table 2: Three agroecological farming practices as alternatives to conventional ones in plantain farming systems. * Practices related to weak agroecological transition correspond to an efficiency or substitution logic. ** Practices related to strong agroecological transition correspond to a redesign logic.

Type of practice	Plant preparation	Fertilization	Amendment
Conventional	Mechanically and chemically cleaned suckers	Synthetic Fertilizer	Synthetic amendments
Weak agroecological transition*	In-vitro plants	Organic imported	Organic local Organic imported
Strong agroecological transition**	PIF	Organic on farm Organic local	Organic on farm

In this paper, ‘on-farm’ corresponds to ‘made on farm’. Local organic fertilization is based on informal collaboration between farmers and breeders, while local organic amendments are produced by a commercial structure, as are imported organic fertilizers and imported organic amendments. Therefore, local organic amendments, imported organic fertilizers and imported organic amendments were classified as belonging to a logic of weak agroecological transition (Bezard *et al.* 2023b). In-vitro plants, local organic amendments and imported organic fertilizers are costly inputs because of shipping costs (whether international or local). To compensate for

these costs, specific subsidies from Europe are proposed by the Guadeloupe Regional Council or the decentralized service of the (French) Ministry of Agriculture, such as (i) subsidies for in-vitro plant purchases with the EAFRD (European Agricultural Fund for Rural Development), (ii) subsidies from the POSEI (*Programme d'Options Spécifiques à l'Eloignement et à l'Insularité*, Program of Options Specific to Remoteness and Insularity) to offset the selling price, on the condition that farmers market their produce in approved structures such as cooperatives, and (iii) investment subsidies. Nowadays, there are no subsidy schemes for PIF production and few for on-farm organic fertilizer or amendment production. There are only the Agri-Environment-Climate Measures (AECM), which are subsidies to support practices that can contribute to the protection of the environment and the mitigation of climate change impacts but, which have a low financial volume.

The networks around these alternative practices (Table 2) are characterized and discussed in this work.

3.2. Using network analysis to question the effectiveness of plantain AIS in Guadeloupe

We identified actors supporting the alternative practices presented above (Table 2) via semi-directive interviews (Stræte *et al.* 2022) with plantain farmers. We identified the network of actors associated with each practice and evaluated whether or not these networks were interconnected within a broader plantain AIS (Figure 2).

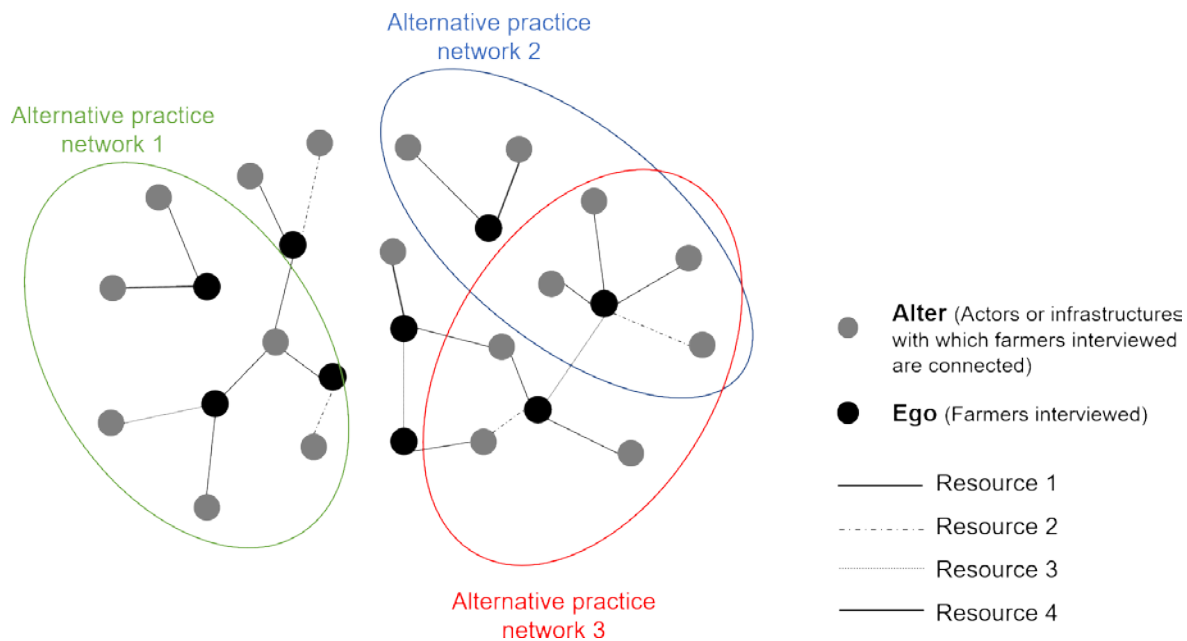


Figure 2: Network analysis concepts. The circles represent the networks of actors around the alternative practices (the farmers who have adopted each practice and the actors surrounding them).

3.2.1. Sampling strategy

To characterize the structure and function of plantain AIS, we conducted semi-structured interviews between October 2021 and February 2022 with plantain farmers. Plantain farmers were selected via snowball sampling, applying the principle of saturation: we continued interviewing farmers, therefore increasing the sample size, until no new plantain farmers were cited by the respondents (Johnson 1990; Ramírez-Gómez *et al.* 2020; Borgatti *et al.* 2022). We surveyed farmers from all geographic areas of Guadeloupe (Basse Terre, Grande Terre and Marie Galante). We also considered all plantain farmer types as identified in Bezard *et al.* (2023). Each farmer

interviewed was classified according to their plant preparation, fertilization and amendment practices (Table 2).

This sampling method does not allow us to characterize all plantain farmers of Guadeloupe, but it sheds light on the diversity of networks of actors who implement different practices that are more or less agroecological.

3.2.2. Data collection and analysis

To characterize the ego-network of the plantain farmers, *i.e.* the network of actors surrounding plantain farmers who adopted an alternative practice (Ragozini and Vitale 2020) we used the sequence of interventions relative to the plantain crop, from soil preparation to commercialization. For each crop intervention, we used (i) a resource generator, which consisted of asking them about the resources they use and (ii) a name generator, which involved asking the farmers to name the people with whom they interact (using open-ended questions) (Hermans *et al.* 2017; Ragozini and Vitale 2020; Borgatti *et al.* 2022) (Figure 3).

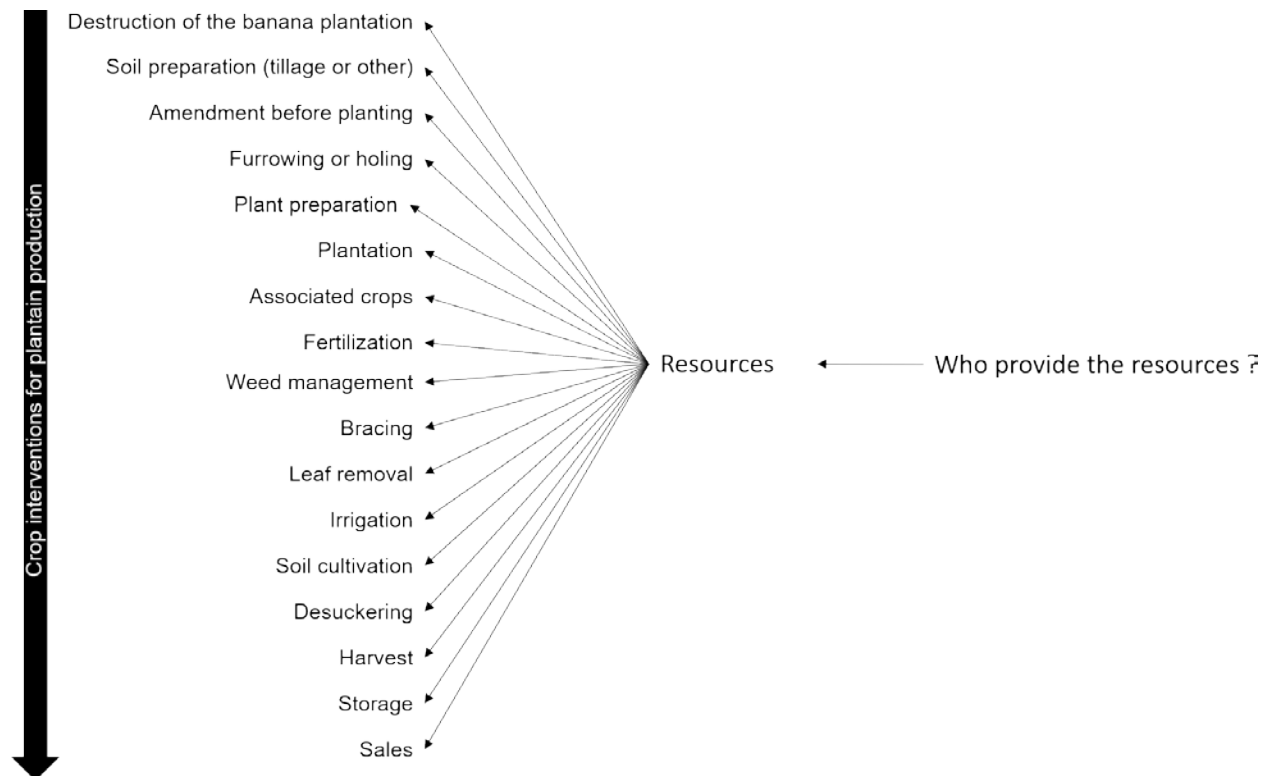


Figure 3: Questionnaire format for semi-directive interviews with plantain farmers

Sociograms, or visual representations of farmers' networks, drawn live with them during interview, were used to allow a better understanding between the research team and the farmers, as well as to establish ego networks for each plantain farmer interviewed (Hogan *et al.* 2007; Tubaro *et al.* 2016). At the end of the interview, the farmer was asked if he faced bottlenecks for his plantain production.

Each interview was fully transcribed and analyzed using the NVivo software (QSR International Pty Ltd 2020). For the data analysis, we combined quantitative social network analysis (SNA) with qualitative knowledge mapping (KM). For the SNA, two levels of analysis were performed and five quantitative indicators were used, in order to provide insights into the structure of the network: Node-level indicators: in each practice-specific network and for each type of flow (Figure 2), out-degree centrality and betweenness centrality were measured in order to identify the central actors. Out-degree centrality corresponds to the number of links going out from a node. The more central an actor is, the higher the number of outgoing links from that actor (Borgatti *et al.* 2022). Betweenness centrality represents how often an actor is linked to two other actors who are themselves disconnected. It is an indicator of critical links between actors, allowing the identification of actors that are important to take into account for long-term planning and problem solving (Prell *et al.* 2009). More precisely, in our case, in NVivo software the betweenness is calculated as a proportion of the shortest path, regardless of the direction of the links. Following the approach of Prell *et al.* (2009), we identified the first ten central actors and considered that an actor was central if the out-degree was equal to or greater than 10. For betweenness centrality, we identified the first ten brokerage actors (Prell *et al.* 2009). A brokerage actor is an actor that bring together two disconnected part of the network. In this paper an actor was defined as being in brokerage position if betweenness centrality was equal to or greater than 1000 (Brandes 2001).

- Group-level indicators: density, average degree and reciprocity were measured both for the global network (every farmer and their alters interviewed) and for each alternative practice-specific network (plant preparation, fertilization and amendment), in order to characterize the influence of the network on alternative practice adoption. All of the links were considered, and all farmers using the alternative practice, whether alone or in combination with its conventional equivalent, were included in the analysis.

Density is the number of pairs of actors connected to each other, divided by the total number of possible connections that could exist. As density depends on network size (the bigger the network, the lower the density), we used the average degree (corresponding to the average of out-degree centrality of each node of the network) to compare the networks and to account for their size difference (Borgatti *et al.* 2022). Reciprocity is the percentage of links that are reciprocated in the network, meaning that exchanges go both ways between two given actors.

To compare the significance of differences in the average out-degree between specific alternative practice networks, we used a Kruskal–Wallis test. This non-parametric test makes it possible to compare means between groups when there are over two categories, the data does not follow a normal distribution and the variances are unequal. We then performed a non-parametric post-hoc test (Munzel and Hothorn 2001) to make a pairwise comparison of significant differences. Finally, statistical analyses were performed with R software (R Core Team 2022).

The actors fulfilled functions or not were analyzed using the farmers' discourse around the bottlenecks related to resource flows. Both the number of farmers mentioning the bottlenecks and the frequency with which those bottlenecks were mentioned were taken into account in order to analyze the functions of the AIS.

4. Results

4.1. The plantain AIS: a combination of alternative practice-specific networks

Interviews were conducted with 69 plantain farmers, who between them mentioned 503 alters to whom they were connected, most of whom were also farmers. There were 15 categories of actors and infrastructures that emerged from the interviews, highlighting the diversity of actors and roles within the plantain AIS. A typology of the egos and alters is introduced in Table 3.

Four types of material and immaterial resources flowing between the nodes were identified during the interviews: financial resources, material resources, knowledge/skills and manpower (hereafter termed 'labor').

Table 3: Egos and alters within the Plantain AIS identified during the interviews. The quantity corresponds to the number of actors per category.

Category	Description	Quantity
Other farmers	Non-interviewed plantain farmers, Cavendish banana farmers and other farmers (sugarcane or diversified) and breeders	135
Personal relationships	Family or friend relationships of the farmers surveyed	88
Commercialization structures or actors	-	76
Input suppliers	Actors or infrastructures who sell inputs and/or equipment used for plantain growing	71
Plantain farmers interviewed	-	69
Agricultural entrepreneurs	Service providers mobilized by farmers, especially for soil preparation work	45
Consumers / citizens	Groups of customers who buy plantain directly from the farmers	28
Farmer organizations / associations	-	20
Government	Institutions (such as the Guadeloupe Regional Council or the decentralized service of the (French) Ministry of Agriculture)	15
Training and education institutions	Local agricultural secondary school, agricultural higher education, and the local structures of agricultural training (apprenticeships in particular)	8
Extension services and Advisory systems	Technical institutes and the Chamber of Agriculture	6
Medias	Internet, radio and television	4
Agricultural research organizations	-	3
Financial institutions	Banks	2
Others	Actors identified only once and who do not correspond to the above-mentioned categories (e.g. road maintenance actors).	2

The networks characterized on the basis of the alternative practices (Table 2), and the surveys, showed that the farmers did not necessarily adopt a single practice, but rather a combination of practices. For plant preparation and fertilization, the majority of the farmers interviewed, whatever type of farmer they are, use a mixture of conventional and alternative practices (Figure 4), combining, for example, (i) plantain plants from suckers and in-vitro plants for plant preparation with (ii) synthetic and organic fertilizers for fertilization. In addition, most of the farmers do not use amendments, but those who do so rely on local organic resources.

The networks around alternative practices are thus interconnected in a broader plantain AIS that interconnects practice-specific networks.

4.2. Two types of network according the network level of centralization

The various alternative practice-specific networks are represented in Figure 5, and their structural characteristics (group level indicators), are presented in Table 4.

The size of the networks varies in terms of the number of actors and nodes. The density and reciprocity indicators are therefore not the best for comparing different networks. On the other hand, the average out-degree is quite similar for each of the alternative practice-specific networks, with the highest score for the ‘PIF’ network. However, the Kruskal–Wallis test shows that the differences were significant (P -value 0.004). Post-hoc Bonferroni adjusted tests showed that the significant differences were between the PIF and the ‘organic on-farm amendment’ networks (P -value 0.004) and between the ‘organic on-farm fertilization’ and ‘local organic fertilization’ networks (P -value 0.036).

Our results indicate that the structures of alternative practice-specific networks are quite similar. They do not tell us, however, whether the adoption of a specific agroecological practice was influenced by the structure of the network.

We found that farmers constitute more than 50% of the central actors (for betweenness and out-degree node level indicators). The remaining 50% is made up of other actors (mainly input suppliers, extension services and research centers).

The out-degree and betweenness centrality results are presented in the appendices (Supplementary table). More than 50% of the central actors involved in each flow of resources, whether for out-degree centrality or betweenness centrality, are farmers. This means that, all resources taken together, farmers are central and, potentially, brokerage and therefore, key actors and connectors for resources flow.

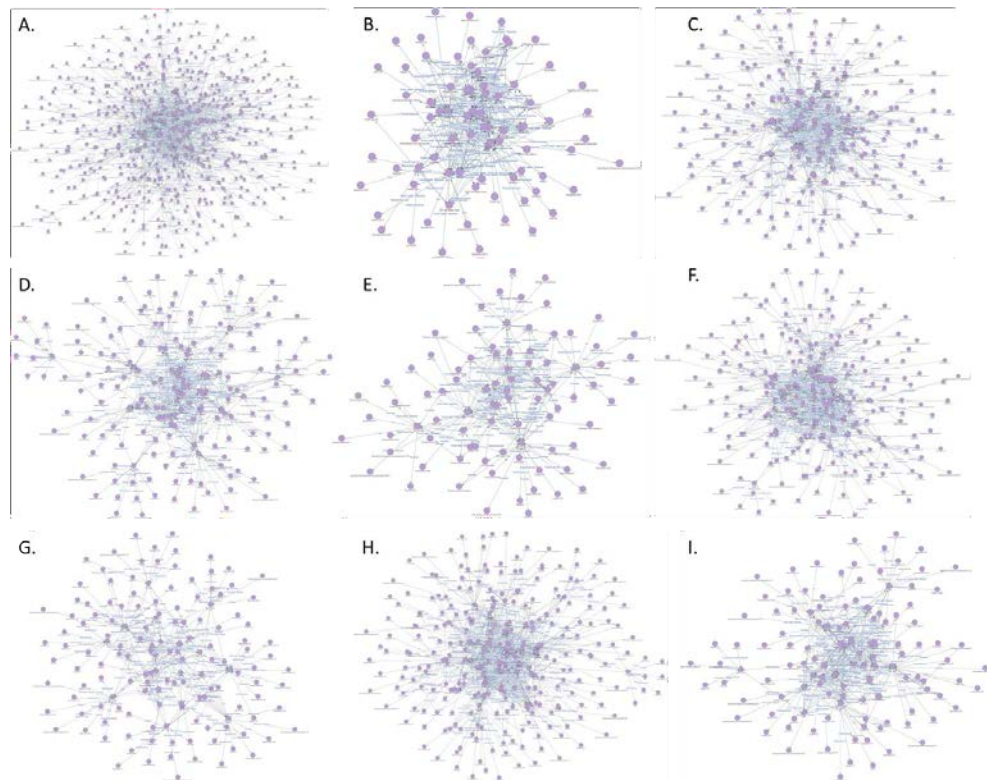


Figure 5: Alternative practice networks of the plantain Agricultural Innovation System, all resources taken together **A** Global network; **B** PIF method (Plants Issus de Fragment de tiges), **C** In-vitro plants, **D** Organic on-farm fertilization, **D** Local organic fertilization, **E** Imported organic fertilization, **F** Organic on-farm amendment, **G** Local organic amendment, **H** Imported organic amendment.

Table 4: Quantitative measures for each alternative practice network: Number of farmers interviewed; Number of nodes; Out-degree average; Density and Reciprocity. The significant differences ($P < 0.05$ threshold) are marked by ¹ and ²

	Farmers interviewed	Nodes	Average out-degree centrality	Density	Reciprocity
Global network	69	580	4.000	0.007	0.962
PIF method	5	80	5.813 ¹	0.023	0.972
In-vitro plants	24	237	5.342	0.023	0.975
Organic on-farm fertilization	13	188	4.144 ²	0.022	0.965
Local organic fertilization	5	88	3.966 ²	0.046	0.968
Imported organic fertilization	22	236	5.280	0.022	0.973
Organic on-farm amendment	11	145	4.428 ¹	0.024	0.970
Local organic amendment	26	296	4.794	0.016	0.963
Imported organic amendment	9	125	4.776	0.039	0.978

Focusing on the actors with betweenness centrality higher than 1000 (Table 5), two types of networks were identified: networks with various central actors superimposed to export banana networks and networks with few central actors (Table 5).

The first type of network includes networks built around in-vitro plants, imported organic fertilization, and local organic amendment (provided by the local composting platform), corresponding to practices related to weak agroecological transition. In this first type of network, various central actors were identified, such as the decentralized service of the (French) Ministry of Agriculture, diversification crop cooperative 1, agricultural research center 2, extension service 2, the in-vitro plant nursery, the local composting platform and the input supplier linked to the export banana cooperative (Table 5). The central actors identified in these networks are also involved in export banana networks.

The second type of network is related to practices supporting strong agroecological transition (PIF, organic on-farm fertilization and amendment and local organic fertilization) (Table 5). Only two actors were identified as central: farmer DE1 and agricultural equipment supplier 1. The importance of the latter actor among all the networks studied is explained by the fact it holds the monopoly for a brand of brush cutter considered reliable and of good quality by the farmers.

Table 5: Brokerage actors (with betweenness centrality higher than 1000) for the different flows. The networks that superimpose on the export banana networks are highlighted in grey. * Practices related to the strong agroecological transition. ** Practices related to weak agroecological transition

Alternative practice	Flow of knowledge	Flow of material resources	Flow of financial resources	Flow of labor
PIF (plant preparation) *	-	-	-	-
Organic on-farm fertilization*	Farmer DE1	Supplier of agricultural equipment 1	-	-
Local Organic fertilization*	-	-	-	-
Organic on-farm amendment*	Farmer DE1	-	-	-
Local Organic amendment **	Extension service 2 Extension service 1 Farmer BE1 Agricultural Research Center 1	Input supplier link to export banana cooperative Local composting platform Supplier of agricultural equipment 1	Decentralized service of the MA Diversification crop cooperative 1 Farmers association 1 Farmer BE1	Farmer CE7 Extension service 1 Administrative service provider 1
In-vitro plants (plant preparation) **	Extension service 2	Input supplier linked to export banana cooperative Supplier of agricultural equipment 1 In-vitro plant nursery	Decentralized service of the MA Diversification crop cooperative 1 Farmers association 1	-
Imported Organic fertilization**	Extension service 2 Farmer DE3 Farmer BE1	Input supplier link to export banana cooperative Supplier of agricultural equipment 1	Decentralized service of the MA Diversification crop cooperative 1	-
Imported Organic amendment**	-	-	-	-

4.3. Unfulfilled functions within the plantain AIS

Bottlenecks in resource flows leading to mistrust among farmers

During interviews with farmers, bottlenecks were identified in all four of the flows of resources in the plantain AIS (Figure 6). 51 farmers identified bottlenecks in the flow of financial resources, 33 in the flow of material resources, 29 in the flow of knowledge and 6 in the flow of labor. The bottlenecks related to material resources concerned fertilization, plant quality, in-vitro plants and other aspects such as a lack of tools adapted to the tropical context. The bottlenecks linked to financial aspects concerned the cost of fertilization and in-vitro plants, the lack of availability and/or the inappropriateness of subsidies, and the low selling price for plantains.

With regard to knowledge flow, farmers mentioned two types of bottlenecks : (i) extension workshops and knowledge dissemination activities that do not take into account farmers' availability constraints, as explained by DF4: “Sometimes it's Thursday, it's delivery time so it's very complicated to run around”, and (ii) the fact that the actors supposed to provide information to farmers tend instead to request information from farmers, as mentioned by CF7: “Well, extension service 1...they're even worse [...] the technicians [...] who come to see me, I have the impression that they come more for my advice rather than to give me advice.”

The bottlenecks in the flow of labor are related to the time required to implement the practices, especially for the PIF method: “PIF – I don't like it – why? Because the PIF takes too long to do” (DF6). The bottlenecks in the flow of material resources are related to (i) the absence of appropriate material (such as healthy plants) or (ii) the poor quality of the available resources, such as in-vitro plants that have grown too high and break, or the local organic amendments provided by the local composting platform – “(...) there is so much junk in...” (BF5).

For the flow of financial resources, the major bottleneck is related to sale price, as illustrated by BE6: “Well, it varies a lot. It can go up to 1€ 2€ and then the next day it goes down to 40 cents.” The time required to gain access to subsidies was also identified as a major bottleneck, as mentioned by CE1: “Yes, the delays are monstrous, for a few years it has seemed that it is getting worse.”

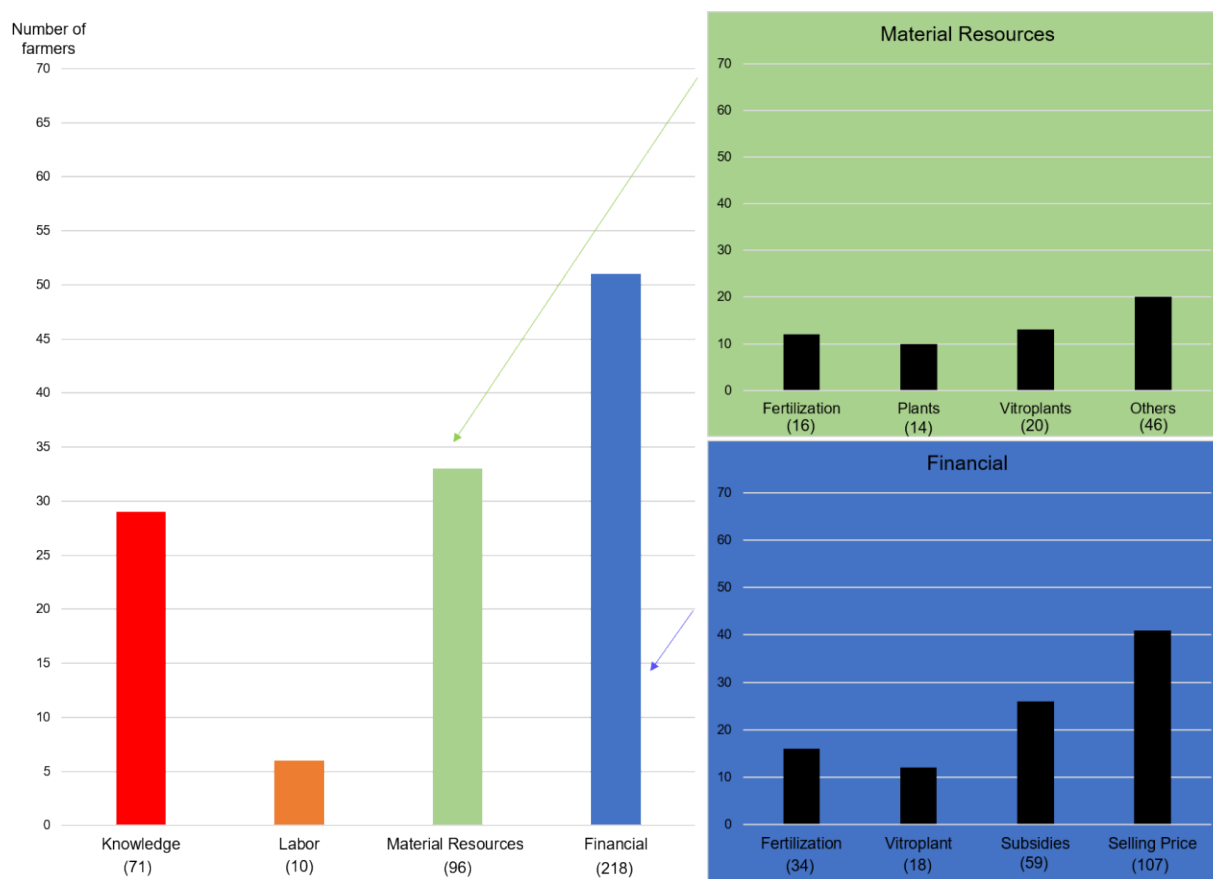


Figure 6: Number of farmers (among the 69 interviewed) mentioning bottlenecks for each resource flow. The numbers in parentheses correspond to the total number of mentions per resource flow included (some farmers mentioned the same bottleneck several times).

Several actors have been identified as blocking the flow of knowledge. As BF7 described, “Extension service 1 tells us to call the public company for agricultural land management; the public company tells us to call extension service 1. [...] [Extension service 1 says] we will call you one day. No, it works very, very badly.” For the labor flow, no central actor was identified by the interviewed farmers as responsible for the bottlenecks.

For the flow of material resources, two central actors were identified as responsible for the bottlenecks: the local composting platform – “It [the local organic amendment] is not always available” (CF6) – and the in-vitro plant nursery. The farmers stated that the in-vitro plants were not always available and/or were unequally distributed: “They [the bigger farmers] took all the in-vitro plants and that's the problem. We're very small, [whereas] the guys [bigger farmers] are planting two hectares” (DF12).

With regard to the flow of financial resources, the farmers felt that the cooperatives did not fulfill their role of supporting and facilitating marketing, especially in the case of diversification crop cooperative 1. Delays in payment from the public institutions to whom they deliver plantain (hospital, school) has a direct impact on farmers, since cooperatives do not pay farmers until they have been paid by the institutions they supply: “So that means that I haven't been paid since 2018”¹ (DE3). For the decentralized service of the (French) Ministry of Agriculture, farmers highlight the slowness of the administrative procedures and the lack of clarity: “The delays are monstrous [...] We go to the paying institution; the paying institution tells us it is [the fault of] either the cooperative or the decentralized service of the (French) Ministry of Agriculture [which blocks the process]. Afterwards, the decentralized service of the (French) Ministry of Agriculture tells us that [the] cooperative that has not done the job” (CE1).

Beyond the observations of bottlenecks caused by central actors, farmers also expressed mistrust towards some of these central actors: “the decentralized service of the (French) Ministry of Agriculture, and the cooperatives [...] are only there to make money” (CE2); “We [farmers] do not know everything, but I do not see what extension service 2 is going to teach me” (CE7).

This mistrust was expressed by those farmers in particular who are carrying out a strong agroecological transition and who feel that the support proposed by these central actors do not meet their constraints, objectives or production strategy. For example, few farmers applied for the subsidy for the purchase of in-vitro plants because it is given on the condition that the crop

¹ For approximately three years at the time of the surveys

is cultivated for five successive years on the same plot, when in reality farmers generally keep the same crop for only two or three years, depending on the yields obtained. DF3 explains, “[The crop] can be subsidized but you have to keep [it] for five years. (...). That means that while there are some beautiful bunches of bananas, there are also very small bunches, so I am not interested in keeping a plot for five years just for the subsidies. No, I keep it for three cycles...”.

As a result, in some cases, farmers decided not to implement costly alternative practices such as the use of imported organic fertilizers: “I wanted to try it [imported organic fertilizers] but it's a little bit expensive [...] And I said to myself, well, should I put a lot of money into this plantation that may not bring me much profit?” (DF9).

These unfulfilled functions, which are supposed to accompany and support the agroecological transition, are responsible for the non-choice of agroecological practices.

4.4. The counter-power provided by central farmers to compensate for unfulfilled functions in the AIS

To counterbalance the failure of central actors, farmers often work together to try to fulfill the functions themselves. During the interviews, leading farmers, as well as central actors DE3 and BE1, who were presidents of two farmer associations, were referred to as knowledgeable and as providers of material resources to other farmers. DE3 was mentioned 18 times by 5 interviewed farmers, and BE1 was mentioned 36 times by 6 interviewed farmers. These two farmers are a source of knowledge with particular regard to telluric pests, PIF, organic fertilization/amendment and material resources, especially for plants. DE3 works directly with one importer of organic fertilizers and with extension service 2, and mobilizes their own knowledge to propose solutions adapted to the territory. For example, DE3 proposed the use of either liquid biofertilizers made exclusively from the manure of Guadeloupean animals, or solid fertilizers from micro-organisms or organisms such as *Julida* sp., found in the Guadeloupean forest: “So for me it would be the animals for easily assimilated liquid bio fertilizers and the forest for humus prepared from either microorganisms or from organisms such as *Julida* [sp.]”. Both of the brokerage farmers went abroad to be trained in agroecological practices, as explained by BE1: “Well, I learned that in Cuba.” These two farmers have privileged links with the other farmers and thus have a key role in peer-to-peer learning, providing knowledge adapted to the territory and to their reality.

Another respondent, DF2, is not only a plantain farmer but also a technician. Other farmers trust him to deliver relevant information because, as a farmer, he is facing the same problems as them.

With regard to financial resource flows, when the plantain production of a given farmer is low, he or she can purchase the production of other farmers to supply the demand of his or her customers. Three farmers mentioned this strategy.

In the networks related to strong agroecological transition that have few central actors, farmers have developed collective organizations to tackle the bottlenecks they face. This is the case with the farmers who use the PIF technique, for example, who work together to prepare the plants and take turns to be in charge of the macropropagation chamber, or little greenhouse, in which the plants are growing. But this collective organization does not stop at plant preparation, as they also help each other out with weed management and other activities: “On his own he would have spent what...One week weeding this. And the six of us did it in one morning, so it goes much faster” (CF2).

For material resources, some farmers rely on their personal networks and relationships, especially for local organic fertilization: “I have friends who have animals” (DE14).

Therefore, farmers organized themselves to fulfill the functions within the AIS and compensate the unfulfilled functions by the central actors which are not farmers.

5. Discussion

We identified a plantain AIS based on interconnected practice-specific networks. These networks support the adoption of alternative practices which are often combined by farmers on their farms. This hybridization strategy corresponds to a selection process used by farmers to find practices better than the ones they currently use, and has been identified by Spielman *et al.* (2009) in Sub-Saharan Africa and by Rasse *et al.* (2018) in small-scale family farming systems in Guadeloupe.

Two main types of network were identified within the plantain AIS, related to the importance of central actors. The first type of network mostly supports practices related to weak agroecological transition, such as in-vitro plants, imported organic fertilization and local organic amendment (provided by the local composting platform). Central actors to this type of network include the decentralized service of the (French) Ministry of Agriculture, diversification crop cooperative 1 and input suppliers. The practices supported by this type of network are recommended for export bananas as part of a technological package, with imported inputs (Angeon and Bates 2020) and subsidies (POSEI and AECM). These subsidies are the reason that the decentralized service of the (French) Ministry of Agriculture appears as central in these networks. In order to receive the subsidies, farmers have to market their production through a cooperative, which explains why the cooperative (diversification crop cooperative 1) also appears to be a central actor in this sub-system. Input suppliers were also recognized as central to this type of network, as identified by Hornum and Bolwig (2021), who suggest focusing on input suppliers in order to foster innovation adoption, since they have a key role in disseminating innovative practices.

However, the central actors in the plantain AIS did not fully play their brokering role, and failed to fulfill some functions. In particular, they did not manage to outscale information to other, non-central farmers (Hermans *et al.* 2013). As a result, the successful implementation of innovative practices was hindered, and organizational gaps were identified (Klerkx *et al.* 2010). The lack of efficiency of agricultural diversification cooperatives in Guadeloupe, and the disconnect between farmers' strategies and local policies (that impose formal organizations like cooperatives or subsidies attached to certain conditions) pointed out by Delcombel (2005) is still observed. This disconnect then leads to bottlenecks in resource flows that are reinforced by mistrust among farmers who feel that their needs are not being met. According to Blazquez-Soriano and Ramos-Sandoval (2022) and Ramírez-Gómez *et al.* (2020), this has a negative impact on the uptake of innovation, as trust is a key element for innovation diffusion. Paul *et*

al. (2017) and Deffontaines *et al.* (2020) too find, in the cases of compost in Guadeloupe and weed management in Martinique respectively, that the misfit between subsidies and farmers' strategies hinders the adoption of innovation. The central actors, in the position of 'gatekeepers' (Polge 2015), thus block the AIS because of their central position within the structure and because they do not completely fulfill the expected functions.

In these networks, the central/leading farmers provided a 'counter-power' to compensate for the unfulfilled functions, allowing exogenous knowledge to be adapted to the territory (Angeon and Caron 2009; Sutherland and Labarthe 2022; Giroux *et al.* 2023). These farmers, are in position of champions, or innovation brokers, as defined by Klerkx *et al.* (2010), as they facilitate the interactions between the various actors involved in the network and participate to the evolution of the network. They have the privilege of being able to exchange with other actors such as the research centers, the extension services and the input suppliers, and to influence their environment. As these actors have an influence on their environment but the environment also has an influence on them, this relationship between these actors and the environment has been called *mutual embeddedness* (Klerkx *et al.* 2010). Particular attention must be paid to the fact that they tend to be very busy and in high demand, as they perform many functions within the AIS.

In networks of the second type, which mainly support agroecological practices related to strong agroecological transition, few central actors were identified. Farmers organized themselves to connect with each other, as in the case we saw earlier of the collective management of PIF plant preparation, and rely on their own networks and focus on peer-to-peer interactions. This is coherent with the conclusion of Borgatti *et al.* (2022), who estimate that the absence of central actors reinforces the autonomy of the other actors. The importance of peer-to-peer learning and of farmers' networks has been highlighted many times, such as by Skaalsveen *et al.* (2020) in the specific case of no-till implementation in England, or by Weyori *et al.* (2018) in Ghana, who qualifies information dissemination between peer farmers as 'informal extension services'. What's more, actors who interact together are more likely to innovate together (Fieldsend *et al.*, 2022).

Additionally, Mekonnen *et al.* (2022) show that within the relationships between farmers, proximity is another important factor to consider, with information flowing better between farmers who are close to each other (neighbors, friends, etc.). Meanwhile, Giroux *et al.* (2023) demonstrate that knowledge is not just shared, but is co-created and shaped within farmer

networks. In these networks, the absence of central actors does not impede collective action but instead increases the capacity of other actors for spontaneous organization that acts as a lever to outscale agroecological transition. This sits in contrast with the promotion of a model inspired by the export banana sector that does not fit with the specific constraints and strategies of most plantain farmers.

Our results thus open up avenues to explore the opportunity to rely on formal and informal farmers' organization to promote adapted strategies rather than on practices or innovations from other systems or realities. The use of SNA to study agroecological transition in AIS has made it possible to study the role of actors' networks and to quantify the importance of bottlenecks and their link with central actors. This brings insights into the potentially blocking role of central actors linked to the dominant system (Geels and Schot 2007) in the implementation of a strong agroecological transition and the eminently important role of leading farmers in agroecological transition.

6. Conclusion

Our use of SNA methodology to study agroecological transition within an AIS, has made it possible to highlight different dynamics of diffusion of agroecological practices. By mobilizing SNA analysis, we characterized the structures and the functions for each network identified in plantain-based production systems in Guadeloupe. The mobilization of network theory has also made it possible to identify the bottlenecks and to highlight the link between these bottlenecks and the central actors of the AIS.

Focusing on three types of alternative practice, we demonstrate the existence of a plantain AIS in Guadeloupe and identify two distinct subsystems. Major bottlenecks were identified in the innovation networks superimposed to export banana networks due to functions that were unfulfilled or only partially fulfilled by central actors such as the extension services, agricultural research centers, input suppliers, the decentralized service of the Ministry of Agriculture and diversification cooperatives. Thus, these central actors do not manage to out- and up-scale a strong agroecological transition. Bottlenecks are overcome, in part, by peer-to-peer learning among farmers in the AIS in Guadeloupe.

Based on these results, the first recommendation would be to encourage peer-to-peer learning and to focus on central farmers. The second would be to invite the other central actors (extension services, the decentralized service of the (French) Ministry of Agriculture, diversification crop cooperatives, etc.) to reconsider their role in the AIS and to propose tools more in line with the demand of farmers engaged in a strong agroecological transition process.

Our results call for a deeper analysis of the lack of innovation, including organizational innovation, to support strong agroecological transition. They also call for a deeper analysis of links with the dominant export banana system as many of the central actors identified are also linked to this dominant system. It would be interesting to undertake a dynamic analysis (over time) of AIS and to confirm the place and the role of the identified networks in order to assess their ability to diffuse innovative practices over time.

Declaration of competing interests

The authors declare that there are no conflicts of interest related to this paper.

Acknowledgments

The authors are grateful to the Regional Council of Guadeloupe for its support of the PhD project, to the European Union for funding the INTERREG project CambioNet, and to experimental unit PEYI of the INRAE French West Indies – French Guiana Centre for co-funding the PhD project. Special thanks go to the interviewees for their time and input to the research, to David Hammouya, who contributed especially to the research on the island of Marie Galante, and to the entire PEYI unit for their logistical support.

Funding details

This work was supported by the Regional Council of Guadeloupe for the thesis scholarship [Grant CR/5-2020, signed the 14th of August, 2020] and the European Union (European Regional Development Fund) [Grant INTERREG V Caraïbes number 7629, signed the 6th of May, 2021].

References

- Agreste, 2020. Memento de la statistique agricole [WWW Document]. URL https://daaf.guadeloupe.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/memento_2020_internet_cle4814fe.pdf (accessed 8.24.21).
- Akimowicz, M., Del Corso, J.-P., Gallai, N., Képhaliacos, C., 2022. The leader, the keeper, and the follower? A legitimacy perspective on the governance of varietal innovation systems for climate changes adaptation. The case of sunflower hybrids in France. *Agric. Syst.* 203, 103498. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103498>
- Anandajayasekeram, P., 2022. The Role of Agricultural R&D within the Agricultural Innovation Systems Framework, in: *Innovation in Small-Farm Agriculture*. CRC Press, Boca Raton, pp. 75–87. <https://doi.org/10.1201/9781003164968-10>
- Angeon, V., Bates, S., 2020. Mettre en œuvre la transition agroécologique : une analyse des règles de décision dans les systèmes bananiers aux Antilles françaises. *Rev Econ Reg Urbaine* 3, 503–529. <https://doi.org/10.3917/reru.203.0503>
- Angeon, V., Caron, A., 2009. Dossier « Économie de la proximité » – Quel rôle joue la proximité dans l'émergence et la pérennité de modes de gestion durable des ressources naturelles ? *Nat. Sci. Soc.* 17, 361–372. <https://doi.org/10.1051/nss/2009065>
- Basu, S., Leeuwis, C., 2012. Understanding the rapid spread of System of Rice Intensification (SRI) in Andhra Pradesh: Exploring the building of support networks and media representation. *Agr Syst* 111, 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.04.005>
- Bezard, M., Barlagne, C., Diman, J.-L., Angeon, V., Morin, R., Ozier Lafontaine, H., Andrieu, N., 2023. Co-designing innovative plantain cropping systems to support the diversity of agroecological pathways in Guadeloupe. *Agron. Sustain. Dev.* <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00879-8>
- Blazquez-Soriano, A., Ramos-Sandoval, R., 2022. Information transfer as a tool to improve the resilience of farmers against the effects of climate change: The case of the Peruvian National Agrarian Innovation System. *Agr Syst* 200, 103431. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103431>
- Borgatti, S.P., Everett, M.G., Johnson, J.C., Agneessens, F., 2022. *Analyzing Social Networks Using R*. SAGE.
- Borgatti, S.P., Lopez-Kidwell, V., 2011. Network Theory, in: *The Sage Handbook of Social Network Analysis*. pp. 40–54.
- Borgatti, S.P., Mehra, A., Brass, D.J., Labianca, G., 2009. Network Analysis in the Social Sciences. *Science* 323, 892–895. <https://doi.org/10.1126/science.1165821>
- Brandes, U., 2001. A faster algorithm for betweenness centrality*. *J Math Sociol* 25, 163–177. <https://doi.org/10.1080/0022250X.2001.9990249>
- Brondízio, E.S., Settele, J., Díaz, S., Ngo, H.T. (Eds.), 2019. *The global assessment report of the intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services*. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), Bonn.
- DAAF, 2019. *Mémento de la statistique agricole Guadeloupe*.

- de Boon, A., Sandström, C., Rose, D.C., 2022. Governing agricultural innovation: A comprehensive framework to underpin sustainable transitions. *J. Rural Stud.* 89, 407–422. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.07.019>
- Deffontaines, L., Mottes, C., Della Rossa, P., Lesueur-Jannoyer, M., Cattan, P., Le Bail, M., 2020. How farmers learn to change their weed management practices: Simple changes lead to system redesign in the French West Indies. *Agric. Syst.* 179, 102769. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102769>
- Delcombel, E., 2005. Organisation de l'action collective et rôle de la puissance publique pour le développement de l'agriculture guadeloupéenne. Les difficultés du modèle coopératif et de la concertation entre acteurs. Université des Antilles.
- Duru, M., Therond, O., Fares, M., 2015a. Designing agroecological transitions; A review. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 1237–1257. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0318-x>
- Duru, M., Therond, O., Martin, G., Martin-Clouaire, R., Magne, M.-A., Justes, E., Journet, E.-P., Aubertot, J.-N., Savary, S., Bergez, J.-E., Sarthou, J.P., 2015b. How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 1259–1281. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1>
- Faure, G., Chiffolleau, Y., Goulet, F., Temple, L., Touzard, J.-M., 2018. Renouveler les regards sur l'innovation dans les systèmes agricoles et alimentaires, in: *Innovation et développement dans les systèmes agricoles et alimentaires*. pp. 3–16.
- Fieldsend, A.F., Varga, E., Biró, S., Von Münchhausen, S., Häring, A.M., 2022. Multi-actor co-innovation partnerships in agriculture, forestry and related sectors in Europe: Contrasting approaches to implementation. *Agric. Syst.* 202, 103472. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103472>
- Fielke, S.J., Botha, N., Reid, J., Gray, D., Blackett, P., Park, N., Williams, T., 2018. Lessons for co-innovation in agricultural innovation systems: a multiple case study analysis and a conceptual model. *J. Agric. Educ. Ext.* 24, 9–27. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2017.1394885>
- Geels, F.W., 2002. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Res. Policy* 31, 1257–1274. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8)
- Geels, F.W., Schot, J., 2007. Typology of sociotechnical transition pathways. *Res. Policy* 36, 399–417. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.003>
- Giroux, S., Kaminski, P., Waldman, K., Blekking, J., Evans, T., Caylor, K.K., 2023. Smallholder social networks: Advice seeking and adaptation in rural Kenya. *Agric. Syst.* 205, 103574. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103574>
- Godin, B., 2015. *Innovation Contested*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315855608>
- Hall, A., Janssen, W., Pehu, E., Rajalahti, R., 2006. *Enhancing Agricultural Innovation. How to go beyond the strengthening of research systems*. The World Bank, 1818 H Street NW Washington DC 20433.
- Hekkert, M.P., Suurs, R.A.A., Negro, S.O., Kuhlmann, S., 2007. Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technol. Forecast. Soc.* 20. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2006.03.002>

- Hermans, F., Sartas, M., van Schagen, B., van Asten, P., Schut, M., 2017. Social network analysis of multi-stakeholder platforms in agricultural research for development: Opportunities and constraints for innovation and scaling. *PLoS ONE* 12, e0169634. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169634>
- Hermans, F., Stuiver, M., Beers, P.J., Kok, K., 2013. The distribution of roles and functions for upscaling and outscaling innovations in agricultural innovation systems. *Agric. Syst.* 115, 117–128. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.09.006>
- Hill, S.B., MacRae, R.J., 1996. Conceptual Framework for the Transition from Conventional to Sustainable Agriculture. *J. Sustain. Agric.* 7, 81–87. https://doi.org/10.1300/J064v07n01_07
- Hogan, B., Carrasco, J.A., Wellman, B., 2007. Visualizing Personal Networks: Working with Participant-aided Sociograms. *Field Methods* 19, 116–144. <https://doi.org/10.1177/1525822X06298589>
- Horlings, L.G., Marsden, T.K., 2011. Towards the real green revolution? Exploring the conceptual dimensions of a new ecological modernisation of agriculture that could ‘feed the world.’ *Glob. Environ. Change* 21, 441–452. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.01.004>
- Hornum, S.T., Bolwig, S., 2021. A functional analysis of the role of input suppliers in an agricultural innovation system: The case of small-scale irrigation in Kenya. *Agric. Syst.* 193, 103219. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103219>
- IPCC, 2023. Synthesis report of the IPCC Sixth Assessment Report. IPCC.
- Iyabano, A., Klerkx, L., Leeuwis, C., 2023. Why and how do farmers’ organizations get involved in the promotion of agroecological techniques? Insights from Burkina Faso. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 47, 493–519. <https://doi.org/10.1080/21683565.2023.2164881>
- Johnson, J.C., 1990. *Selecting ethnographic informants*. Sage Publications, Inc.
- Kabirigi, M., Abbasiharofteh, M., Sun, Z., Hermans, F., 2022. The importance of proximity dimensions in agricultural knowledge and innovation systems: The case of banana disease management in Rwanda. *Agric. Syst.* 202, 103465. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103465>
- Kamara, L.I., Dorward, P., Lalani, B., Wauters, E., 2019. Unpacking the drivers behind the use of the Agricultural Innovation Systems (AIS) approach: The case of rice research and extension professionals in Sierra Leone. *Agric. Syst.* 176, 102673. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102673>
- Klerkx, L., Aarts, N., Leeuwis, C., 2010. Adaptive management in agricultural innovation systems: The interactions between innovation networks and their environment. *Agric. Syst.* 103, 390–400. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.03.012>
- Klerkx, L., Begemann, S., 2020. Supporting food systems transformation: The what, why, who, where and how of mission-oriented agricultural innovation systems. *Agric. Syst.* 184, 102901. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102901>
- Klerkx, L., Leeuwis, C., 2009. Establishment and embedding of innovation brokers at different innovation system levels: Insights from the Dutch agricultural sector. *Technol. Forecast. Soc. Change* 76, 849–860. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2008.10.001>
- Klerkx, L., van Mierlo, B., Leeuwis, C., 2012. Evolution of systems approaches to agricultural innovation: concepts, analysis and interventions, in: Darnhofer, I., Gibbon, D., Dedieu, B.

- (Eds.), *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 457–483. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_20
- Kwa, M., 2003. Activation de bourgeons latents et utilisation de fragments de tige du bananier pour la propagation en masse de plants en conditions horticoles in vivo. *Fruits* 58, 315–328. <https://doi.org/10.1051/fruits:2003018>
- Lamprinopoulou, C., Renwick, A., Klerkx, L., Hermans, F., Roep, D., 2014. Application of an integrated systemic framework for analysing agricultural innovation systems and informing innovation policies: Comparing the Dutch and Scottish agrifood sectors. *Agric. Syst.* 129, 40–54. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.05.001>
- Leeuwis, C., Aarts, N., 2011. Rethinking Communication in Innovation Processes: Creating Space for Change in Complex Systems. *J. Agric. Educ. Ext* 17, 21–36. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2011.536344>
- Mekonnen, D.K., Yimam, S., Arega, T., Matheswaran, K., Schmitter, P.M.V., 2022. Relatives, neighbors, or friends: Information exchanges among irrigators on new on-farm water management tools. *Agric. Syst.* 203, 103492. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103492>
- Minh, T.T., 2019. Unpacking the systemic problems and blocking mechanisms of a regional agricultural innovation system: An integrated regional-functional-structural analysis. *Agricultural Systems* 173, 268–280. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.009>
- Munzel, U., Hothorn, L.A., 2001. A Unified Approach to Simultaneous Rank Test Procedures in the Unbalanced One-way Layout. *Biom. J.* 43, 553–569. [https://doi.org/10.1002/1521-4036\(200109\)43:5<553::AID-BIMJ553>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/1521-4036(200109)43:5<553::AID-BIMJ553>3.0.CO;2-N)
- OECD, 2013. *Agricultural Innovation Systems: A Framework for Analysing the Role of the Government*. OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264200593-en>
- Paul, J., Sierra, J., Causeret, F., Guindé, L., Blazy, J.-M., 2017. Factors affecting the adoption of compost use by farmers in small tropical Caribbean islands. *J. Clean. Prod.* 142, 1387–1396. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.168>
- Polge, E., 2015. *Développement et gouvernance des territoires ruraux. Une analyse des dynamiques d'interaction dans deux dispositifs institutionnels en Amazonie brésilienne*. AgroParisTech, Paris.
- Prell, C., Hubacek, K., Reed, M., 2009. Stakeholder Analysis and Social Network Analysis in Natural Resource Management. *Soc. Nat. Resour.* 22, 501–518. <https://doi.org/10.1080/08941920802199202>
- QSR International Pty Ltd, 2020. NVivo.
- R Core Team, 2022. R: A language and environment for statistical computing.
- Ragozini, G., Vitale, M.P. (Eds.), 2020. *Challenges in Social Network Research: Methods and Applications*, Lecture Notes in Social Networks. Springer International Publishing, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-31463-7>
- Rajalahti, R., Janssen, W., Pehu, E., 2008. *Agricultural Innovation Systems: From Diagnostics toward Operational Practices*. The World Bank 105.

- Ramírez-Gómez, C.J., Velasquez, J.R., Aguilar-Avila, J., 2020. Trust networks and innovation dynamics of small farmers in Colombia: An approach from territorial system of agricultural innovation. *Rev. Fac. Cienc. Agrar.* 52, 253–266.
- Rasse, C., Andrieu, N., Diman, J.-L., Fanchone, A., Chia, E., 2018. Utilisation de pratiques agroécologiques et performances de la petite agriculture familiale : le cas de la Guadeloupe. *Cah. Agric.* 27, 55002. <https://doi.org/10.1051/cagri/2018032>
- Reed, M.S., Graves, A., Dandy, N., Posthumus, H., Hubacek, K., Morris, J., Prell, C., Quinn, C.H., Stringer, L.C., 2009. Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management. *J. Environ. Manage.* 90, 1933–1949. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.01.001>
- Rip, A., Kemp, R., 1998. Technological changes, in: S. Rayner, & E.L. Malone (Eds), *Human Choice and Climate Change*. Battelle Press, pp. 327–399.
- Sadom, L., Tomekpé, K., Folliot, M., Côte, F.-X., 2010. Comparaison de l'efficacité de deux méthodes de multiplication rapide de plants de bananier à partir de l'étude des caractéristiques agronomiques d'un hybride de bananier plantain (*Musa spp.*). *Fruits* 65, 3–9. <https://doi.org/10.1051/fruits/2009036>
- Schut, M., Klerkx, L., Rodenburg, J., Kayeke, J., Hinnou, L.C., Raboanarielina, C.M., Adegbola, P.Y., van Ast, A., Bastiaans, L., 2015. RAAIS: Rapid Appraisal of Agricultural Innovation Systems (Part I). A diagnostic tool for integrated analysis of complex problems and innovation capacity. *Agric. Syst.* 132, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.08.009>
- Skaalsveen, K., Ingram, J., Urquhart, J., 2020. The role of farmers' social networks in the implementation of no-till farming practices. *Agric. Syst.* 181, 102824. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102824>
- Spielman, D.J., Davis, K., Negash, M., Ayele, G., 2011. Rural innovation systems and networks: findings from a study of Ethiopian smallholders. *Agric Hum Values* 28, 195–212. <https://doi.org/10.1007/s10460-010-9273-y>
- Spielman, D.J., Ekboir, J., Davis, K., 2009. The art and science of innovation systems inquiry: Applications to Sub-Saharan African agriculture. *Technol. Soc.* 31, 399–405. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2009.10.004>
- Stræte, E.P., Vik, J., Fuglestad, E.M., Gjefsen, M.D., Melås, A.M., Søråa, R.A., 2022. Critical support for different stages of innovation in agriculture: What, when, how? *Agric. Syst.* 203, 103526. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103526>
- Sutherland, L.-A., Labarthe, P., 2022. Introducing 'microAKIS': a farmer-centric approach to understanding the contribution of advice to agricultural innovation. *J. Agric. Educ. Ext* 28, 525–547. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2022.2121903>
- Toilier, A., Guillonnet, R., Bucciarelli, M., Hawkins, R., 2020. Developing capacities for agricultural innovation systems: lessons from implementing a common framework in eight countries. *Agrinatura and FAO*. <https://doi.org/10.4060/cb1251en>
- Torres-Avila, A., Aguilar-Ávila, J., Santoyo-Cortés, V.H., Martínez-González, E.G., Aguilar-Gallegos, N., 2022. Innovation in the pineapple value chain in Mexico: Explaining the global adoption process of the MD-2 hybrid. *Agric. Syst.* 198, 103386. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103386>

- Touzard, J.-M., Temple, L., Faure, G., Triomphe, B., 2015. Innovation systems and knowledge communities in the agriculture and agrifood sector: a literature review: *IJIMES* n°17, 117–142. <https://doi.org/10.3917/jie.017.0117>
- Tropical Agricultural Platform, 2016. Common Framework on Capacity Development for Agricultural Innovation Systems: Synthesis Document. CAB International, Wallingford, UK.
- Tubaro, P., Ryan, L., D'angelo, A., 2016. The Visual Sociogram in Qualitative and Mixed-Methods Research. *Sociological Research Online* 21, 180–197. <https://doi.org/10.5153/sro.3864>
- Van Hulst, F., 2016. Creating capabilities for sustainable smallholder agriculture. University of Greenwich.
- Weyori, A.E., Amare, M., Garming, H., Waibel, H., 2018. Agricultural innovation systems and farm technology adoption: findings from a study of the Ghanaian plantain sector. *J. Agric. Educ. Ext* 24, 65–87. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2017.1386115>
- Wezel, A., Herren, B.G., Kerr, R.B., Barrios, E., Gonçalves, A.L.R., Sinclair, F., 2020. Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 40, 40. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z>
- Wieczorek, A.J., Hekkert, M.P., 2012. Systemic instruments for systemic innovation problems: A framework for policy makers and innovation scholars. *Science and Public Policy* 39, 74–87. <https://doi.org/10.1093/scipol/scr008>
- World Bank, 2012. Agricultural Innovation Systems. An investment sourcebook. International Bank for Reconstruction and Development / International Development Association or, Washington DC 20433.

Supplementary table

PIF technique											
Knowledge			Material resources			Financial resources			Labor		
Actor	Out Degree	Betweenness	Actor	Out Degree	Betweenness	Actor	Out Degree	Betweenness	Actor	Out Degree	Betweenness
Farmer (DE3)	19	463	Farmer (CF2)	8	258	Local Agricultural Ministry	10	358	Farmer (DE11)	5	84
Farmer (DF2)	9	117	Local composting platform	8	158	Farmers association 1	6	301	Farmer (CF2)	5	38
Extension service 1	9	163	Input supplier link to export banana cooperative	8	139	Organic farmers association	4	8	Farmer (BF2)	5	38
Agricultural Research Center 1	8	66	Supplier of agricultural equipment 1	8	143	Farmer (BF2)	4	132	Administrative service provider 1	4	106
Farmer (DE11)	7	102	Farmer (DE11)	7	238	Farmer (CF2)	4	95	Farmer (DE3)	4	94
Farmer (BE1)	7	71	Sugarcane cooperative 1	7	248	Farmer (DE3)	3	26	Farmer (DE9)	3	42
Extension service 2	7	58	Input supplier 2	6	118	Wholesale market 1	3	93	Farmer (DE5)	2	32
Farmer (CF2)	7	96	Farmer (DE10)	6	100	Local Government (Region)	3	4	Extension service 1	2	18
Farmer (DF6)	6	87	Farmer (BF2)	6	166	Farmer (DE10)	2	9	Farmers sub association 1	2	0
Farmer (CE1)	6	25	Farmer (BF13)	5	48	Farmer (DE11)	2	9	Agricultural secondary school	2	44
Internet	6	31	Farmer (DF6)	5	66	Farmer (CE1)	2	66	Farmer (DF10)	2	24
			Vitroplants nursery	5	53	Farmer (BF3)	2	46			
			Input supplier 1	5	54	Farmer (BE1)	2	13			
						Farmer (DF10)	2	13			
						Farmer (DE7)	2	9			

						Farmer (DF10)	2	46			
						Bank	2	0			
In-vitro plants											
Knowledge			Material resources			Financial resources			Labor		
Actor	Out Degree	Betweenness	Actor	Out Degree	Betweenness	Actor	Out Degree	Betweenness	Actor	Out Degree	Betweenness
Extension service 2	19	1662	Input supplier link to export banana cooperative	26	1029	Local Agricultural Ministry	15	2875	Farmer (CE7)	6	700
Farmer (DE3)	14	859	Supplier of agricultural equipment 1	23	1644	Diversification crop cooperative 1	10	1188	Farmer (DF4)	5	260
Agricultural Research Center 2	13	611	Vitroplants nursery	22	1153	Farmers association 1	7	1161	Farmer (CF2)	5	165
Agricultural Research Center 1	13	643	Local composting platform	20	826	Farmer (DE10)	5	380	Extension service 1	5	854
Extension service 1	13	750	Farmer (BE5)	9	511	Farmer (DE13)	5	476	Administrative service provider 1	4	474
Farmer (DF2)	12	566	Sugarcane cooperative 1	9	431	Farmer (DE2)	5	476	Farmer (BF7)	4	12
Export banana cooperative	12	947	Input supplier 2	9	168	Diversification crop cooperative 2	5	61	Farmer (DE7)	3	134
Farmer (BE1)	11	868	Farmer (BF13)	8	200	Organic farmers association	4	54	Farmer (DE8)	3	134
Farmer (BE4)	9	374	Farmer (CF2)	8	454	Farmer (CF2)	4	225	Farmer (BF5)	3	6
Farmer (DF3)	8	671	Input supplier 1	8	113	Farmer (DE3)	3	51	Farmer (CF3)	3	6
Farmer (BE7)	5	922	Farmer (CE7)	7	518	Farmer (CE7)	3	691	Farmer (CF5)	3	6
Farmer (DF6)	8	683	Farmer (CF7)	4	456	Tax-exemption companies	2	570	Farmer (DE12)	3	6
Internet	8	208	Farmer (DF6)	7	387	Farmer (CF3)	3	433	Farmer (DE2)	3	6
						Farmer (DE7)	3	394	Farmer (BF2)	3	31

						Farmer (BE1)	3	377		Farmer (DE9)	3	300
						Farmer (DF3)	3	141		Farmer (DE5)	3	404
						Farmer (BF5)	3	242		Farmer (DF5)	3	250
						Farmer (DE8)	3	141		Farmer (BE5)	3	100
						Farmer (DF4)	3	55		Administrative service provider 2	2	500
						Farmer (DF1)	3	6		Farmer (DE11)	2	468
						Farmer (DE5)	3	242				
						Wholesale market 1	3	222				
						Wholesale market 2	3	277				
						Local Government (Region)	3	17				
						Bank	3	122				
Amendement Organic on-farm												
Knowledge			Material resources			Financial resources			Labor			
Actor	Out Degree	Betweenness	Actor	Out Degree	Betweenness	Actor	Out Degree	Betweenness	Actor	Out Degree	Betweenness	
Farmer (DE1)	14	1011	Farmer (DE1)	8	445	Farmer (CE2)	6	30	Farmer (DF10)	6	137	
Extension service 1	11	569	Farmer (CE2)	8	526	Local Agricultural Ministry	6	435	Farmer (CE2)	6	137	
Agricultural Research Center 1	9	387	Supplier of agricultural equipment 1	7	819	Farmers association 1	6	390	Farmer (CE8)	5	107	
Internet	8	476	Sugarcane cooperative 1	7	530	Farmer (DE16)	4	144	Farmer (CE5)	4	60	
Farmer (BE1)	7	300	Farmer (CE8)	6	383	Farmer (DF10)	4	151	Agricultural secondary school	4	101	
Farmer (DE3)	7	201	Input supplier 4	6	742	Farmer (DF8)	4	12	Agricultural professional school	4	161	
Agricultural Research Center 2	5	80	Farmer (CF2)	5	254	Local Government (Region)	4	187	Farmer (CE11)	3	6	

Extension service 2	5	41	Farmer (BE5)	5	469	Farmer (CE8)	3	98	Farmer (DE1)	3	70
Farmer (CF2)	5	131	Farmer (BF2)	5	206	Farmer (DE5)	3	98	Farmer (DE16)	3	6
Farmer (DF10)	5	259	Farmer (BE4)	4	182	Farmer (BE1)	3	103	Farmer (DF8)	3	42
Farmer association 2	2	328	Farmer (CE1)	4	101	Bank	3	96	Farmer (DE9)	3	40
Farmer (CE11)	4	258	Farmer (DE16)	4	230	Farmer (DE3)	2	53	Farmer (DE5)	3	70
Farmer (DE16)	3	174	Input supplier link to export banana cooperative	4	76				Extension service 1	3	94
Farmer (DF8)	3	174	Sugar plant	4	431						
			Farmer (CE11)	4	369						
			Farmer (CF7)	4	294						
Amendement Local Organic											
Knowledge			Material resources			Financial resources			Labor		
Actor	Out Degree	Betweenness	Actor	Out Degree	Betweenness	Actor	Out Degree	Betweenness	Actor	Out Degree	Betweenness
Extension service 2	18	1370	Input supplier link to export banana cooperative	27	1429	Local Agricultural Ministry	13	3460	Farmer (CE7)	6	1176
Extension service 1	16	1279	Local composting platform	22	1714	Farmer (BE1)	8	1824	Extension service 1	6	1340
Farmer (BE1)	15	1875	Supplier of agricultural equipment 1	21	1071	Diversification crop cooperative 1	8	1501	Farmer (CE2)	6	772
Agricultural Research Center 1	15	1099	Vitroplants nursery	17	566	Farmers association 1	7	1162	Farmer (DF4)	5	340
Farmer (DE3)	14	947	Sugarcane cooperative 1	11	933	Farmer (CE2)	6	660	Farmer (CF2)	5	215

Export banana cooperative	14	1121	Input supplier 1	10	267	Farmer (CE1)	5	704	Farmer (CF11)	4	12
Farmer (DE1)	14	1628	Farmer (BE5)	9	680	Farmer (DE10)	5	440	Administrative service provider 1	3	1006
Farmer (DF2)	13	861	Farmer (BF13)	8	190	Tax-exemption companies	4	1120	Farmer (DE8)	3	174
Internet Agricultural Research Center 2	13	1158	Farmer (DE1)	8	514	Wholesale market 2	4	477	Farmer (BF5)	3	6
Farmer (BE7)	12	649	Farmer (CF2)	8	563	Farmer (CF2)	4	202	Farmer (CF5)	3	6
	5	1091	Farmer (CE2)	8	556	Wholesale market 1	4	148	Farmer (DE1)	3	174
			Farmer (CE1)	8	798	Diversification crop cooperative 2	4	71	Farmer (DF12)	3	174
			Farmer (CE7)	7	608	Farmer (CE7)	3	1204	Farmer (BF2)	3	41
									Farmer (DE9)	3	400
									Farmer (DF5)	3	330
									Farmer (BE4)	3	130
									Farmer (BF11)	3	6
									Administrative service provider 2	2	972
									Farmer (DE11)	2	952
									Farmer (DE3)	2	792
									Agricultural secondary school	2	748
									Farmer (DE5)	2	468
Amendement Imported Organic											
Knowledge			Material resources			Financial resources			Labor		
Actor	Out Degree	Betweenness	Actor	Out Degree	Betweenness	Actor	Out Degree	Betweenness	Actor	Out Degree	Betweenness
Farmer (BE1)	15	850	Supplier of agricultural equipment 1	12	366	Local Agricultural Ministry	10	892	Farmer (CE8)	5	38

Extension service 2	11	387	Input supplier link to export banana cooperative	11	401	Farmer (DF5)	8	501	Farmer (DF5)	4	36
Extension service 1	11	473	Local composting platform	8	184	Farmer (BE1)	8	448	Farmer (BF5)	3	6
Farmer (DE3)	9	277	Farmer (BF12)	7	315	Diversification crop cooperative 1	5	327	Farmer (CF3)	3	6
Agricultural Research Center 1	9	152	Farmer (DF6)	7	246	Farmer (DF12)	3	213	Farmer (DF12)	3	26
Agricultural Research Center 2	8	211	Farmer (BE5)	6	142	Wholesale market 2	3	170	Extension service 1	3	38
Farmer (DF6)	8	424	Farmer (BE1)	6	204	Farmer (BF5)	3	142	Farmer (BF12)	2	2
Internet	7	90	Farmer (CE8)	6	293	Farmer (CE8)	3	142	Agricultural secondary school	2	12
Farmer (CF3)	6	214	Vitroplants nursery	6	60	Farmer (CF3)	3	138	Agricultural professional school	2	12
Export banana cooperative	6	51	Sugarcane cooperative 1	6	237	Farmer (DE3)	3	60	Farmer (DF7)	2	2
Farmer (BE4)	6	44	Input supplier 4	5	221	Wholesale market 1	2	115			
Farmer (DE11)	6	177									
Farmer (DE1)	6	132									
Farmer (BF12)	6	203									
Fertilization Organic on-farm											
Knowledge			Material resources			Financial resources			Labor		
Actor	Out Degree	Betweenness	Actor	Out Degree	Betweenness	Actor	Out Degree	Betweenness	Actor	Out Degree	Betweenness

Farmer (DE1)	14	1495	Supplier of agricultural equipment 1	14	1002	Local Agricultural Ministry	10	787	Farmer (DF10)	6	172
Extension service 1	13	786	Input supplier link to export banana cooperative	10	287	Farmers association 1	6	458	Farmer (DE11)	5	108
Extension service 2	12	510	Farmer (CF2)	8	495	Farmer (DE2)	5	20	Farmer (CF2)	5	75
Agricultural Research Center 1	11	815	Farmer (BE5)	8	608	Farmer (DE13)	5	244	Extension service 1	4	206
Farmer (DE3)	10	405	Farmer (DE1)	8	493	Farmer (CF2)	4	86	Farmer (CE5)	4	90
Farmer (BE1)	9	500	Local composting platform	8	336	Farmer (DE16)	4	186	Farmer (CE11)	3	6
Farmer (CE3)	9	496	Sugarcane cooperative 1	8	428	Farmer (DF10)	4	199	Farmer (DE1)	3	58
Internet	9	724	Vitroplants nursery	7	232	Farmer (DF8)	4	12	Farmer (DE12)	3	6
Farmer (DF2)	8	246	Farmer (DE2)	7	301	Local Government (Region)	4	246	Farmer (DE16)	3	6
Farmer (DE11)	7	184	Farmer (DE11)	7	353	Farmer (DE3)	3	113	Farmer (DE2)	3	6
Farmer (CF2)	7	248	Input supplier 4	5	470	Wholesale market 1	3	15	Farmer (DF8)	3	62
Farmer association 2	3	545	Sugar plant	4	468	Farmer (BE1)	3	137	Farmer (BF2)	3	13
Farmer (DF10)	5	373	Farmer (BE4)	6	359	Bank	3	124	Farmer (DE9)	3	120
Farmer (CE11)	4	372				Farmer (CF2)	4	86	Farmer (DF5)	3	62
									Farmer (DE5)	2	132

									Agricultural secondary school Farmer (DE3)	2	126
									Administrative service provider 1	2	110
									Agricultural professional school	2	78
Fertilization Local Organic											
Knowledge			Material resources			Financial resources			Labor		
Actor	Out Degree	Betweenness	Actor	Out Degree	Betweenness	Actor	Out Degree	Betweenness	Actor	Out Degree	Betweenness
Farmer (BE1)	15	658	Supplier of agricultural equipment 1	9	363	Farmer (BE1)	8	180	Farmer (CE6)	6	80
Farmer (DE3)	7	225	Farmer (BE1)	6	162	Local Agricultural Ministry	6	214	Farmer (DF4)	5	68
Farmer (DE1)	7	238	Farmer (DF4)	6	133	Farmer (DE13)	5	132	Farmer (DE13)	2	2
Farmer (DE14)	6	221	Vitroplants nursery	6	43	Farmer (DE3)	3	41	Farmer (DE14)	2	2
Farmer (CE6)	5	169	Farmer (DF6)	5	66	Farmer (DF4)	3	26	Extension service 1	2	60
Farmer (DE2)	5	95	Farmer (CE6)	4	126	Local Government (Region)	3	28	Agricultural entrepreneur DE13	1	0
Agricultural Research Center 1	5	157	Input supplier 2	4	58	Farmer (CF3)	2	10	Agricultural entrepreneur CE6	1	0
Farmer (CE9)	5	86	Farmer (DE2)	4	38	Farmer (DF3)	2	13	Agricultural entrepreneur DE14	1	0

Extension service 1	5	109	Sugarcane cooperative 1	3	24	Diversification crop cooperative 2	2	2	Agricultural entrepreneur DF4	1	0
Farmer (DF3)	4	109	Farmer (DE3)	3	24	Diversification crop cooperative 1	2	7	Extension service 3	1	0
Agricultural Research Center 2	4	39	Farmer (CF3)	3	21	Farmer (CE6)	2	4	Farmer (CE12)	1	0
Farmer (CF3)	4	45	Farmer (DE13)	3	21	Wholesale market 2	2	4	Agricultural professional school	1	0
Extension service 2	4	137	Local composting platform	3	53				Farmer (DE1)	1	0
Internet	4	210	Input supplier 1	3	20				Daughter CE6	1	0
Farmer (DF6)	3	140	Input supplier link to export banana cooperative	3	9				Wife CE6	1	0
			Farmer (CE12)	2	144				Wife DE13	1	0
			Sugarcane cooperative 2	2	100				Wife DF4	1	0
			Farmer (CE9)	2	80				Son CE6	1	0
									Son DF4	1	0
									Worker CE6	1	0
									Workers BE1	1	0
									Farmer (BE1)	1	0
									Workers DE14	1	0
									Workers DF4	1	0

									Sugarcane cooperative 2	1	0
									Farmer (CE9)	1	0
Fertilization Imported Organic											
Knowledge			Material resources			Financial resources			Labor		
Actor	Out Degree	Betweenness	Actor	Out Degree	Betweenness	Actor	Out Degree	Betweenness	Actor	Out Degree	Betweenness
Farmer (DE3)	19	1302	Supplier of agricultural equipment 1	25	1446	Local Agricultural Ministry	17	3363	Farmer (DE11)	5	132
Extension service 2	17	1272	Input supplier link to export banana cooperative	24	1257	Diversification crop cooperative 1	11	1180	Farmer (DF4)	5	76
Farmer (BE1)	15	1302	Local composting platform	18	812	Farmer (BE1)	8	890	Administrative service provider 1	4	254
Agricultural Research Center 1	14	553	Vitroplants nursery	16	527	Farmer (BF3)	7	1458	Farmer (DE3)	4	190
Extension service 1	14	878	Input supplier 1	11	354	Farmer (DE10)	5	426	Extension service 1	4	92
Export banana cooperative	12	751	Farmer (BE5)	9	452	Farmer (BF4)	5	421	Farmer (DE7)	3	70
Agricultural Research Center 2	12	358	Input supplier 2	9	231	Farmer (CE1)	5	1237	Farmer (DE8)	3	70
Internet	12	421	Farmer (CE1)	8	546	Farmer (DE13)	5	532	Farmer (BF5)	3	6
Farmer (DF2)	11	460	Sugarcane cooperative 1	8	289	Farmer (DE2)	5	658	Farmer (DE12)	3	6
Farmer (DF3)	8	624	Farmer (BE4)	7	286	Organic farmers association	4	40	Farmer (DE2)	3	6

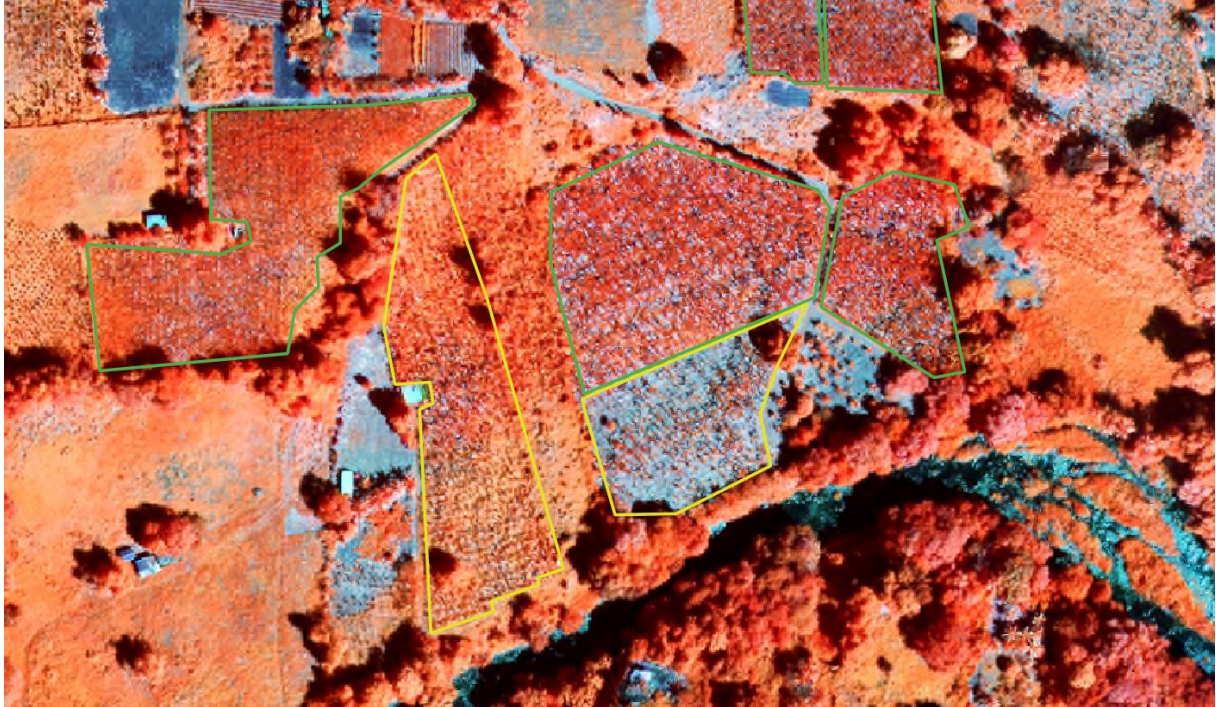
Partie 3. Résultats

Farmer (DF6)	8	702	Farmer (DE11)	7	309	Farmer (BE2)	4	156	Farmer (DF5)	3	66
Farmer (BE4)	8	248	Farmer (DF6)	7	365	Diversification crop cooperative 2	4	15	Farmer (BE5)	3	31
Farmer (BE6)	7	551	Farmer (BF13)	7	136	Wholesale market 1	4	1515	Agricultural secondary school	3	121
Farmer (BE7)	5	478	Farmer (DE2)	7	352	Wholesale market 2	4	425	Agricultural professional school	3	37
			Farmer (DF3)	6	392	Local Government (Region)	4	39			
			Farmer (DF6)	7	365	Retail market 1	2	756			
			Farmer (BF3)	5	359	Farmer (DF5)	2	656			

2. Conclusion du chapitre

La caractérisation des réseaux d'acteurs autour des producteurs de plantain a permis d'identifier et de valider l'existence d'un AIS plantain composé de réseaux d'innovation interconnectés. Deux types de réseaux ont été mis en évidence au sein de l'AIS : des réseaux autour de pratiques liées à une transition agroécologique faible avec de nombreux acteurs centraux (brokers) et des réseaux autour de pratiques liées à une transition agroécologique forte avec peu d'acteurs centraux. La caractérisation des réseaux a également permis de mettre en évidence l'importance des acteurs issus du système dominant banane export au sein des réseaux d'acteurs plantain. Des points de blocage à la transition agroécologique ont également été identifiés, en lien avec des fonctions non remplies par les acteurs centraux.

Chapitre 4 : Caractériser la place des systèmes alternatifs par rapport au système dominant



© T. Gilardoni, 2022

Ce quatrième et dernier chapitre présente les résultats d'une approche mixte dont l'objectif est de construire un système d'informations permettant de combler le manque de données sur la place des systèmes alternatifs plantain par rapport au système dominant banane export Cavendish. Cette approche s'est appuyée sur des méthodes (photo-interprétation, relevé de prix, caractérisation des circuits de commercialisation, entretiens semi-directifs) issus de disciplines variées (économie, agronomie et géomatique). Ce chapitre permet également de contribuer à la mise en évidence qu'une innovation agrotechnique, le vitroplant, issue du système dominant, peut entraîner un effacement des niches d'innovation et entraîner des verrouillages au sein du système sociotechnique.

Sous-Question de recherche

Quelle nécessité d'articuler les dimensions techniques et sociotechniques pour les transitions agroécologiques ?

1. Article 4 : Diffusion d'une innovation issue du régime dominant au sein des niches d'innovation : cas du vitroplant de plantain en Guadeloupe

Statut : Journal à identifier

Diffusion d'une innovation issue du régime dominant au sein des niches d'innovation : cas du vitroplant de plantain en Guadeloupe

Marie Bezard, Valérie Angeon, Carla Barlagne, Nadine Andrieu

Résumé

Contexte : Les transitions agroécologiques fortes reposent sur des innovations en rupture avec le régime dominant, émergeant au sein de niches. Pour autant, les interactions entre le régime et les niches entraînent souvent des situations conflictuelles et des points de blocage. En Guadeloupe, une partie des systèmes à base de plantain font figure de niche dans un système dominé par la banane export Cavendish. Parmi les innovations agroécologiques existantes au sein du régime dominant, le vitroplant est un plant de bananier produit en laboratoire, à partir de tissus végétaux sains, permettant de garantir un état sanitaire de départ optimal. Sa production et sa diffusion au sein des systèmes de production à base de plantain est emblématique de la façon dont le système dominant influe sur les innovations et les transitions dans les systèmes alternatifs.

Objectif : Dans un contexte de manque de données sur la place des systèmes alternatifs plantain par rapport au système dominant banane export Cavendish, l'objectif principal de l'article est de construire un système d'information qui s'appuie sur des outils variés pour (i) caractériser l'importance des systèmes de production à base de plantain et (ii) discuter le rôle de la banane export Cavendish sur l'adoption d'innovations de rupture dans les systèmes à base de plantain.

Méthode : Pour construire ce système d'information, une méthodologie mixte, quantitative et qualitative, mobilisant la perspective mutli-niveaux (MLP) est proposée. Elle s'appuie sur la déclinaison de méthodes variées (photo-interprétation, caractérisation des circuits de commercialisation, relevés de prix et entretiens semi-directifs) pour repérer spatialement les systèmes à base de plantain sur le territoire (à l'aide de la photo-interprétation), les quantifier (en termes de surface, de diversité de circuits de commercialisation et de prix de vente), discuter

de leur évolution entre 2017 et 2021-2022 ; et de leur capacité à se renforcer à partir d'une innovation agroécologique issue du système dominant. Ces données sont complétées par les perceptions des producteurs sur les évolutions récentes en termes de prix, surface, voies de commercialisation et sur l'innovation vitroplant.

Résultats et conclusion : Le croisement des méthodes quantitatives et qualitatives a permis de confirmer l'existence d'une production informelle, localisée en marge des exploitations de bananes export et de mettre en lumière différentes stratégies de plantation. La production informelle a diminué entre 2017 et 2022 mais les surfaces plantées en bananes destinées au marché local ont augmenté de plus de 50%. La caractérisation des circuits de commercialisation a confirmé la faible intégration des producteurs de plantain dans les coopératives. Ces producteurs privilégient des modes de commercialisation permettant un apport immédiat de trésorerie. L'étude de l'évolution des prix a permis de confirmer l'existence d'un marché fluctuant et instable lié à l'interconnexion entre des producteurs aux stratégies de commercialisation et de production très variées.

Significativité : La mobilisation de la perspective multi-niveaux a permis de fournir une grille de lecture des processus et trajectoires de transition engagées en Guadeloupe. Elle a également permis de confirmer qu'une innovation agrotechnique, issue du système dominant, pouvait entraîner un effacement des niches d'innovation et entraîner des verrouillages au sein du système socio-technique.

Mots clés

Système socio-technique, Transition agroécologique, *Musa* spp. AAB, Perspective multi-niveaux

1. Introduction

Les transitions agroécologiques sont le résultat d'interactions entre des niches, lieu d'émergence d'innovation de rupture, et les régimes sociotechniques, stabilisant les systèmes agricoles dominants. Plus précisément, ces transitions résultent du potentiel des niches à influencer le système dominant (Ingram 2018; Tittonell 2019). Ces niches sont, en effet, le lieu d'émergence des innovations visant une modernisation écologique des systèmes agricoles en rupture avec le régime sociotechnique dominant et en particulier un affranchissement de la dépendance aux intrants de synthèse. Ces interactions entre niches et régimes mènent souvent à des situations conflictuelles, les résistances du régime pouvant être déterminantes et conduire à son inertie. Ces résistances peuvent être plurielles (*e.g.* difficulté du passage aux cultures associées dans un système dominé par la monoculture, absence d'organisation de filières de récolte et d'agrotransformation des cultures associées, mécanismes de subvention ne prenant pas en compte les cultures compagnes mais seulement la culture principale) et entraîner des situations de « dépendance de sentier » (Sutherland *et al.* 2012) entraînant le verrouillage du système (*e.g.* verrouillage technique, institutionnel ou organisationnel).

En Guadeloupe, l'agriculture est très contrastée avec, d'une part, deux cultures d'exportation principales (la banane Cavendish et la canne à sucre) qui concentrent les appuis techniques et financiers et d'autre part des cultures, dites de diversification, destinées au marché local (Marzin *et al.* 2021). Dans les systèmes de production liés aux cultures de diversification, un certain nombre de pratiques agroécologiques sont mises en place (Rasse *et al.* 2018; Fanchone *et al.* 2020). Dans ces systèmes de production basés sur les cultures de diversification et destinés au marché local, les producteurs ne sont pas toujours officiellement enregistrés en tant qu'agriculteurs du fait de leur pluriactivité ou de leurs surfaces limitées et par conséquent, reçoivent peu d'appui technique et financier (Andrieu *et al.* 2022). Pourtant, les exploitations qui produisent pour le marché local représentent plus de la moitié des exploitations agricoles du territoire (Stark *et al.* 2016; Agreste 2022). Au sein de ces exploitations, dont la production est destinée au marché local, les systèmes à base de banane plantain, une culture de diversification fortement ancrée dans l'alimentation traditionnelle locale (Fréguin-Gresh *et al.* 2020) présentent un potentiel important à la fois en termes de satisfaction de la demande et de capacité à concevoir des innovations agroécologiques généralisables et potentiellement diffusables à l'échelle du territoire (Bezard *et al.* 2023b).

D'un point de vue physiologique, la banane plantain (*Musa* spp. AAB) rencontre les mêmes contraintes de production que la banane Cavendish (*Musa acuminata*, AAA). Les deux cultivars

de banane font, entre autres, face au même parasitisme tellurique, causé par les charançons (*Cosmopolites sordidus*) et les nématodes (*Radopholus similis*) et au même parasitisme aérien, avec la cercosporiose noire, une maladie fongique causée par *Mycosapharella fijensis* (Kwa and Temple 2019). Dans un contexte législatif interdisant de plus en plus l'utilisation des produits phytosanitaires à visée curative, les agriculteurs ne disposent plus que d'options prophylactiques pour faire face au parasitisme et notamment au parasitisme tellurique. L'utilisation de matériel végétal sain, non contaminé par les charançons et les nématodes, couplé à la mise en place de jachères assainissantes permet de contenir le parasitisme et d'augmenter le nombre de cycles de culture sur une même parcelle (RITA Guadeloupe 2019). Pour obtenir un matériel végétal sain, différentes alternatives existent : assainir les plants au champ (mécaniquement, à l'aide d'un coutelas et/ou à l'aide de bains) ou se procurer des vitroplants, option qui garantit le minimum de risque sanitaire (Sadom *et al.* 2010). En effet, les vitroplants sont des plants de bananiers produits en laboratoire à partir de tissus végétaux sains ce qui permet de garantir un état sanitaire de départ optimal. Pour autant, les stratégies de production et les choix d'innovation ou de pratiques ne sont pas nécessairement les mêmes chez les producteurs de plantain et de Cavendish. Dans les exploitations de banane export, les vitroplants font partie, depuis plusieurs années, du paquet technologique utilisé par les producteurs (Angeon and Bates 2020) et ils ont permis d'accompagner la transition agroécologique des systèmes (Risède *et al.* 2018). Par contre, dans les exploitations produisant du plantain leur utilisation est plus récente. C'est en 2020, suite à une phase de test effectuée dans le cadre d'un projet RITA (*Réseau d'Innovation et de Transfert Agricole*), que cette alternative a été proposée. Les tests concluants, d'un point de vue technique, des vitroplants de plantain, sur onze exploitations agricoles, ont permis leur mise sur le marché et surtout d'envisager l'implantation de plus grandes surfaces de plantain avec des pratiques agroécologiques (RITA Guadeloupe 2019). L'antenne déconcentrée du Ministère de l'agriculture s'est engagée dans la mise en place de dispositifs d'aides permettant de financer l'achat des vitroplants sur la mesure 4.1.3 du PDRG (*Plan de Développement Régional Guadeloupe*) et leur transport régional (exportation dans la zone Caraïbe) avec le POSEI (*Programme d'Options Spécifiques à l'Eloignement et à l'Insularité*) en s'inspirant du modèle déjà en place pour la banane Cavendish. L'objectif était de permettre une meilleure structuration et organisation de la production locale de plantain considérée comme peu structurée et soumise à de fortes fluctuations de l'offre et des prix (RITA Guadeloupe 2019; DAAF 2022). Le potentiel de développement d'un marché export, à destination de l'Hexagone, a également été

discuté, entre la coopérative banane export, un institut technique et un centre de recherche, lors du projet RITA et des premiers envois tests ont eu lieu (RITA Guadeloupe 2019).

Pour autant, des enquêtes menées auprès des producteurs de plantain, après la mise sur le marché des vitroplants, ont révélé un certain nombre de points de blocage autour de leur diffusion. En effet, la caractérisation du système d'innovation agricole (en anglais *Agriculture Innovation System* (AIS)) plantain a permis de mettre en évidence deux types de réseaux d'acteurs autour des pratiques alternatives : des réseaux centralisés avec des acteurs issus de la banane export et des réseaux diffus sans acteurs centraux (Bezard *et al.* 2023a). Les premiers se superposent au régime dominant banane export et les autres font figure de niche, puisque c'est dans ces réseaux que les pratiques supportant une transition agroécologique forte ont été identifiées.

Des innovations (ou pratiques alternatives) existent donc dans des systèmes de niche plantain. La question de la cohérence du projet export associé à la diffusion de l'innovation « vitroplant-subventions » avec la configuration du système sociotechnique plantain peut donc se poser. L'objectif de cet article est de construire un système d'information pour (i) caractériser l'importance des systèmes de production à base de plantain et (ii) discuter le rôle de la banane export Cavendish sur l'adoption d'innovations de rupture dans les systèmes à base de plantain.

Dans cet article, nous proposons d'analyser (i) la place de la banane plantain par rapport à la banane Cavendish sur deux périodes, en 2017 (avant la mise sur le marché du vitroplant) et en 2021-2022 (après mise sur le marché du vitroplant) et (ii) la perception des producteurs de plantain sur le vitroplant et sa diffusion, en tant qu'innovation portée par le système dominant, dans les systèmes à base de plantain.

2. Cadre conceptuel : contribution de la MLP pour étudier les liens entre système dominant et systèmes alternatifs

La perspective multi-niveaux (en anglais *Multi-Level Perspective* (MLP)) est un cadre théorique qui a été élaboré pour étudier la transition vers la durabilité des systèmes socio- techniques (Geels and Schot 2007). Décliné dans un certain nombre de domaines (énergie, transport), il a aussi été appliqué à l'analyse de la transition agroécologique (Duru *et al.*, 2014). La MLP distingue trois composantes du système socio-technique, en interaction (Rip and Kemp 1998) : les niches d'innovation, les régimes socio-techniques et le paysage sociotechnique. Les niches d'innovations sont constituées par des réseaux d'acteurs formels ou informels, instables, pouvant être à l'origine d'innovations de rupture. Le régime correspond au système dominant relativement stable avec des réseaux d'acteurs partageant des normes et des règles établies. Le paysage est le contexte, autrement dit les facteurs externes qui influent sur les interactions entre acteurs (changement climatique, crise sanitaire, valeurs, etc.) et dans lesquels s'inscrivent les régimes.

Des situations de verrouillage du système ont été mises en évidence lorsque des innovations, issues de niches, avaient été adoptées sans que leurs fondements idéologiques aient été correctement explicités, compris et appropriés (Fares *et al.* 2012; Ingram 2018; Belmin *et al.* 2018). Belmin *et al.*, (2018) ont étudié le cas spécifique de la « clémentine corse » au travers de trois innovations (une nouvelle variété, une méthode de lutte contre les ravageurs et une technique de taille). Ils ont, notamment, montré que la trajectoire d'innovation de la niche pouvait être détournée par des innovations issues du régime (nouvelle variété de clémentine, méthode de biocontrôle et technique de taille) et que les controverses (sur la typicité de la clémentine corse, la qualité des fruits et les impacts potentiels sur les arbres) autour de ces innovations rendaient les tensions niche-régime plus visibles. Ingram, (2018) a montré, au travers de l'exemple de la permaculture en Angleterre que les échanges entre niche et système dominant entraînaient des confrontations de systèmes de connaissances, d'intérêts et de valeurs et qu'il était primordial que les connaissances soient diffusées et partagées pour éviter les blocages. La prise en compte et la compréhension du contexte dans lequel une innovation fonctionne est également nécessaire afin que celle-ci soit correctement appropriée. Sa mobilisation seule risque de créer des verrouillages. Des verrouillages liés à la structuration en filière de manière intrinsèque ont également été identifiés notamment avec l'exemple de la filière blé dur en France (Fares *et al.* 2012). Bien que très structurée d'un point de vue organisationnel, la filière est concentrée en aval, ce qui octroie, de fait, aux acteurs de l'aval,

un pouvoir de négociation bien plus grand. Ils maintiennent des configurations leur permettant d'assurer un approvisionnement pour répondre à leurs objectifs de production mais n'engagent pas de changements de pratiques, jugés trop coûteux, ce qui freine la mise en place d'investissements nécessaires à la transition de la filière, comme par exemple l'intégration de légumineuses dans les rotations de culture. Ce verrouillage, lié à des structurations en filière, de cultures dominantes (blé, colza, maïs, etc.), au détriment de cultures plus marginales (légumineuses à grain, luzerne, lin, chanvre, lin, moutarde, sorgho) a également été identifié par Meynard *et al.*, (2018). La concentration du pouvoir à l'aval des filières entraîne un rapport de pouvoir défavorable aux producteurs qui maintiennent des productions dominantes dans des systèmes de type monocultureux pour satisfaire la demande des acteurs de l'aval.

Pour lever les situations de verrouillage, l'exploration d'alternatives peut s'appuyer sur le design d'innovations couplées en phase avec les principes agroécologiques (Salembier *et al.* 2020). Salembier *et al.*, (2020) ont étudié un exemple de design d'innovations couplées dans le cadre d'une coopérative d'auto-construction (fabrication d'outils adaptés à des pratiques agroécologiques par les agriculteurs au sein de la coopérative avec l'aide de techniciens) et ont mis en évidence que la conception d'outils au sein de la coopérative fonctionnait pour plusieurs raisons : (i) la coopérative conçoit des équipements / innovations adaptés à des situations particulières (type de culture, conditions biophysiques, etc.) et (ii) ces équipements / innovations sont facilement adaptables (avec des procédures simples et des matériaux à des coûts abordables).

Meynard *et al.*, (2017) ont étudié d'autres exemples et ont également montré qu'il était important que le diagnostic de départ sur les points clés du système « à améliorer » soit partagé avec les porteurs d'enjeux/acteurs du système et que l'ensemble du système alimentaire soit considéré afin de concevoir des innovations couplées. Tittonell, (2019) parle de co-innovations et mentionne également un certain nombre de conditions de réussite pour que ces innovations puissent favoriser la transition agroécologique : la prise en compte du système alimentaire en entier et la mobilisation de l'ensemble des acteurs.

La perspective multi-niveau fournit donc un cadre pertinent pour étudier la façon dont les tensions entre niche et régime influent sur les innovations de rupture.

3. Matériel et méthode

Dans cette étude, nous utilisons une méthodologie mixte, à la fois quantitative et qualitative, pour construire un système d'information. Elle s'appuie sur la déclinaison de méthodes variées (photo-interprétation, caractérisation des circuits de commercialisation, relevés de prix et entretiens semi-directifs) pour repérer spatialement les systèmes à base de plantain sur le territoire (à l'aide de la photo-interprétation), les quantifier (en termes de surface, de diversité de circuits de commercialisation et de prix de vente), discuter de leur évolution entre 2017 et 2021-2022 ; et de leur capacité à se renforcer à partir d'une innovation agroécologique issue du système dominant, banane export Cavendish.

3.1. Cas d'étude

La Guadeloupe est un archipel français ultramarin situé dans la Caraïbe (16°15N, 61°35W). Elle est composée de deux îles majeures, la Basse-Terre et la Grande-Terre, ainsi que d'îles plus petites (Marie Galante, the Saintes, the Désirade and Petite Terre). Bien que l'activité agricole en Guadeloupe soit en baisse (Agreste 2022), elle reste dominée par des cultures d'exportation, dont la banane Cavendish. La banane Cavendish est principalement produite dans la zone du Croissant bananier, au Sud Est de la Basse-Terre mais quelques producteurs sont également présents en Grande-Terre où, bien que les conditions hydriques soient défavorables, les faibles précipitations permettent de limiter le parasitisme aérien. Le recensement agricole conduit en 2020 estimait les surfaces en Cavendish à 1 931 hectares (Agreste 2022) alors que la banane plantain, représentait officiellement, en 2019, 120 hectares pour 1 116 tonnes (Agreste 2020). Elle est produite sur l'ensemble du territoire guadeloupéen à l'exception des Saintes, de Petite Terre et de la Désirade (Figure 1).

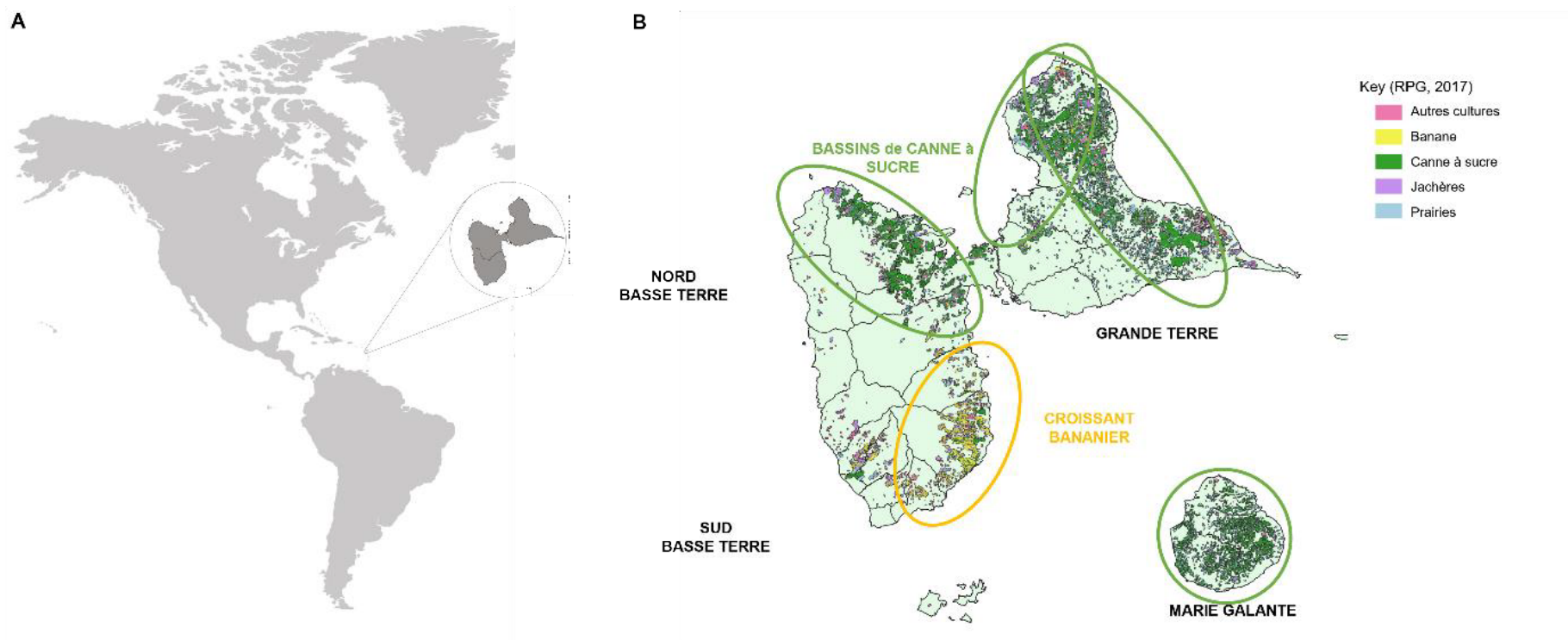


Figure 1 : Zone d'étude. **A.** Localisation de l'archipel guadeloupéen et **B.** Répartition des productions agricoles dominantes (Elaboration par les auteurs à partir des données de GEOFLA ®, IGN, Institut Géographique National)

3.1.1. Banane Cavendish : une filière concentrée à l'aval comme modèle dominant

La filière d'exportation de banane Cavendish dispose d'une voie de commercialisation unique par le biais d'une seule coopérative. Un petit nombre d'intermédiaires se répartissent les différentes étapes de transport et de commercialisation entre la Guadeloupe et les centrales d'achat dans l'hexagone, entraînant une concentration de valeur et de pouvoir en aval (Figure 2).

Les producteurs de la filière banane sont densément répartis dans l'espace et concentrent les aides à la production (près de 50% du Programme d'Options Spécifiques à l'Eloignement et à l'Insularité (POSEI)). Les surfaces ont varié depuis 2017 avec un tonnage également fluctuant mais les aides POSEI ont été relativement constantes (Table 1) (Agreste 2020).

En banane export, les prix payés aux producteurs sont fixés suite à une négociation entre l'UGPBAN (Union des Groupements de Producteurs de Bananes de Guadeloupe et de Martinique) et les clients (grande distribution notamment). C'est la coopérative locale qui paye les producteurs toutes les semaines sur le prix de vente et le POSEI annuel est payé par mois en avance.

Comme les autres cultures guadeloupéennes, la banane Cavendish est engagée dans la transition agroécologique avec la mise en place de pratiques moins impactantes pour l'environnement (utilisation de pièges à phéromones, désherbage mécanique, etc.) (Risède *et al.* 2018) permettant d'accompagner une diversité de dynamique de transition (Tarsiguel *et al.* 2023). Ces pratiques innovantes, s'inscrivent pour la plupart dans des logiques de paquet technologique (Angeon and Bates 2020) en s'appuyant sur des innovations incrémentales (Bezard *et al.* 2023b).

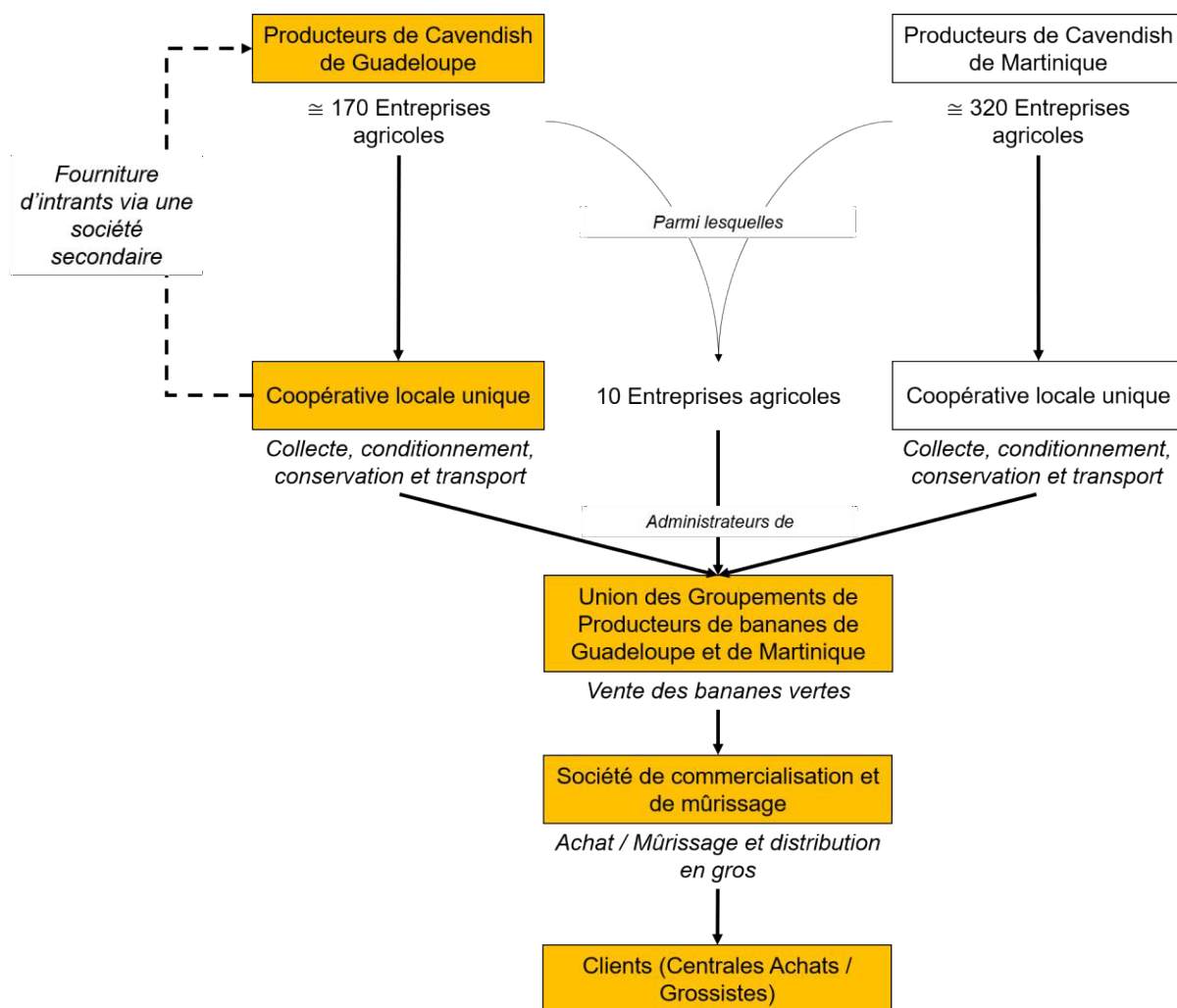


Figure 2 : Filière banane export Cavendish – Antilles françaises. La quasi-totalité des (environ) 500 producteurs de banane export est représentée par la coopérative locale de Guadeloupe ou de Martinique, chacune siégeant pour un siège, en tant qu'administrateur, au sein de l'UGPBAN (Union des Groupements des Producteurs de Bananes de Guadeloupe et Martinique). Les 10 autres sièges d'administrateurs sont occupés par 10 exploitations agricoles.

Table 1 : Statistiques officielles sur la production de bananes Cavendish en Guadeloupe (Agreste 2020)

Années	2017	2018	2019
Surface (ha)	2 270	1 644	1 879
Poids (T)	45 620	34 921	49 512
Exportations (T)	40 308	28 515	43 050
Prix payé au producteur (€/ kilogramme)	0,58	0,53	0,66
POSEI (millions d'euros)	31,51	31,16	30,72

3.1.2. La banane plantain : des systèmes de niches avec un potentiel d'innovations radicales

Les producteurs de plantain ont des stratégies de production variées allant de pratiques s'inscrivant dans une logique d'écologisation forte se déclinant dans des systèmes de production diversifiés (de type jardins créoles) à des pratiques proches de celles mises en place pour la banane export (Bezard *et al.* 2023b). La caractérisation des réseaux d'acteurs existants autour de pratiques alternatives a permis de mettre en évidence deux types de réseaux : des réseaux, autour des pratiques supportant une transition agroécologique faible, centralisés, avec des acteurs issus de la banane export et des réseaux diffus, sans acteurs centraux, autour de pratiques alternatives de rupture, faisant figure de niches (Bezard *et al.* 2023a).

Les voies de commercialisation sont également multiples allant de la vente directe à la ferme à la vente en coopérative. Une part de la production serait informelle du fait de l'existence d'un certain nombre de producteurs non déclarés et dont la production n'est pas recensée dans les statistiques officielles. Ces dernières font état de surfaces relativement constantes depuis plusieurs années avec un peu plus de 100 hectares pour un peu plus de 1000 tonnes de plantain (Table 2). Le détail des aides attribuées aux producteurs de plantain n'apparaît pas dans les statistiques officielles.

Tableau 2 : Evolution des surfaces, des tonnages et prix de banane plantain en Guadeloupe selon la DAAF (Agreste 2020)

Années	2017	2018	2019
Surface [ha]	120	120	120
Poids [T]	1083	1116	1116
Prix marché de gros [€/ kilogramme]	1,2	1,10	1,9

3.2. Une méthodologie mixte, quantitative et qualitative

La méthodologie mise en place pour caractériser la place de la banane plantain par rapport au régime dominant export Cavendish s'appuie sur la déclinaison de méthodes variées : la photo-interprétation pour caractériser spatialement (en hectare et par zone) la répartition des systèmes à base de plantain ; les relevés de prix sur le marché de gros de Gourde-Liane (DAAF 2022), pour caractériser le prix de vente au kilogramme de la banane plantain ; le diagramme de distribution de la filière « fruits et légumes frais » proposé par le Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et des Légumes (CTIFL 2019) pour décrire la répartition des circuits de commercialisation sur un premier échantillon de producteurs de plantain en 2017 et sur un second échantillon en 2021-2022 ; Une analyse du discours, sur la base de ce second échantillon d'agriculteurs pour étayer les résultats quantitatifs et analyser la perception des producteurs sur le projet export et l'innovation « vitroplant ».

L'ensemble méthodologique adopté est présenté dans la Figure 3.

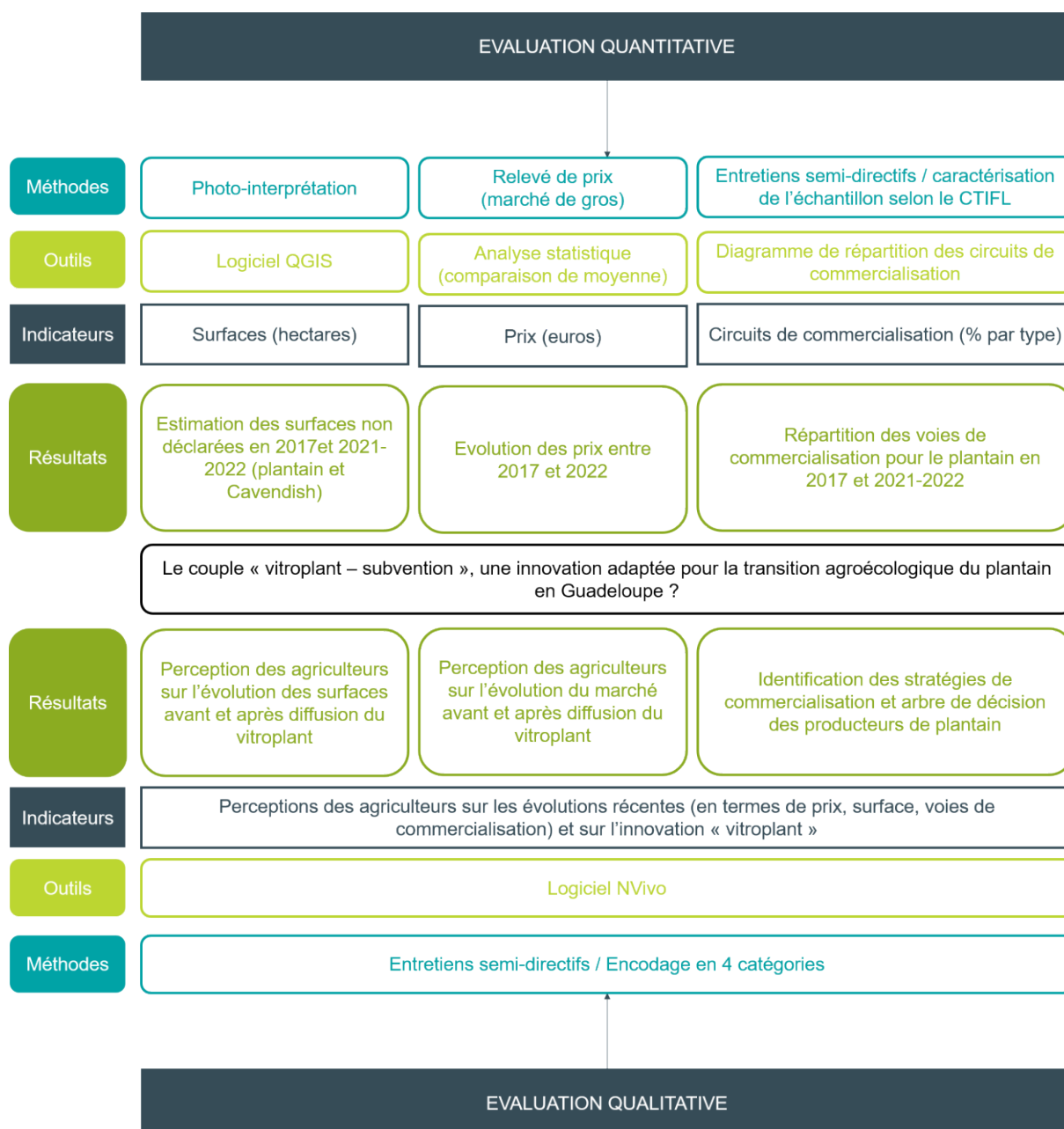


Figure 3 : Méthodologie combinant des méthodes quantitatives (photo-interprétation, relevé de prix sur un marché de gros et caractérisation des voies de commercialisation au sein de l'échantillon selon le CTIFL (Centre Technique Interprofessionnelle des Fruits et Légumes)) et qualitatives (entretiens semi-directifs) pour questionner les liens entre la banane export Cavendish et les systèmes à base de plantain.

3.2.1. Méthodes quantitatives : pour caractériser la place de la banane plantain par rapport à la Cavendish dans le régime socio-technique

3.2.1.1. La photo-interprétation pour estimer les surfaces réelles en bananes

Pour évaluer les surfaces réelles en plantain et en Cavendish, dans un contexte où les statistiques officielles sont probablement sous-estimées, une méthode d'analyse spatiale, la photo-interprétation, a été mise en place à l'aide du logiciel QGIS (QGIS Geographic Information System 2022). L'objectif est d'estimer la surface réelle existante en banane, à partir d'orthophotographies aériennes fournies par l'IGN (Institut national de l'information géographique et forestière) (Figure 4) puis d'estimer dans un second temps la proportion respective en banane Cavendish et banane plantain en analysant les surface déclarées (Cavendish et banane créole) et non déclarées.

Dans un premier temps, les orthophotographies fournies par l'IGN sont téléchargées. Pour cette étude, deux types d'orthophotographies : Les orthophotographies en couleurs rectifiées (Ortho HR) avec une composition naturelle en Rouge-Vert-Bleu (RVB) et les orthophotographies en Infra Rouge Couleur (Ortho IRC) qui ont une composition infrarouge-Rouge-Vert. Deux périodes ont été considérées avec une série d'orthophotographie de 2017 et une de 2021-2022. La série de 2017 a une étendue temporelle allant du 12/01/2017 au 12/02/2017 et celle de 2021-2022 du 07/02/2021 au 15/01/2022. Les Orthos HR de 2017 et 2021-2022 ont une résolution de 20 cm. Les Orthos IRC de 2017 ont une résolution de 50 cm et celles de 2021-2022 de 20 cm.

Un masque a ensuite été créé à partir de données exogènes (forêts soumises au Régime forestier, tâche urbaine et Relevé Parcellaire Graphique (RPG) agrégé) permettant de délimiter les zones sans production de banane. Le RPG est une base de données géographiques qui sert de référence à l'instruction des aides de la politique agricole commune. Elle comprend la culture principale des parcelles et est produite par l'Agence de Services et des Paiement (ASP). Elle correspond ainsi aux surfaces déclarées par les producteurs et cette déclaration constitue une des conditions (avec la condition de commercialisation via une coopérative) à l'attribution des aides publiques, en particulier le POSEI. Les bananes déclarées sont classées en deux catégories dans le RPG : « bananes export », correspondant aux bananes Cavendish et « bananes créoles » qui rassemblent l'ensemble des bananes déclarées destinées au marché local (incluant les plantains). Dans cette démarche, nous considérons que les bananes créoles correspondent pour 80% à de la banane plantain, les statistiques officielles faisant état de 120 hectares de plantain

en 2017 (DAAF 2019) et 150 hectares de bananes créoles déclarées d'après le RPG de 2017. Pour cette étude le RPG 2017 et le RPG 2021 ont été utilisés, fournis par la DAAF Guadeloupe.

La photo-interprétation s'est ensuite faite sur toutes les zones en dehors de ce masque sur les orthophotographies. Les orthophotographies IRC facilitent la lecture puisqu'un traitement a été effectué sur ces images (inversion des bandes spectrales verte et bleue et étirement des minimums et maximums de l'histogramme pour répartir la fréquence des pixels sur la largeur et ainsi améliorer le contraste de l'image). Trois facteurs sont utilisés pour identifier les parcelles de bananiers : (i) la forme, (ii) le motif (disposition en rangs souvent caractéristique des plantations) et (iii) la couleur. Sur les orthophotographies IRC, le couvert de type « banane » a une teinte orange foncé, typique d'une végétation buissonnante à arbustive. En comparaison, la teinte de la canne est plus claire (Figure 5.A). Les ombres projetées par les bananiers peuvent également aider à la photo-interprétation ainsi que la texture « rugueuse » qui est caractéristique des couverts bananiers (en comparaison avec les surfaces de sols nus ou de l'eau).

Sur l'ensemble des surfaces identifiées, les parcelles où la production de bananes est identifiée de manière certaine, en dehors des parcelles déclarées, sont classées en « banane hors RPG ». Les parcelles qui présentent les caractéristiques d'une production de banane sans qu'il soit possible de l'affirmer de manière indéniable (plants trop jeunes, cultures hétérogènes, parcelles abandonnées, etc.) sont, par contre, classées dans une catégorie « production incertaine » et constituent une autre couche de données géographiques (Figure 5.B).

Le nombre de parcelles « hors RPG » et RPG, leur surface, leur répartition géographique (Sud Basse Terre, Nord Basse Terre, Grande Terre et Marie Galante) et leur proximité avec les autres cultures ont été caractérisés pour les deux millésimes, 2017 et 2021-2022 grâce à l'analyse spatiale. Comme pour les surfaces déclarées au RPG en bananes créoles, nous faisons l'hypothèse que la majorité des surfaces « hors RPG » correspondent à de la banane plantain et que, par conséquent, ces surfaces sont suffisamment importantes pour avoir un impact sur l'offre de plantain sur le territoire.

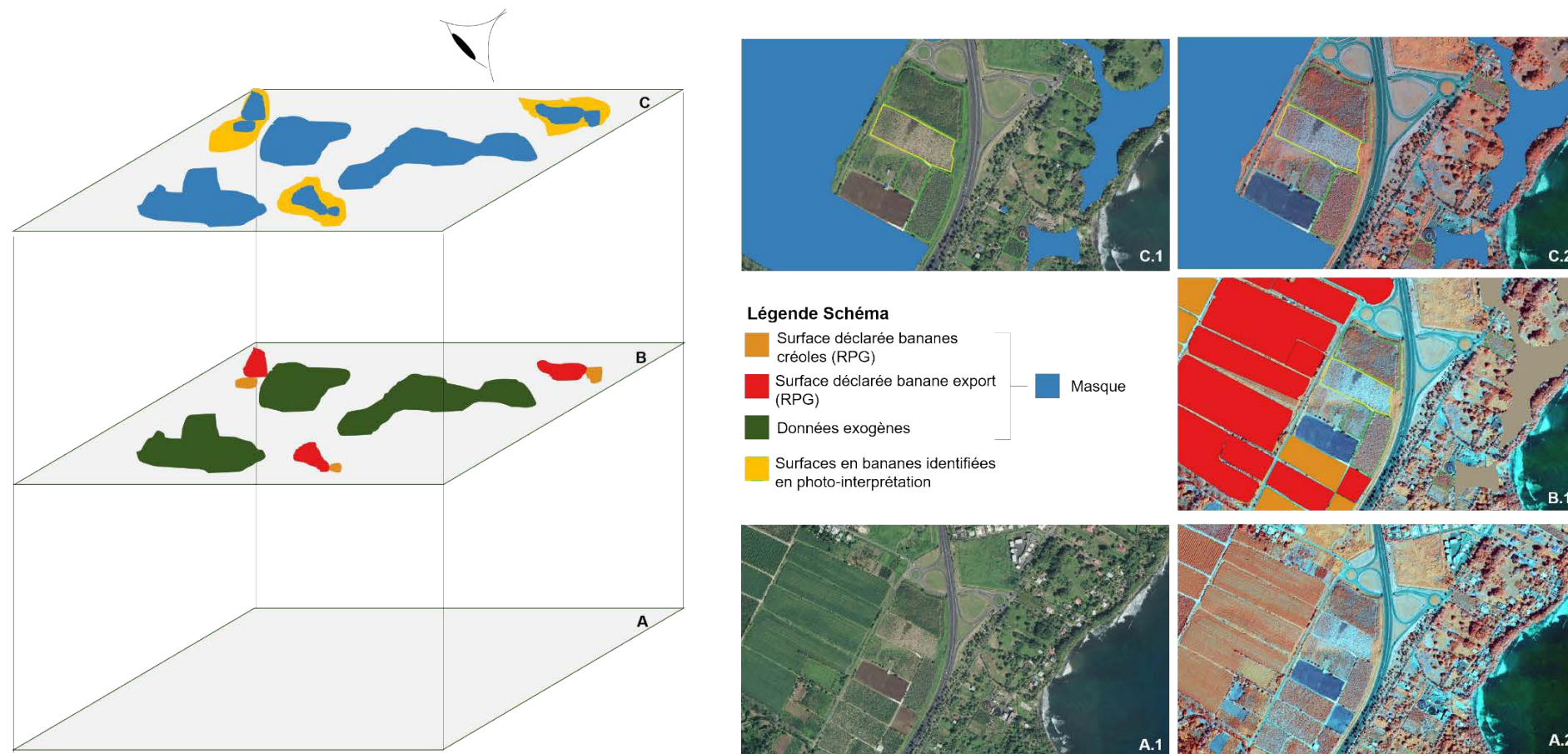


Figure 4 : Estimation des surfaces réelles en banane en 3 étapes à l'aide du logiciel QGIS (QGIS Geographic Information System 2022) : **A.** Téléchargement des orthophotographies (A.1 en couleurs rectifiées et A.2 en infrarouge couleur) ; **B.** Superposition des données exogènes (zones forestières, zones urbaines, etc. et Relevé Parcelaire Graphique (RPG)) ; **C.** Agrégation de ces données exogènes sous forme de masque (correspondant aux zones présumées sans banane) et identification des surfaces en bananes en dehors du masque (surfaces bananes non déclarées)

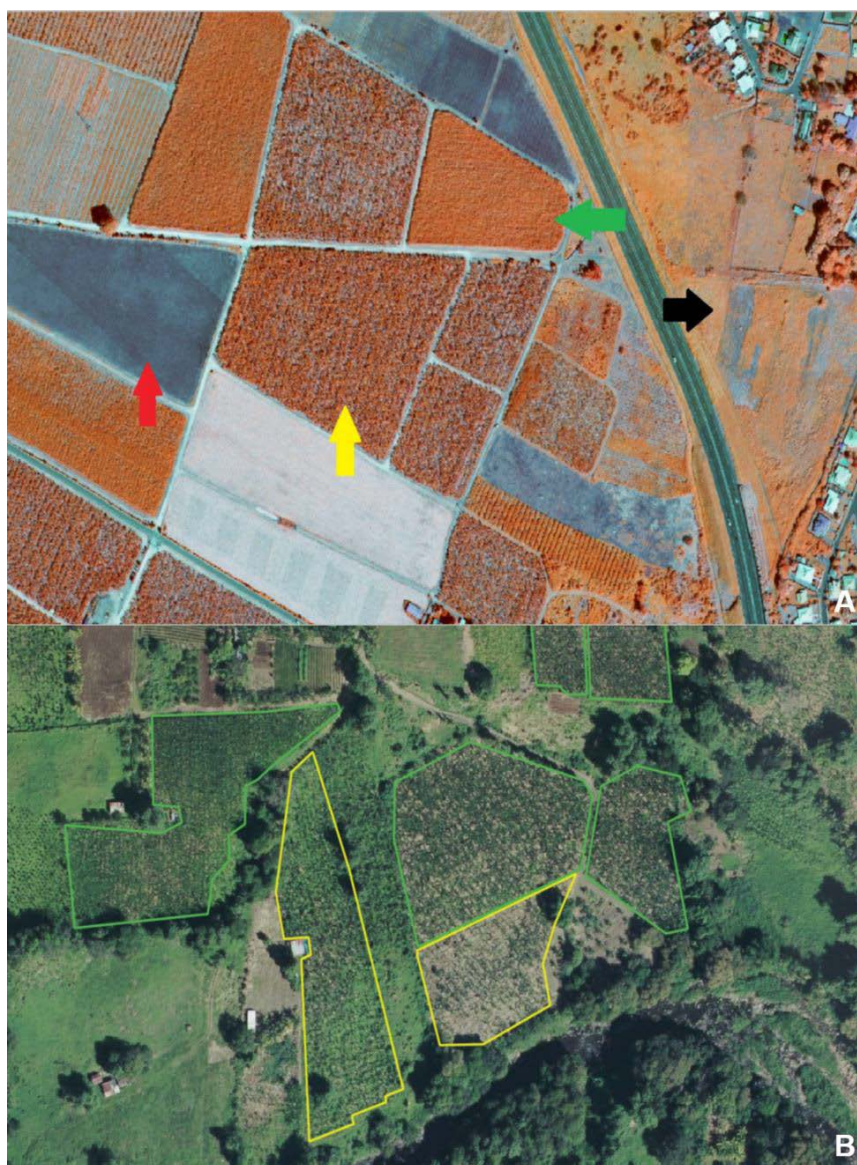


Figure 5 : **A.** Exemple de différents couverts en orthophotographies IRC (Infra Rouge Couleur) : la flèche jaune indique un couvert de type banane, la flèche verte un couvert de type canne. **B.** Distinction entre les catégories « hors RPG » en vert correspondant à une production certaine et « production incertaine », en jaune.

Des cartes détaillées ont été créées à l'aide du logiciel QGIS (QGIS Geographic Information System 2022) pour permettre de situer précisément les parcelles « hors RPG ». Mais, pour permettre de conserver l'anonymat, des cartes de chaleur ont également été créées pour représenter les surfaces « hors RPG », à l'aide de l'outil « Carte de chaleur (estimation par noyau) ». Plus les surfaces « hors RPG » sont importantes, plus le niveau de chaleur est important. Une densité de parcelles non déclarées est calculée à partir d'un rayon de recherche (1000 mètres dans le cas de notre étude), dont le centre correspond au centroïde des parcelles « hors RPG » (notion mathématique qui correspond au centre de gravité ou au point d'équilibre d'un plan ; sur QGIS il permet de définir les coordonnées géographiques). Chaque point, correspondant au centroïde des parcelles, est pondéré en fonction de l'attribut surface (en hectare). Une valeur seuil a été définie, correspondant à l'écart type (calculé à partir de l'ensemble des surfaces « hors RPG ») (Figure 6).

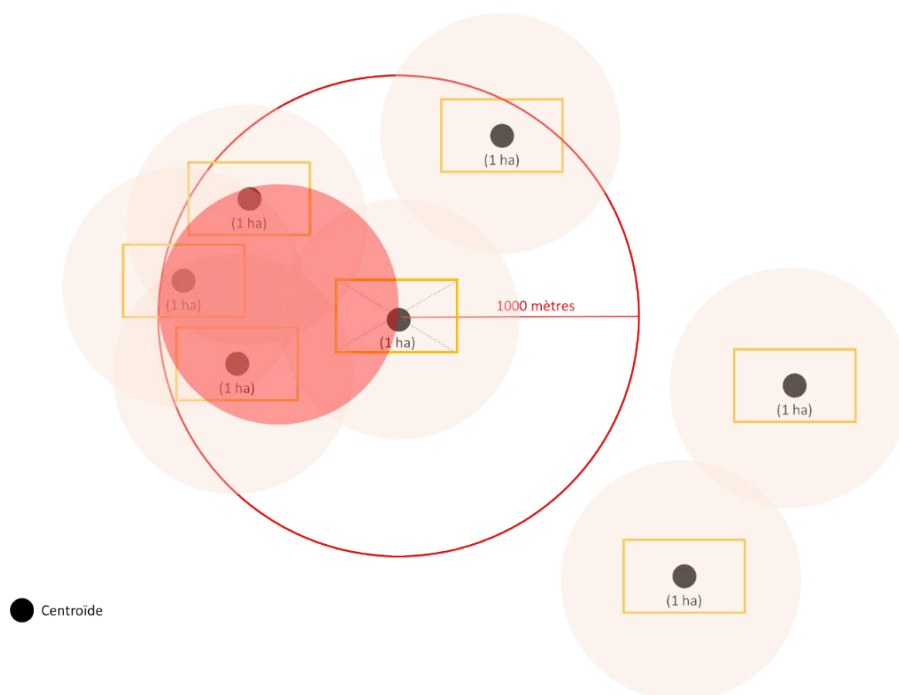


Figure 6 : Principe des cartes de chaleurs : un rayon de 1000 mètres est dessiné autour des centroïdes (point correspondant aux coordonnées géographiques d'une parcelle) de chaque parcelle « hors RPG ». Chaque centroïde est pondéré en fonction de la surface en hectare de la parcelle. Plus le nombre de points est important et plus ce point est lié à une surface importante dans le rayon de 1000 mètres, plus le niveau de chaleur sera important.

3.2.1.2. Prix de vente au kilogramme

Pour évaluer la variabilité du prix de vente, le prix au kilogramme de la banane plantain relevé par la DAAF (antenne déconcentrée du Ministère de l'Agriculture) a été utilisé. Ces relevés sont hebdomadaires et sont effectués sur le marché de gros de Gourde-Liane, à Baie-Mahault (DAAF 2022). Bien que ces prix ne soient pas représentatifs de l'ensemble des prix pratiqués sur le territoire, notamment par les producteurs faisant de la vente directe, ils permettent de donner une tendance sur l'évolution des prix. Afin de lisser les valeurs, des moyennes mobiles ont été calculées et un test de comparaison des moyennes (Kruskal Wallis puisque les données ne suivent pas une distribution normale et que $n > 2$), par mois, a été effectué à l'aide du logiciel R (R Core Team 2022).

3.2.1.3. Répartition des circuits de commercialisation

Une analyse de la répartition du type de circuits de commercialisation mobilisés par les agriculteurs a été réalisée à partir d'enquêtes auprès des producteurs de plantain. Elle s'inspire de la représentation des réseaux de distribution de filière fruits et légumes frais française (CTIFL, 2019). Deux séries d'enquêtes ont été menées en 2017 (41 producteurs, dont 19% non déclarés) et 2021-2022 (69 producteurs, dont 9% non déclarés et 16 communs avec ceux enquêtés en 2017) auprès de producteurs de plantain. Le nombre de voies de commercialisation a été calculé pour chaque producteur (si un agriculteur commercialisait une partie de sa production en vente directe et l'autre en coopérative le nombre de voies de commercialisation était égal à 2 par exemple). Le total sur les échantillons de 2017 et 2021-2022 a ensuite été calculé pour pouvoir identifier la proportion de chaque voie de commercialisation sur l'ensemble de groupe d'agriculteurs enquêtés.

L'échantillonnage de ces producteurs s'est fait selon la méthode dite « en boule de neige » (Johnson 1990; Mitchell *et al.* 1997) afin de caractériser la plus grande diversité possible des producteurs sur l'ensemble du territoire (Figure 1). L'échantillonnage en boule de neige ne permet pas d'avoir une vision exhaustive ou représentative de l'ensemble des producteurs de plantain en Guadeloupe mais, il permet d'avoir une idée de la diversité existante sur le territoire dans un contexte où les statistiques officielles ne rendent pas compte de cette information (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation 2020).

3.2.2. Méthode qualitative : pour mettre en lumière les perceptions des producteurs de plantain

Les verbatims des agriculteurs enquêtés en 2021-2022 (69 agriculteurs) ont été mobilisés pour mettre en évidence la perception des agriculteurs (i) quant aux évolutions récentes de la banane plantain, en termes de prix, surface et voies de commercialisation ainsi que (ii) par rapport à la promotion du couple « vitroplant – subvention ».

Les entretiens des 69 agriculteurs ont été entièrement retranscrits et analysés à l'aide du logiciel NVivo (QSR International Pty Ltd 2020). Quatre thèmes ont été retenus pour faire l'analyse du discours des agriculteurs sur :

- Les stratégies de plantation
- Les stratégies de commercialisation
- Le lien banane Cavendish – banane plantain
- Le couple « vitroplant – subvention »

Tous les verbatims correspondant à ces quatre thèmes ont été extraits.

4. Résultats

4.1. Une production informelle confirmée par l'analyse spatiale et des stratégies de plantation différentes

Les résultats issus de la photo-interprétation permettent de confirmer l'existence d'une production informelle de banane importante, et notamment dans la zone du croissant bananier dans le sud-est de la Basse Terre (Figure 7).



Figure 7 : Cartes de chaleur pour estimer la densité des parcelles de bananes non déclarées (en fonction de leur surface).

A l'échelle du territoire, cette production informelle a diminué entre 2017 et 2021 en passant d'environ 172 hectares à 136 hectares (Figures 7 et 8A.). La production « hors RPG » a diminué entre 2017 et 2021 dans le Nord Basse Terre et en Grande Terre passant respectivement de plus de 7 hectares à moins de 3 hectares et de près de 38 hectares à moins d'un hectare. Inversement, les surfaces « hors RPG » ont augmenté dans le sud Basse Terre (Figure 8.A).

La photo-interprétation a également permis de mettre en évidence que 34% de la production informelle en 2017 et 45% en 2021 était située en marge (à moins de 100 mètres) des parcelles de bananes export déclarées (Figure 8.B.). Ces résultats mettent en évidence que, proportionnellement, la proximité des parcelles informelles avec les parcelles de bananes export a augmenté entre 2017 et 2021 (Annexe 2).

L'évolution la plus importante en termes de surface, entre 2017 et 2021, a été identifiée pour les bananes créoles déclarées au RPG. Leur surface a plus que doublé en Grande Terre en passant d'un peu moins de 32 hectares en 2017 à près de 65 hectares en 2021. Les surfaces ont également augmenté dans la zone du croissant bananier, dans le Sud Basse Terre en passant d'un peu plus de 89 hectares à près de 130 hectares représentant une augmentation de 45% (Figure 8.A.). Le nombre de parcelles a augmenté dans la même proportion pour le Sud Basse Terre et d'environ 78% pour la Grande Terre témoignant de l'implantation de parcelles avec des surfaces, en moyenne, plus importantes (Annexe 1). Les surfaces déclarées comme « bananes créoles » au RPG sont, par contre, restées relativement constantes entre 2017 et 2021 pour le Nord Basse Terre et Marie Galante.

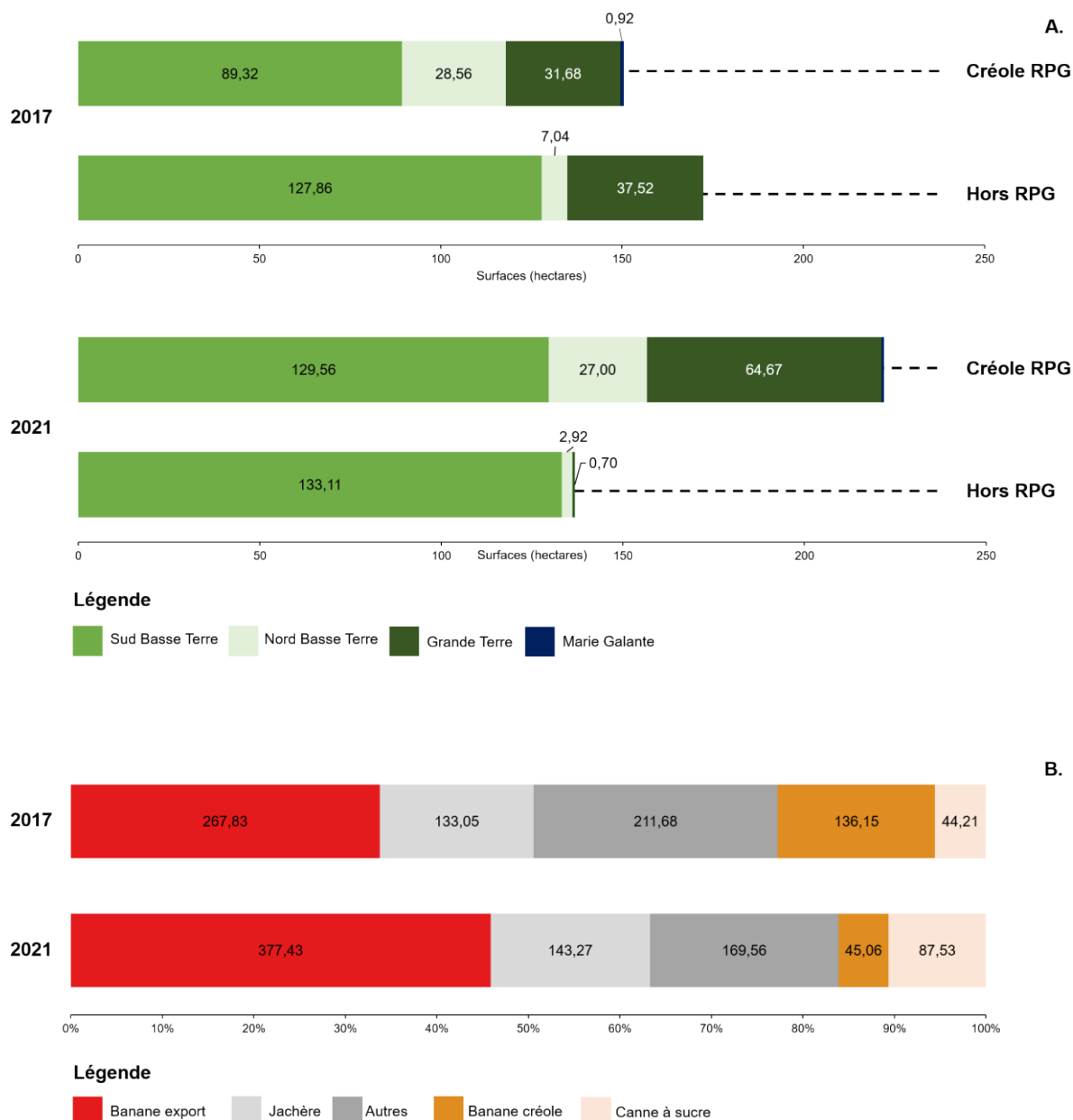


Figure 8 : **A.** Répartition des surfaces (en hectares) de la production non déclarée (« Hors RPG ») et de la production de bananes créoles déclarées (au RPG) en 2017 et 2021, par zone géographique (Sud Basse Terre, Nord Basse Terre, Grande Terre et Marie Galante). **B.** Proportion et surfaces (en hectares) des cultures situées à moins de 100 mètres des bananes non déclarées (« Hors RPG ») en 2017 et 2021. Le RPG (Relevé Parcelaire Graphique) est une base de données géographiques qui comprend la culture principale des parcelles et sert de références à l’instruction des aides de la politique agricole commune. Elle est fournie par les services de l’Etat et correspond aux surfaces déclarées.

Trente-neuf des 69 agriculteurs enquêtés ont mentionné (110 citations) la diversité des stratégies de plantation existantes.

Pour le marché local, vingt-deux producteurs (au travers de 50 citations) ont expliqué que la stratégie était de planter des petites surfaces de banane plantain, de l'ordre de quelques centaines de plants, tout au long de l'année, pour assurer une production et un revenu continu '*Vous voyez, moi par exemple, je plante 300 pieds de banane [plantain] mais tous les 2 mois j'en plante, donc j'arrive à linéariser ma production sur l'année donc j'en ai tout le temps*' (BE1).

Vingt-trois producteurs (37 citations) ont également expliqué que la banane plantain destinée à l'exportation supposait la plantation de surfaces plus importantes. Huit agriculteurs (au travers de 10 citations) ont pointé la responsabilité du projet export de plantain dans l'augmentation des surfaces de plantain et ont expliqué que l'annonce de ce projet aurait engagé de nouveaux producteurs issus de la Cavendish : '*Ça a changé, y a eu les producteurs de bananes [Cavendish] exports qui sont rentrés dedans et qui ont planté en quantité.*' (BF2) ; '*Ben oui parce qu'indirectement, peut-être qu'ils ont inondé le marché, mais comme il me disait X. [responsable de pôle institut technique], ils [les producteurs de Cavendish] ont été planté 300 hectares de plantain...*' (CF2).

Pour autant, un agriculteur a rappelé l'existence d'un lien historique entre banane plantain et banane Cavendish. BE1 explique ainsi '*Moi, quand mon père faisait de la plantain, ben généralement c'est les producteurs de bananes [Cavendish] export qui gardaient, par exemple, un fond [bout de terrain] qui n'était pas occupé et qui plantaient un peu [de plantain], enfin, c'était ça avant. Ça se vendait surtout en gros...et ils achetaient pour revendre sur le marché au détail*'. Les producteurs de banane export maintenaient des petites surfaces en plantain pour assurer un revenu immédiat. Cette stratégie associant banane export Cavendish et banane plantain destinée au marché local n'a pas été mentionnée de manière explicite mais huit producteurs enquêtés ont mentionné (11 citations) l'existence, toujours aujourd'hui, de parcelles de plantain, en marge des exploitations de Cavendish, qui seraient conduites par les ouvriers de la banane export '*Il y a beaucoup d'ouvriers qui font du plantain et voilà quoi et un autre problème encore. Beaucoup de gens font de l'agriculture, les gens ne sont pas déclarés.*' (BF11).

4.2. Une faible intégration des producteurs dans les coopératives et un choix privilégié pour des voies de commercialisation permettant un apport immédiat de trésorerie

En 2017, la commercialisation via les coopératives représentait moins de 20% des voies de commercialisation, au sein de l'échantillon des agriculteurs enquêtés (Figure 9.A). Les revendeurs représentaient la même proportion et les marchés de gros, un peu plus de 10%. Le reste était destiné au marché de détail ou à la vente directe. Ce résultat confirme que peu d'agriculteurs sont insérés dans les voies de commercialisation « structurées » (coopératives). Il met aussi en lumière la diversité des voies de commercialisation existantes, aspect qui n'était pas identifié dans les statistiques officielles.

En 2021-2022, la voie de commercialisation principale, relativement au sein de l'échantillon, correspondait aux magasins spécialisés (Figure 9.B) et plus précisément aux primeurs. La part de commercialisation via les coopératives avait diminué de 5% par rapport à 2017 (Figure 9). La part de commercialisation via les coopératives aurait donc diminué au profit des primeurs.

Les stratégies de commercialisation sont donc très différentes de ce qui se fait en banane export où la quasi-totalité de la production est commercialisée via les coopératives.

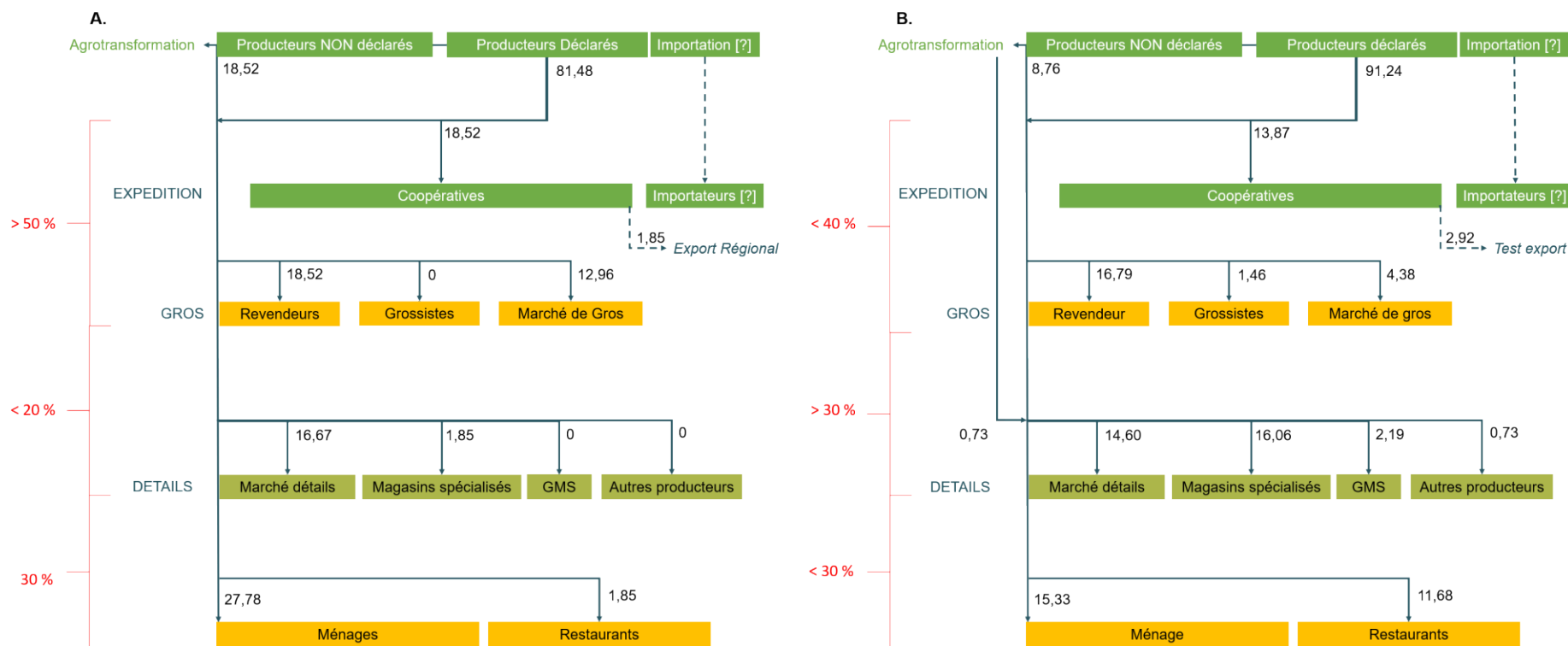


Figure 9 : Répartition des différentes voies de commercialisation des producteurs de plantain enquêtés en **A.** 2017 (n=41) et en **B.** 2021-2022 (n=69). Le mode de représentation s’inspire de la représentation des réseaux de distribution de filière fruits et légumes frais française élaboré par le CTIFL, (2019). Le chiffre associé à chaque mode de commercialisation correspond à la proportion (%) de producteurs ayant ce mode de commercialisation au sein de l’échantillon enquêté. Le point d’interrogation sur la voie « importation » illustre l’incertitude autour de l’importation de banane plantain en Guadeloupe. L’importation de bananes plantain, notamment dans les périodes de manque de faible production sur le territoire, a été mentionnée par plusieurs producteurs mais n’apparaît ni dans l’échantillon enquêté ni dans les statistiques officielles.

Comme mentionné précédemment, pour les surfaces, le choix de la voie de commercialisation répond à des stratégies différenciées. Soixante-quatre agriculteurs se sont exprimés (au travers de 349 citations) sur leurs stratégies de commercialisation.

Vingt-sept agriculteurs ont mentionné (90 citations) la commercialisation via les coopératives. Deux agriculteurs, ayant choisi de commercialiser via les coopératives, ont expliqué qu'ils avaient fait ce choix pour se décharger de la commercialisation, ainsi que pour les aides associées (la commercialisation via les coopératives étant une condition nécessaire à l'attribution du POSEI plantain) : *'Pourquoi [est-ce que je commercialise via la coopérative] ... pour les aides, pour le POSEI et aussi j'aime bien l'échange avec les ingénieurs'* (DF4) ; *'Voilà, donc alors que là-bas [dans les coopératives], on coupe, je livre et c'est bon.'* (CF3). Pour autant, deux points de blocage majeurs à la commercialisation via les coopératives ont aussi été relevés. Onze agriculteurs (23 citations) évoquaient des points de blocage liés aux prix trop bas des coopératives et au retard de paiement de la coopérative la plus importante, en termes de nombre d'adhérents (25 citations par 10 agriculteurs). Le prix pratiqué dans les deux coopératives les plus importantes (en nombre d'adhérents) est indexé sur le prix du marché de gros (Figure 10). Mais, la commercialisation, via les coopératives, implique du temps et des frais supplémentaires *'Donc ça veut dire... faut que je coupe, faut que j'amène au hangar, faut que je dépatte. Donc ça fait de l'eau, ça fait du temps pour... peut être quoi, à un moment c'était à 60, à 50 centimes, 35 centimes, 60 centimes [prix payé au producteur par la Coopérative]. [...] Et en plus le coefficient carton régime chute, donc non je préférerais vendre [aux primeurs]'* (DF2). Pour la banane plantain les liens entre les marchés de gros et les coopératives sont donc forts puisque le prix pratiqué par les coopératives dépend des relevés faits par les services de l'Etat sur ces marchés (Figure 10). Les services déconcentrés du ministère de l'agriculture font, en effet des relevés de prix hebdomadaires, qui sont publiés sous forme de « mercuriales » et qui servent à fixer le prix d'achat, aux producteurs, au sein des coopératives (Figure 10). Or, ces marchés sont alimentés par des agriculteurs déclarés ainsi que des agriculteurs non déclarés, ce qui génère des tensions entre les deux types d'agriculteurs (exprimées par 11 agriculteurs au travers de 14 citations) *'Ah oui ils [agriculteurs informels] ont pris tout le marché ... Tu te mets à côté, tu contrôles et c'est toi qui vas livrer, c'est toi qui prends de la marchandise qui vas porter le truc et c'est [l'agriculteur informel] qui vend'*. (BE3). Cinq agriculteurs ont ainsi expliqué que, pour eux, les marchés de gros étaient une solution de secours, notamment face à la surproduction liée au projet de plantain export inaboutit comme expliqué par DF8 : *'C'est quand j'ai trop [de production], le surplus je le vends [sur les marchés de gros]'*.

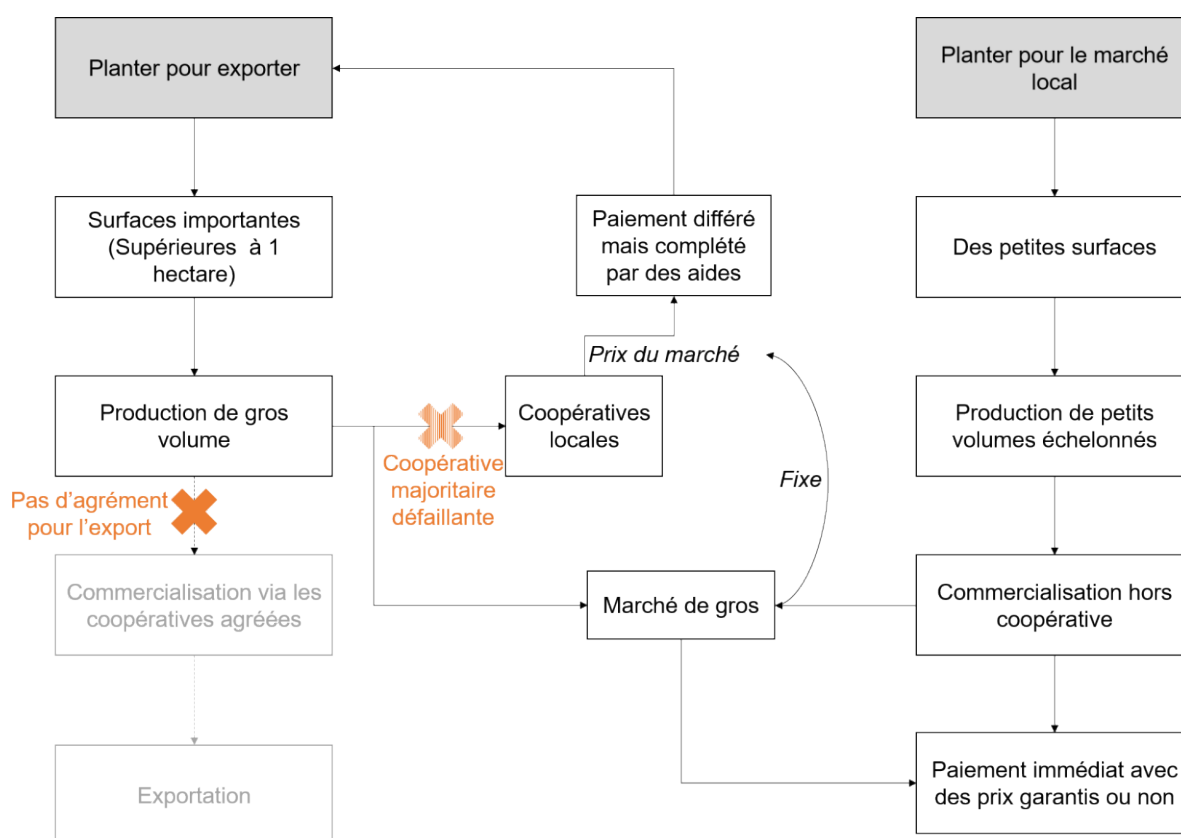


Figure 10 : Interconnexion des voies de commercialisation de la banane plantain

D'autre part, la coopérative la plus importante accuse des retards de paiement colossaux comme expliqué par BF12 *'Je vais peut-être changer...Je suis en train de voir là parce que bon. Ça fait 3 ans que je n'ai pas touché [d'argent] à la [Coopérative]'*. Les agriculteurs expliquent alors que, dans cette configuration, il devient plus intéressant de commercialiser en vente directe ou via des primeurs, ce qui permet d'avoir de l'argent immédiatement *'Voilà hein, il y a de l'argent qui tombe'* [DF12]. Les points de blocage liés à la commercialisation via les coopératives ont, d'après les agriculteurs enquêtés, été potentialisés par l'engagement des nouveaux producteurs, issus de la banane Cavendish export, dans le projet plantain exportation.

Ces nouveaux producteurs, issus de la banane Cavendish export, ont vu dans le projet d'exportation de banane plantain, l'opportunité de diversifier leur production, en mobilisant le même modèle de commercialisation que pour la Cavendish. Ces nouveaux producteurs ont expliqué, eux-mêmes, s'être retrouvés en difficulté au moment de la récolte, puisque la voie de commercialisation pour exporter le plantain n'était pas opérationnelle, entre autres, sur le plan administratif. Les dispositifs de subventions n'avaient pas été pensés pour l'exportation vers l'Hexagone *'le gros [...] souci qu'on a, c'est qu'il n'y a pas de POSEI sur la banane plantain*

export. Dans les OPCA [Organismes Paritaires Collecteurs Agréés], les 2 petites OPCA, qui sont [noms des coopératives], on a le POSEI banane [plantain] mais en marché local.' (BF7) et aucune coopérative n'avait l'agrément, autrement dit l'autorisation d'expédier de la banane plantain dans l'Hexagone. Et comme l'explique DE3, l'engagement de ces nouveaux producteurs a, de fait entraîné des volumes nouveaux sur le marché local *'S'il y a un souci ils [les nouveaux producteurs issus de la banane Cavendish export] inondent, le marché [local]'*.

La vente directe (85 citations par 41 producteurs), mais également la vente aux restaurateurs (26 citations par 13 producteurs), a été présentée par les producteurs comme le seul moyen de fixer son prix *'Alors le restaurateur, c'est prix fixe toute l'année parce que lui le plat à emporter c'est 8€ toute l'année, ça ne change pas.'*(BE2).

Ces stratégies de commercialisation s'inscrivent dans une logique de disponibilité en trésorerie immédiate (*Cash-flow* en anglais) comme expliqué par DE3 : *'en fait la plantain est une variable d'ajustement pour la trésorerie du producteur. Si j'ai besoin de cash, c'est de la plantain...C'est un peu comme en Afrique les bananes poyo [...] Moi je trouve que la plantain surtout sur Capesterre, Nord Basse Terre...C'est vraiment le cash-flow de l'agriculteur'*.

Le modèle coopératif, existant et performant pour la banane Cavendish n'existe donc pas pour la banane plantain. La coopérative qui assure l'export des Cavendish n'ayant pas l'agrément pour exporter de la banane plantain, elle n'a pas pu organiser la commercialisation de cette dernière vers l'Hexagone. D'autre part, les coopératives qui commercialisent pour le marché local font face à un certain nombre de difficultés, parmi lesquelles des retards de paiement aux producteurs. Le modèle coopératif local est donc défaillant et ne permet pas de répondre aux stratégies de nombreux producteurs de plantain, pour qui la banane plantain s'inscrit dans des logiques de disponibilité immédiate de trésorerie (*cash-flow*). L'entrée de nouveaux producteurs, liée au projet d'exportation a affaibli un modèle coopératif déjà en difficulté en créant un niveau élevé de la concurrence et en entraînant des changements de stratégies de commercialisation vers des structures capables de payer les agriculteurs de manière immédiate et à un prix moins bas que celui du marché.

4.3. Des prix fluctuants

L'analyse de l'évolution des prix hebdomadaires de vente des bananes sur le marché de gros entre 2017 et 2021 permet d'identifier que les prix varient entre 50 centimes et 2 euros, à l'exception de l'augmentation brusque faisant suite au passage du cyclone Maria, en septembre 2017 (Figure 11). Ce cyclone ayant entraîné une destruction importante des parcelles, et notamment des parcelles de plantain, cette flambée des prix s'explique probablement, par les difficultés de mise en production et donc une baisse de l'offre dans les semaines / mois faisant suite au passage du cyclone.

La comparaison statistique, à l'aide d'un test de Kruskal Wallis, met en évidence que les moyennes mensuelles sont significativement différentes (P -value < 0,05) et la représentation sous forme de boîtes à moustache permet d'identifier un effondrement durant les premiers mois de l'année 2021.

Les agriculteurs enquêtés ont confirmé que le marché était fluctuant et incertain. Sur les 49 agriculteurs (127 citations) ayant mentionné la question du prix, 64 citations évoquent un marché imprévisible '*Rien n'est structuré, rien n'est contrôlé, donc on n'a pas une idée du volume*' (CF3), '*A un moment c'est à 50 centimes, y a un moment c'est...En fonction du marché. Il est pas [...] stable*' (CF4), '*Pour moi c'est juste que c'est mal organisé*' (DE1).

Pour autant, l'origine de cette instabilité et/ou fluctuation n'était pas forcément analysée de la même manière par les agriculteurs. Six agriculteurs (8 citations) ont pointé du doigt la responsabilité de la production informelle '*Y a beaucoup de concurrence. Y a un marché [...] parallèle, même souterrain, de gens qui ne sont pas déclarés, qui ne sont pas agriculteurs, qui ne paient pas de charges ...et qui inondent le marché*' (CF5). Les marchés de gros regroupent les productions d'agriculteurs aux stratégies très différentes et ont été la solution de 'secours' lors de la crise sanitaire de 2020 '*Voilà, et y avait cette histoire de restaurants fermés. Eh ben qu'est ce qui s'est passé, les gens qui produisent en grandes quantités pour les restaurants et les cantines, ils ont été sur le marché avec leurs produits*' (CE1).

Neuf producteurs (11 citations) ont pointé la responsabilité du projet export dans un marché déjà fragilisé par la crise sanitaire comme expliqué par BE1 '*Tout le monde a planté au même moment, donc toute la banane est arrivée au même moment sur le marché. Et le souci c'est qu'ils ont planté des grosses surfaces. [...] Après on s'est retrouvé, donc avec ces histoires, toute la crise sanitaire ou on s'est retrouvé contraint sur les marchés...Donc le marché n'a pas pu absorber*'.

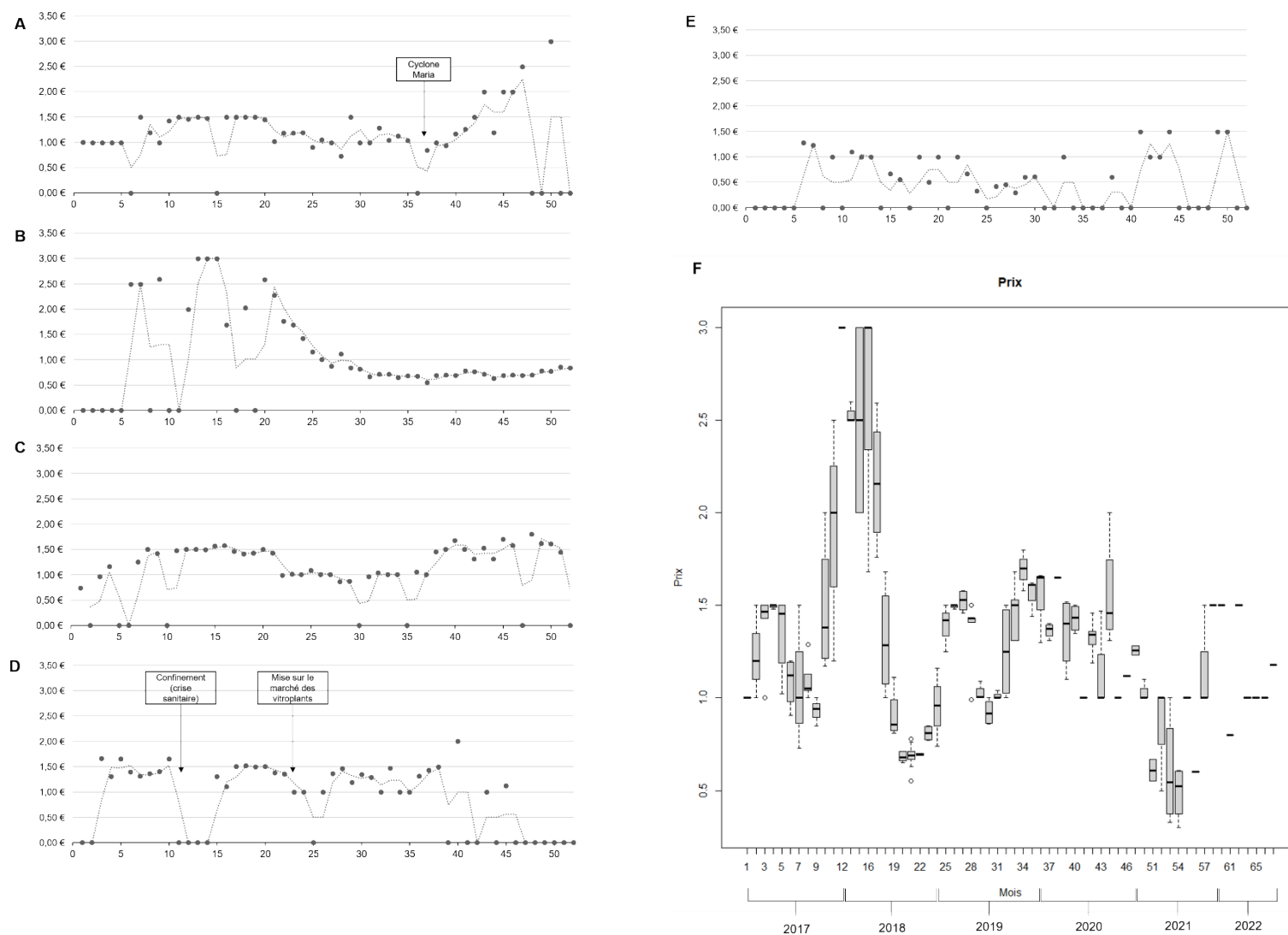


Figure 11 : Moyenne hebdomadaire du prix de vente au kilogramme de banane plantain (la courbe correspond aux moyennes mobiles) en **A.** 2017, **B.** 2018, **C.** 2019, **D.** 2020 et **E.** 2021. **F.** Représentation graphique sous forme de boîte à moustache des moyennes mensuelles.

Les prix de vente de la banane plantain sont donc intrinsèquement liés à l'interconnexion entre les multiples voies de commercialisation existantes. Cette imbrication complexe est très différente de ce qui se passe pour la banane Cavendish export pour laquelle les prix sont négociés dans l'Hexagone et les paiements effectués chaque semaine aux producteurs, par la coopérative.

4.4. Le vitroplant de banane plantain : une innovation techniquement convaincante mais onéreuse et en décalage par rapport aux stratégies de certains producteurs

Quarante agriculteurs se sont exprimés sur les vitroplants au travers de 101 citations. Sur l'ensemble des citations 11 traduisent une perception positive du vitroplant et 64 une perception négative (Figure 12). Les perceptions négatives se répartissent en plusieurs catégories d'arguments : un prix d'achat trop élevé ; des modalités d'attribution d'aides publiques, pour compenser le prix, inappropriées ; des vitroplants réservés à une certaine catégorie d'agriculteurs ; une innovation peu convaincante d'un point de vue agrotechnique et une innovation responsable de la déstabilisation du marché.

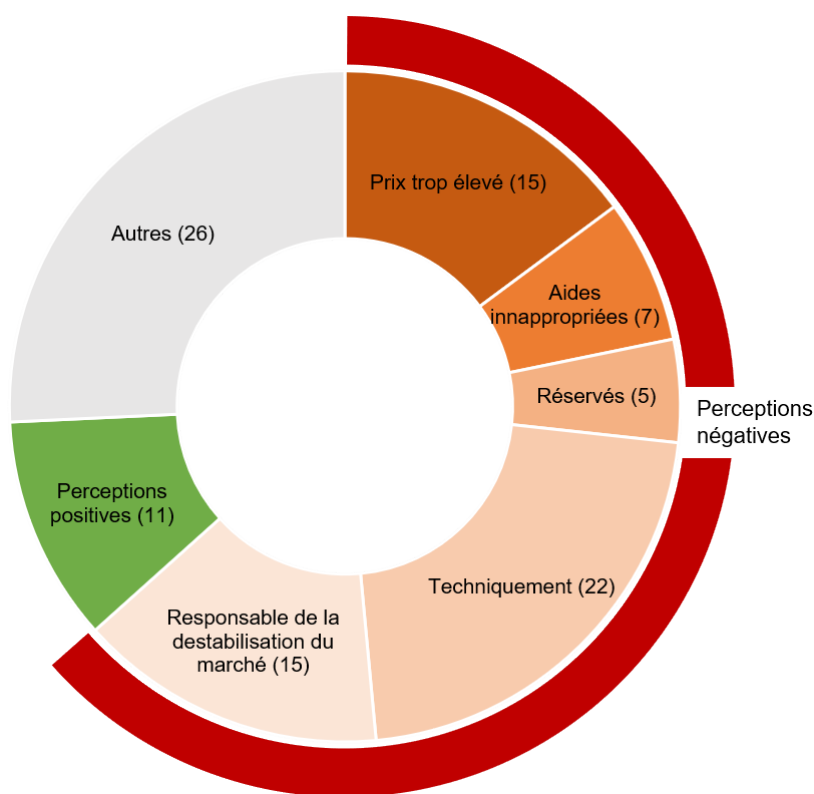


Figure 12 : Répartition des citations sur le vitroplant de plantain

Les producteurs ayant exprimé une perception positive du vitroplant ont expliqué que le vitroplant remplissait ses objectifs de plant sain *'Ah mais il n'y a pas de vers [charançons] dedans ...il n'y a rien ! C'est blanc blanc blanc !'* (DE5) et surtout qu'il permettait de s'affranchir d'étapes coûteuses : *'En termes de coût, parce que en fait faire des plants, faire les rejets, prendre des rejets, c'est long. C'est pénible. On a qu'à acheter des vitroplants et c'est bon'* (CF3).

Mais, pour d'autres producteurs (8) les vitroplants sont trop onéreux : *'C'est super cher, j'étais traumatisé par le prix'* (DF2). Pourtant, des aides avaient été pensées, pour compenser le coût d'achat des vitroplants, mais aucun des producteurs enquêtés, ayant acheté des vitroplants, n'a demandé les aides. Parmi les agriculteurs ayant exprimé une perception négative des aides liées aux vitroplants, certains ont expliqué qu'ils ne souhaitent pas dépendre des aides : *'Je ne travaille pas pour les aides en fait, je travaille pour, je veux être payé pour ce que je fais'* (DF2). D'autres ont aussi expliqué que les conditions d'octroi de ces aides n'étaient pas en phase avec les pratiques des agriculteurs. En effet, l'octroi d'aides pour l'achat de vitroplants est soumis à un maintien de la plantation pendant 5 ans, ce qui correspond aux pratiques en banane Cavendish export mais qui n'est pas en phase avec les pratiques actuelles en plantain car la majorité des producteurs de plantain arrachent leurs parcelles au bout de 2 ans. *'Ils [politiques publiques] restent bloqués sur 5 ans [de mise en culture] alors que quand tu as de la banane plantain tu ne peux pas la tenir 5 ans'* (DE8). Ensuite, d'autres producteurs ont perçu le vitroplant comme une innovation « réservée » pour les gros planteurs et particulièrement les planteurs de banane Cavendish souhaitant diversifier leur production en produisant de la banane plantain. *'Ils m'ont déjà expliqué que c'est surtout pour les gros planteurs et tout, faut avoir une priorité et tout, pour les avoir [les vitroplants] déjà c'est un combat [...]. Ce n'est pas tout le temps que j'arrive à les avoir'* (DF5). En effet, les vitroplants étant produits dans l'Hexagone, il est nécessaire de les réserver et tous les producteurs n'ont pas pu y avoir accès.

Les agriculteurs enquêtés ont également partagé leurs doutes sur la plus-value agronomique des vitroplants de plantain, par rapport à une préparation traditionnelle des rejets *'Et la maladie [cercosporiose noire], elle a développé beaucoup beaucoup plus vite sur la parcelle de vitro'* (BF12) ; *'Mais ça [les bananiers issus de vitroplants] monte très très très haut, c'est à dire qu'il faut l'attacher et même quand on l'attache ça se casse et c'est l'inconvénient de la banane vitro'*(BF5).

En dernier lieu, une partie de la perception négative des vitroplants est liée au fait que, pour 11 des agriculteurs enquêtés, le vitroplant est lié au projet export avorté et donc directement responsable d'une aggravation de l'instabilité du marché *'C'est pour ça que [nom pépiniériste] a fait autant de vitroplants, les bananiers [cavendish export] pensaient faire des bananes plantains pour l'export. Ils en ont planté, et sauf qu'ils n'ont pas exporté de bananes [plantain, et c'est là ils ont... ils ont tout [...]. Ils ont tué les petits planteurs.'* (CE1) ; *'maintenant il y a trop de bananes plantain...s'il y avait plus d'export de bananes plantain vers l'extérieur ce*

serait bien [...] mais ça fait que le marché [local] là, il est inondé et y a beaucoup de gens qui ont acheté des vitroplants... ' (DE2).

5. Discussion : Un manque d'innovation organisationnelle et institutionnelle à l'origine d'une exacerbation de la déstructuration du marché

5.1. Des tensions exacerbées entre système de niche (plantain) et système dominant (banane export)

5.1.1. Un diagnostic initial négligeant la diversité des stratégies des producteurs et les tensions existantes

La mise sur le marché des vitroplants, associée à des dispositifs de subventions et à la proposition d'une nouvelle voie de commercialisation pour la banane plantain était présentée, par la coopérative de banane export, un institut technique et un institut de recherche, comme un moyen de structurer un marché fluctuant et instable (RITA Guadeloupe 2019). Les analyses présentées dans cet article confirment que le marché autour de la banane plantain est incertain. Par contre, elles mettent également en lumière des stratégies de producteurs variées, pour la commercialisation ou les surfaces de plantation. Ces stratégies, qui permettent aux producteurs de plantain de s'adapter aux fluctuations du marché ou de s'en affranchir, ont été mises en évidence dès 2017 lors du projet RITA (Bezard 2017). Les analyses ont également permis de mettre en lumière que la fluctuation des prix trouvait son origine sur les marchés de gros, alimentés par des producteurs aux stratégies et aux réalités très différentes. L'interconnexion et l'interdépendance des circuits de commercialisation, entre des producteurs aux stratégies et aux réalités très diverses, est depuis longtemps source de tensions. Ces tensions, couplées aux points de blocage existants au sein des coopératives agricoles font que, peu de producteurs de plantain commercialisent via les circuits coopératifs. Or, la diffusion des vitroplants et les aides inhérentes s'appuient sur une commercialisation via les coopératives. Ce choix exclut, de fait, de nombreux producteurs et ne prend pas en compte les tensions existantes.

La promotion du vitroplant par les pouvoirs publics repose sur la seule prise en compte de la réalité des systèmes à base de plantain « superposés », en termes de stratégies, aux systèmes de banane Cavendish export. Les systèmes de niches à base de plantain et leur diversité, leurs stratégies spécifiques de plantation et commercialisation, n'ont pas été pris en compte (Bezard *et al.* 2023a). La non-prise en compte de ces réalités, a conduit à la diffusion d'une innovation en déconnexion partielle avec les stratégies d'une partie des producteurs qui n'étaient pas inclus dans la réflexion. L'absence d'intégration de producteurs, issus des systèmes de niche, a empêché un partage de connaissances, pourtant crucial, pour les transitions agroécologiques, pour permettre de confronter les systèmes de connaissances, d'intérêt et de valeurs (Ingram

2018). De plus, Angeon and Bates (2020) ont démontré l'existence de la croyance, dans le cas précis des systèmes bananiers export antillais, selon laquelle une innovation issue des régimes dominants (systèmes Cavendish export) était soit la meilleure, soit la seule à exister, négligeant ainsi toutes les innovations issues des systèmes de niches, comme peuvent l'être les systèmes à base de plantain. D'autre part, Biabiany *et al.*, (2022) ont montré que la structuration de la banane export jouait un rôle clé pour le dialogue avec les institutions et les collectivités, entraînant, de fait, une meilleure prise en compte de leur réalité.

5.1.2. Une absence d'innovation pour la commercialisation à l'origine de l'exacerbation des tensions existantes

La proposition d'une nouvelle voie de commercialisation, ouvrant la porte à l'exportation de bananes plantain a engagé de nouveaux producteurs, ayant accès aux vitroplants, et la plantation de nouvelles surfaces. Pourtant, aucune structure n'a reçu l'agrément permettant de mettre en place cette nouvelle voie de commercialisation. L'absence d'innovation organisationnelle et commerciale a donc entraîné l'inondation du marché local, déjà instable, avec des productions initialement destinées à l'exportation (Figure 13.A).

L'abaissement des prix sur le marché, au début de l'année 2021, a été vécu comme suffisamment important pour provoquer un changement de stratégie de commercialisation (des coopératives vers les primeurs notamment). Le prix est, en effet, un facteur déterminant des choix de production (Badouin 1955; Malassis 1963). La diffusion des vitroplants associés à la proposition d'un marché export sans circuit de commercialisation effectif a clairement exacerbé les tensions entre les systèmes de niche à base de plantain et le régime dominant « export ». Or, Belmin and Casabianca, (2018) ont montré que l'aggravation des tensions initiales et leur mauvaise gestion peut entraîner la disparition progressive des niches d'innovations au profit du seul régime dominant. La concentration des systèmes à base de plantain dans la zone du croissant bananier et la diminution des parcelles « hors RPG » dans le Nord Basse Terre et en Grande Terre peut ainsi faire craindre la disparition des systèmes à base de plantain faisant figure de niche au profit des systèmes à base de plantain superposés au système banane export Cavendish (Figure 13.B).

Biabiany *et al.*, (2021) avaient analysé que les changements de stratégie de commercialisation de producteurs, en polyculture-élevage, en Guadeloupe, et les nouvelles habitudes des consommateurs observés lors de la crise sanitaire pouvaient laisser présager une transition de type « reconfiguration » avec des nouvelles formes de commercialisation (paniers maraîchers)

issus des niches d'innovation pour les productions liées au marché local. Les résultats obtenus pour le cas spécifique de la banane plantain ne vont pas dans ce sens puisque, au moment de l'analyse la diffusion d'une innovation technique associée à la proposition d'une nouvelle voie de commercialisation a entraîné un effondrement du marché (Figure 13). Cette situation, où des régimes sont bloquants pour l'adoption massive des innovations agroécologiques issues des niches, est présente dans la majorité des pays du monde. Ces blocages peuvent prendre plusieurs formes avec des limitations d'accès aux technologies, au foncier, aux ressources productives, aux connaissances, aux chaînes de valeurs adaptées, aux habitudes de consommation ou aux politiques appropriées (Tittonell 2019).

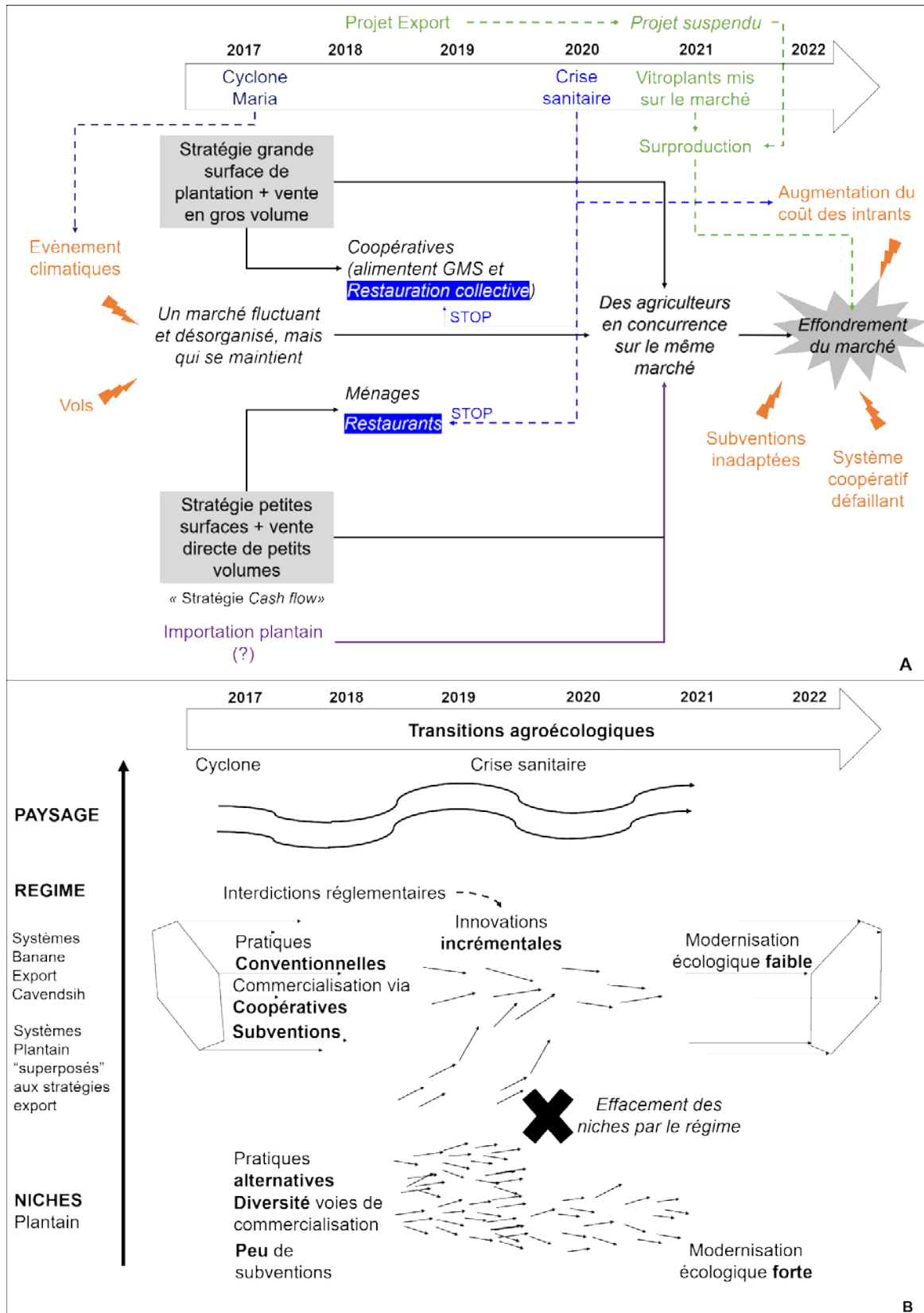


Figure 13 : **A.** Mécanique à l'origine de l'exacerbation des tensions existantes autour de la production de plantain. Le point d'interrogation sur la voie « importation » illustre l'incertitude autour de la banane plantain en Guadeloupe. L'importation de banane plantain a été mentionnée par plusieurs producteurs mais n'apparaît ni dans l'échantillon enquêté ni dans les statistiques officielles. **B.** Caractéristiques du régime (banane export) à l'origine de l'effacement des niches à base de plantain.

5.2. Ce qu'il aurait fallu pour que ça fonctionne ?

Une partie des systèmes à base de plantain en Guadeloupe fait figure de niches, une autre partie est très proche des systèmes banane export, que ce soit sur les stratégies de commercialisation ou de production. Il y a donc une forte interconnexion entre la banane plantain et la banane export Cavendish (Bezard *et al.* 2023a). Cette proximité a aussi été identifiée par Belmin *et al.*, (2018) dans le cas de la clémentine corse. Ils ont montré qu'une partie des niches « clémentines » étaient « nichées » ou « imbriquées » au sein du régime « citrus ». Cette imbrication peut entraîner de la concurrence entre les systèmes de règles entre les niches et les régimes puisqu'ils sont au sein du même système d'acteurs. La mise en place d'une gouvernance, impliquant à la fois les décideurs politiques mais également les producteurs issus des niches « plantain », préalablement à la mise sur le marché des vitroplants, aurait pu être une voie à explorer pour faire face et gérer les tensions existantes avec le régime banane export. Cela a notamment été démontré dans le cas de la clémentine corse, pour laquelle, la mise en place d'une gouvernance proactive, prenant en compte les tensions, a permis aux acteurs de se réorganiser et de coopérer autour des différents processus d'innovation (Belmin and Casabianca 2018). De même, Kivimaa and Kern, (2016) ont montré le rôle crucial des institutions et des politiques publiques pour la prise en compte et le soutien des niches dans les processus de transition.

Concrètement, dans le cas spécifique de la banane plantain en Guadeloupe, une concertation entre les agriculteurs représentés dans leur diversité et donc incluant les producteurs « hors RPG », les différents acteurs de la commercialisation (marché de gros, coopératives, exportateurs, etc.) mais également les décideurs publiques est aujourd'hui nécessaire. Cette concertation pourrait permettre de définir un plan d'action pour une réorganisation collective des systèmes de commercialisation, d'approvisionnement des intrants (notamment vitroplants) mais également des dispositifs de subventions pour dépasser les interconnexions et l'interdépendance des circuits de commercialisation, entre des producteurs aux stratégies et aux réalités très diverses et tendre vers un système inclusif où la réalité de chaque acteur est prise en considération.

5.3. Limites de la méthode

L'utilisation des verbatims des agriculteurs, à partir d'enquêtes semi-directives, a permis d'apporter de précieux éclairages sur la perception des agriculteurs pour une culture orpheline qui n'existe dans les statistiques officielles que pour les agriculteurs déclarés. Bien que, l'échantillonnage en boule de neige ne permette pas de représenter la réalité de manière significative, il permet de mettre en lumière des réalités complexes en atteignant des acteurs peu visibles (Parker *et al.* 2019).

L'étude des surfaces est robuste puisqu'elle s'appuie sur une méthode de photo-interprétation éprouvée (Le Goff 2017; Maggiori 2017; Dupuy *et al.* 2020; Kpoha *et al.* 2023; Shaqura and Lasseur 2023; Moussa *et al.* 2023). Elle a permis de mettre en lumière la limite d'utilisation des statistiques officielles, dans le cas spécifique de la banane plantain en Guadeloupe, puisque les surfaces réelles sont supérieures aux surfaces déclarées. Toutefois, les surfaces identifiées par photo-interprétation, ne correspondent pas à la réalité exacte puisqu'une partie de la production a été qualifiée d'incertaine et ceci pour plusieurs raisons. La première est liée à la qualité des orthophotographies de 2021-2022, inférieure à la qualité de celles de 2017, avec des problèmes d'ombrage et de traitement des images (nuages notamment). Les images de la série 2021-2022 ont été acquises sur une année entière et donc à des périodes où les bananiers ont des maturités différentes. La seconde est liée au fait que les parcelles de bananes plantain sont parfois disposées de manière moins homogène qu'en banane export (parcelle non rectangulaire, conduite en touffe et non en rang, etc.). Pour autant, malgré ces limites la photo-interprétation a mis en lumière l'importance de la production informelle et surtout, son lien, géographique avec la banane export. Elle a également permis d'étudier les dynamiques d'évolution entre 2 années et de fournir ainsi des données objectivées.

La caractérisation des circuits de commercialisation a permis de mettre en lumière des stratégies de commercialisation variées et d'identifier des logiques décisionnelles même s'il ne s'agit pas de données statistiquement représentatives de la réalité du fait de l'échantillonnage en boule de neige.

L'analyse des prix n'était pas non plus représentative statistiquement mais elle a aussi permis d'éclairer une réalité, d'autant que le prix du marché de Gourde-Liane, où sont effectués les relevés, détermine le prix du marché de la banane plantain en Guadeloupe.

6. Conclusion

Dans un contexte de manque de données, l'objectif de cet article était de construire un système d'informations pour caractériser la place des systèmes alternatifs à base de plantain par rapport au système dominant banane export Cavendish et discuter du rôle de la diffusion du vitroplant. La construction du système d'information s'est appuyée sur des méthodes (photo-interprétation, relevé de prix, caractérisation des circuits de commercialisation, entretiens semi-directifs) issus de disciplines variées (économie, agronomie et géomatique).

L'analyse des surfaces par photo-interprétation a permis de confirmer l'existence d'une production informelle, sa répartition géographique et son évolution au cours du temps. Elle a en particulier mis en lumière la proximité de cette production informelle, géographiquement, avec les exploitations de bananes export. Le discours des agriculteurs a permis d'éclairer une dualité de stratégie de plantation avec : (i) des producteurs qui plantent des petites surfaces échelonnées toute au long de l'année et (ii) des producteurs qui plantent des surfaces plus importantes pour approvisionner les coopératives, à l'instar de la banane export. Cette dualité de stratégies a également été identifiée pour la commercialisation avec des producteurs qui privilégient la vente directe pour avoir une trésorerie disponible immédiatement et des producteurs qui passent par les coopératives. La caractérisation des voies de commercialisation en 2017 et 2021-2022 a permis de mettre en lumière un recul de la commercialisation via les coopératives, expliqué par les producteurs, d'une part par les retards de paiement colossaux de la coopérative la plus importante de Guadeloupe et, d'autre part par les prix pratiqués par les coopératives, jugés trop faibles par les producteurs. En effet, ces prix sont indexés sur un marché de gros, alimenté par des producteurs aux stratégies variées, entraînant des fluctuations d'approvisionnement et par conséquent de prix. La caractérisation de l'évolution des prix depuis 2017 a permis de confirmer l'existence de cette fluctuation et d'identifier l'effondrement des prix début 2021, mentionnés par les producteurs enquêtés, et supposément lié à l'abandon du projet d'exportation de bananes plantain. Les verbatims des agriculteurs ont également permis de mettre en lumière les perceptions des producteurs sur le vitroplant, en tant qu'innovation issue du régime dominant. Cette innovation qui convient techniquement à plusieurs agriculteurs a pourtant aggravé les tensions entre les agriculteurs des systèmes de niche et les agriculteurs du régime dominant. Elle a en effet été pensée et diffusée pour être en phase avec les stratégies telles qu'elles existent au sein du régime. Elle a donc permis l'engagement de nouveaux producteurs issus du régime banane export et la plantation de plus grandes surfaces. Le projet d'exportation, présenté comme une nouvelle voie de

commercialisation, dans un marché local déjà instable, n'ayant pas vu le jour, les nouvelles surfaces plantées suite à l'adoption de cette innovation agrotechnique, ont donc alimentée le seul marché local déjà fragile et instable.

La mobilisation de la perspective multi-niveaux a également permis de confirmer qu'une innovation agrotechnique, issue du système dominant, pouvait entraîner un effacement des niches d'innovation et entraîner des verrouillages au sein du système socio-technique. Ces résultats contribuent à confirmer l'importance de prendre en compte la réalité de l'ensemble des producteurs et les tensions existantes. Dans cette perspective, cet article propose des pistes pour la production de banane plantain en Guadeloupe à destination des pouvoirs publiques.

Remerciements

Les auteurs remercient la Région Guadeloupe pour le financement du projet doctoral, l'Union Européenne pour le financement du projet INTERREG CambioNet et l'Unité Expérimentale PEYI du centre INRAE Antilles Guyane pour le co-financement de la thèse. Un grand remerciement pour les collègues ou ex-collègues du centre Antilles Guyane qui ont participé à la réflexion méthodologique autour de l'analyse d'image, Antoine Richard, Mathieu Bonneau, Lise Ponchant, Romain Rochette et Cecilia di Loreto, les collègues du CIRAD, Philippe Cattan, Vincent Bonnal, Jean-Pierre Chery, Sylvain Depigny, Stéphane Dupuy et Lucas Wintz. Merci à Madame Milard de la DAAF pour les données RPG en avance et Anouk de l'IGN pour les informations en temps réel sur les orthophotos. Et évidemment un grand merci à Thomas Gilardoni qui a fait les analyses spatiales en un temps record.

Contribution des auteurs

Marie Bezard et Valérie Angeon ont participé à la conception de l'étude. Tous les auteurs ont contribué à la conception de la méthodologie. La collecte de données a été faite par Marie Bezard. L'analyse des données a été préparée par Marie Bezard à l'exception des analyses spatiales réalisées par un prestataire, Thomas Gilardoni. La première version du manuscrit a été rédigée par Marie Bezard et tous les auteurs ont commenté les versions suivantes. Tous les auteurs ont lu et approuvé le manuscrit final.

Financements

Ces travaux ont été supporté par la Région Guadeloupe pour la bourse de thèse (Convention CR/5-2020, signée le 14 août 2020) et l'Union Européenne (Fonds FEADER) (Convention INTERREG V Caraïbes, numéro 7629, signée le 6 mai 2021).

Références bibliographiques

- Agreste (2022) Les visages de l'agriculture dans les départements d'Outre-mer - Recensement Agricole 2020. In: Direction de l'Alimentation de l'Agriculture et de la Forêt. <https://daaf.guadeloupe.agriculture.gouv.fr/ra2020-resultats-definitifs-r223.html>. Accessed 24 Aug 2022
- Agreste (2020) Memento de la statistique agricole. https://daaf.guadeloupe.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/memento_2020_internet_cle4814fe.pdf. Accessed 24 Aug 2021
- Andrieu N, Blundo-Canto G, Chia E, et al (2022) Scenarios for an agroecological transition of smallholder family farmers: a case study in Guadeloupe. *Agron Sustain Dev* 42:42–95. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00828-x>
- Angeon V, Bates S (2020) Mettre en œuvre la transition agroécologique : une analyse des règles de décision dans les systèmes bananiers aux Antilles françaises. *Rev Econ Reg Urbaine* 3:503–529. <https://doi.org/10.3917/reru.203.0503>
- Badouin R (1955) Les facteurs qui déterminent la conjoncture agricole. *ecoru* 25:3–12. <https://doi.org/10.3406/ecoru.1955.1124>
- Belmin R, Casabianca F (2018) The key role of geographical indications in the governance of 'terroir niches'. Insights from three Corsican case studies. *Chania*
- Belmin R, Meynard J-M, Julhia L, Casabianca F (2018) Sociotechnical controversies as warning signs for niche governance. *Agron Sustain Dev* 38:44. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0521-7>
- Bezard M (2017) Caractérisation de la culture de bananes plantain en Guadeloupe : diversité des pratiques, performance écologique & référencement technico-économique. <https://hal.inrae.fr/hal-02791198/document>. Accessed 28 Jul 2019
- Bezard M, Barlagne C, Angeon V, et al (2023a) Adoption of Agroecological Innovations in Plantain Agricultural Innovation System in Guadeloupe: A Disconnect between Network Structure and Functions
- Bezard M, Barlagne C, Diman J-L, et al (2023b) Co-designing innovative plantain cropping systems to support the diversity of agroecological pathways in Guadeloupe. *Agron Sustain Dev*. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00879-8>
- Biabiany O, Mandonnet N, Bolo A, et al (2021) L'agriculture familiale à l'épreuve de la Covid-19 : le cas de la Guadeloupe. *Etudes Caribéennes*. <https://doi.org/10.4000/etudescaribeennes.21615>
- Biabiany O, Massardier G, Montouroy Y (2022) The implementation process of agriculture adaptation instruments to climate change. The invisibilization of European climate policy goals in French West Indies' banana Chain. *International Journal of Agricultural Sustainability* 1–13. <https://doi.org/10.1080/14735903.2022.2065959>
- CTIFL (2019) Diagramme de la distribution 2018 - Schéma de la Filière Fruits et Légumes Frais
- DAAF (2022) Marché Gourde-Liane. <https://daaf.guadeloupe.agriculture.gouv.fr/marche-gourde-liane-r151.html>
- DAAF (2019) Mémento de la statistique agricole Guadeloupe

- Dupuy S, Gaetano R, Le Mézo L (2020) Mapping land cover on Reunion Island in 2017 using satellite imagery and geospatial ground data. *Data in Brief* 28:104934. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104934>
- Duru M, Fares M, Therond O (2014) A conceptual framework for thinking now (and organising tomorrow) the agroecological transition at the level of the territory. *Cah Agric* 23:84–95. <https://doi.org/10.1684/agr.2014.0691>
- Fanchone A, Alexandre G, Chia E, et al (2020) A typology to understand the diversity of strategies of implementation of agroecological practices in the French West Indies. *Eur J Agron* 117:9. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126058>
- Fares M, Magrini M-B, Triboulet P (2012) Agroecological transition, innovation and lock-in effects: The impact of the organizational design of supply chains. *Cahiers Agricultures* 21:34–45. <https://doi.org/10.1684/agr.2012.0539>
- Fréguin-Gresh S, Angeon V, Cortès G (2020) Les petites agricultures familiales en Guadeloupe : une contribution à l’ancrage de l’alimentation ? <https://hal.inrae.fr/hal-03528033/document>. Accessed 27 Jan 2021
- Geels FW, Schot J (2007) Typology of sociotechnical transition pathways. *Res Policy* 36:399–417. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.003>
- Ingram J (2018) Agricultural transition: Niche and regime knowledge systems’ boundary dynamics. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 26:117–135. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2017.05.001>
- Johnson JC (1990) *Selecting ethnographic informants*. Sage Publications, Inc.
- Kivimaa P, Kern F (2016) Creative destruction or mere niche support? Innovation policy mixes for sustainability transitions. *Research Policy* 45:205–217. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.09.008>
- Kpoha JN, Akokponhour HB, Orekan V, N’Guessan BVH (2023) Contribution de la télédétection et d’un SIG à la cartographie des unités de l’occupation du sol et ses changements face au problème d’inondation sur le plateau d’Allada au Bénin entre 1986-2020. *IJISR* 65:164–177
- Kwa M, Temple L (2019) *Le bananier plantain*. Quae, CTA, Presses agronomiques de Gembloux, Wageningen (The Netherlands), Versailles (France), Gembloux (Belgium)
- Le Goff M (2017) *Techniques d’analyse de contenu appliquées à l’imagerie spatiale*. Université de Toulouse
- Maggiori E (2017) *Learning approaches for large-scale remote sensing image classification*. Sophia Antipolis-Méditerranée
- Malassis L (1963) Prix agricoles et planification. *ecoru* 56:3–8. <https://doi.org/10.3406/ecoru.1963.1756>
- Marzin J, Fréguin-Gresh S, Angeon V, et al (2021) Étude sur les freins et leviers à l’autosuffisance alimentaire : vers de nouveaux modèles agricoles dans les départements et régions d’outre-mer. CIRAD, AFD
- Meynard J-M, Charrier F, Fares M, et al (2018) Socio-technical lock-in hinders crop diversification in France. *Agron Sustain Dev* 38:54. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0535-1>

- Meynard J-M, Jeuffroy M-H, Le Bail M, et al (2017) Designing coupled innovations for the sustainability transition of agrifood systems. *Agricultural Systems* 157:330–339. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.08.002>
- Ministère de l’Agriculture et de l’Alimentation (2020) Recensement Agricole 2020
- Mitchell RK, Agle BR, Wood DJ (1997) Toward a Theory of Stakeholder Identification and Salience: Defining the Principle of Who and What Really Counts. 22:35
- Moussa AD, Zakari S, Djouga M, et al (2023) Diversité floristique et structure de la végétation ligneuse de la forêt classée des Trois Rivières’’ et sa périphérie au Nord-Est du Bénin: Floristic diversity and structure of woody vegetation in the forest reserve of Trois Rivières’’ and its periphery in northeast Benin. *JGST* 4:1–21. <https://doi.org/10.54222/afrigist/jgst/v4i1.1>
- Parker C, Scott S, Geddes A (2019) *Snowball Sampling*. SAGE 14. <http://dx.doi.org/10.4135/>
- QGIS Geographic Information System (2022) [QGIS.org](https://qgis.org)
- QSR International Pty Ltd (2020) NVivo
- R Core Team (2022) R: A language and environment for statistical computing
- Rasse C, Andrieu N, Diman J-L, et al (2018) Utilisation de pratiques agroécologiques et performances de la petite agriculture familiale : le cas de la Guadeloupe. *Cah Agric* 27:55002. <https://doi.org/10.1051/cagri/2018032>
- Rip A, Kemp R (1998) Technological changes. In: S. Rayner, & E.L. Malone (Eds). Battelle Press, pp 327–399
- Risède J-M, Achard R, Brat P, et al (2018) La transition agro-écologique des systèmes de culture de bananes Cavendish aux Antilles françaises. In: *La transition agro-écologique des agricultures du Sud*, Quae. Versailles, France, pp 149–179
- RITA Guadeloupe (2019) Bilan d’activité - Intensecoplantain
- Sadom L, Tomekpé K, Folliot M, Côte F-X (2010) Comparaison de l’efficacité de deux méthodes de multiplication rapide de plants de bananier à partir de l’étude des caractéristiques agronomiques d’un hybride de bananier plantain (*Musa* spp.). *Fruits* 65:3–9. <https://doi.org/10.1051/fruits/2009036>
- Salembier C, Segrestin B, Sinoir N, et al (2020) Design of equipment for agroecology: Coupled innovation processes led by farmer-designers. *Agricultural Systems* 183:102856. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102856>
- Shapura I, Lasseur J (2023) Caractérisation des Surfaces Pastorales en Région PACA par SIG et Télédétection: Questions de Méthodes et Premiers Résultats. *RFPT* 225:9–22. <https://doi.org/10.52638/rfpt.2023.427>
- Stark F, Fanchone A, Semjen I, et al (2016) Crop-livestock integration, from single practice to global functioning in the tropics: Case studies in Guadeloupe. *Eur J Agron* 80:9–20. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.06.004>
- Sutherland L-A, Burton RJF, Ingram J, et al (2012) Triggering change: Towards a conceptualisation of major change processes in farm decision-making. *J Environ Manage* 104:142–151. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.03.013>

Tarsiguel L, Dorey E, Dorel M, Andrieu N (2023) Alternative practices to pesticide use in the Guadeloupe banana belt: Do biophysical constraints limit agroecological transitions? *Agric Syst* 210:103710. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103710>

Tittonell P (2019) Agroecological transitions: multiple scales, levels and challenges. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 16

Annexe 1. Evolution du nombre de parcelles et des surfaces (en hectare) par catégorie (Hors RPG Créole RPG et Export RPG) et par zone (Sud Basse Terre, Nord Basse Terre, Grande Terre et Marie Galante). Le RPG (Relevé Parcellaire Graphique) est une base de données géographiques qui comprend la culture principale des parcelles et sert de références à l'instruction des aides de la politique agricole commune. Elle est fournie par les services de l'Etat et correspond aux surfaces déclarées.

	Banane Hors RPG		Banane Créole RPG		Banane Export RPG	
Total Guadeloupe	2017	2021	2017	2021	2017	2021
Nombre de parcelles :	320	328	242	336	1955	1994
Surface en ha :	172,41	136,73	150,52	221,84	1931,83	1938,03
Moyenne	0,54	0,42	0,62	0,66	0,99	0,97
Médiane	0,36	0,26	0,43	0,45	0,76	0,78
Minimum	0,10	0,10	0,01	0,01	0,01	0,02
Maximum	5,14	5,95	6,40	6,00	19,66	5,63
Sud Basse Terre	2017	2021	2017	2021	2017	2021
Nombre de parcelles :	262	316	122	178	1702	1764
Surface en ha :	127,86	133,11	89,32	129,56	1647,08	1677,41
Moyenne	0,49	0,42	0,73	0,73	0,97	0,95
Médiane	0,36	0,27	0,49	0,51	0,74	0,76
Minimum	0,10	0,10	0,04	0,01	0,01	0,02
Maximum	4,74	5,95	6,40	6,00	19,66	5,63
Nord Basse Terre	2017	2021	2017	2021	2017	2021
Nombre de parcelles :	18	10	57	52	132	122
Surface en ha :	7,04	2,92	28,56	27,00	115,35	117,44
Moyenne	0,39	0,29	0,40	0,52	0,87	0,96
Médiane	0,27	0,26	0,39	0,41	0,66	0,84
Minimum	0,11	0,18	0,03	0,08	0,07	0,07
Maximum	1,80	0,69	2,38	2,26	4,93	4,22
Grande Terre	2017	2021	2017	2021	2017	2021
Nombre de parcelles :	40	2	55	98	121	108
Surface en ha :	37,52	0,70	31,68	64,67	169,40	143,18
Moyenne	0,94	0,35	0,58	0,66	1,40	1,33
Médiane	0,72	0,35	0,43	0,41	1,19	1,12
Minimum	0,10	0,10	0,02	0,02	0,06	0,26
Maximum	5,14	0,60	3,89	4,42	7,48	4,56
Marie Galante	2017	2021	2017	2021	2017	2021
Nombre de parcelles :	0	0	8	8	0	0
Surface en ha :	0,00	0,00	0,92	0,62	0	0,00
Moyenne	0,00	0,00	0,12	0,08	0	0,00
Médiane	0,00	0,00	0,83	0,04	0	0,00
Minimum	0,00	0,00	0,01	0,02	0	0,00
Maximum	0,00	0,00	0,29	0,21	0	0,00

Annexe 2. Proximité des parcelles hors RPG avec les cultures déclarées au RPG. Le RPG (Relevé Parcelaire Graphique) est une base de données géographiques qui comprend la culture principale des parcelles et sert de références à l'instruction des aides de la politique agricole commune. Elle est fournie par les services de l'Etat et correspond aux surfaces déclarées.

	Nombre parcelles		Surface (ha)		Proportion (%)	
	2017	2021	2017	2021	2017	2021
Banane export	338	423	267,83	377,43	33,78	45,87
Jachère	175	178	133,05	143,27	16,78	17,41
Autres	153	177	211,68	169,56	26,70	20,61
Banane créole	80	51	136,15	45,06	17,17	5,48
Canne	48	43	44,21	87,53	5,58	10,64

2. Conclusion du chapitre

La démarche mise en place, mobilisant des méthodes issues de disciplines variées (géographie, économie, sociologie et agronomie) a permis de mettre en lumière une réalité, jusque-là soupçonnée, mais non étayée. Elle a permis de confirmer l'existence d'une production informelle, localisée en marge des exploitations de bananes export et de mettre en lumière différentes stratégies de plantation. La caractérisation des circuits de commercialisation a confirmé la faible intégration des producteurs de plantain dans les coopératives. Ces producteurs privilégient des modes de commercialisation permettant un apport immédiat de trésorerie. L'étude de l'évolution des prix a permis de confirmer l'existence d'un marché fluctuant et instable lié à l'interconnexion entre des producteurs aux stratégies de commercialisation et de production très variées. La mobilisation de la perspective multi-niveaux dans ce chapitre a permis de confirmer qu'une innovation agrotechnique (le vitroplant), issue du système dominant, pouvait entraîner un effacement des niches d'innovation et entraîner des verrouillages/tensions au sein du système sociotechnique.

Partie 4. Discussion générale

Ce travail de thèse avait pour objectif de proposer une démarche de recherche, mobilisant des outils et méthodes, pour hybrider des connaissances existantes et construire de nouveaux savoirs pour accompagner les transitions agroécologiques d'une culture orpheline. La réflexion a été menée autour d'une culture spécifique, la banane plantain, dans un contexte particulier ; la Guadeloupe.

Les différentes étapes ont permis de faire émerger et agréger des connaissances existantes et de produire de nouvelles connaissances en mobilisant différents niveaux d'échelle et des apports de plusieurs disciplines.

La première étape de ce travail de recherche a été conduite aux échelles de l'exploitation agricole et du système de culture, qui sont les échelles de gestion des producteurs. Elle a permis de mettre en lumière la diversité des pratiques et des stratégies des producteurs de plantain et d'identifier les freins et leviers aux transitions agroécologiques grâce à des approches participatives : des enquêtes semi-directives et des ateliers de co-conception. Deux points de blocage majeurs ont été identifiés lors de cette première étape et ont déterminé les deux étapes suivantes de la thèse : (i) le manque de connaissances techniques sur la façon d'optimiser une pratique alternative pour la production de plants sains, identifiée comme d'intérêt, mais chronophage et (ii) le manque de connaissances sur les réseaux d'acteurs impliqués dans l'adoption de pratiques alternatives. L'étude du rôle des réseaux dans l'adoption des alternatives agroécologiques a permis de révéler le rôle central des acteurs du système dominant (banane export) dans l'AIS (*Agricultural Innovation System*, Système d'innovation agricole) plantain. La dernière étape de la thèse s'est attachée à comprendre les liens entre système dominant (régime) et systèmes alternatifs (niches) et la perception de la diffusion d'une innovation issue du système dominant par les agriculteurs des systèmes alternatif à base de plantain (Figure 9).

La discussion présentée dans cette partie questionne tout d'abord les apports de la thèse, en termes de connaissances, pour la culture du plantain en Guadeloupe et plus largement de massification de l'agroécologie. L'apport des différentes méthodes pour la démarche est discuté dans un second temps. L'enjeu autour de l'évolution de la recherche en agronomie est discuté dans une troisième partie et les perspectives sont discutées dans une dernière partie.

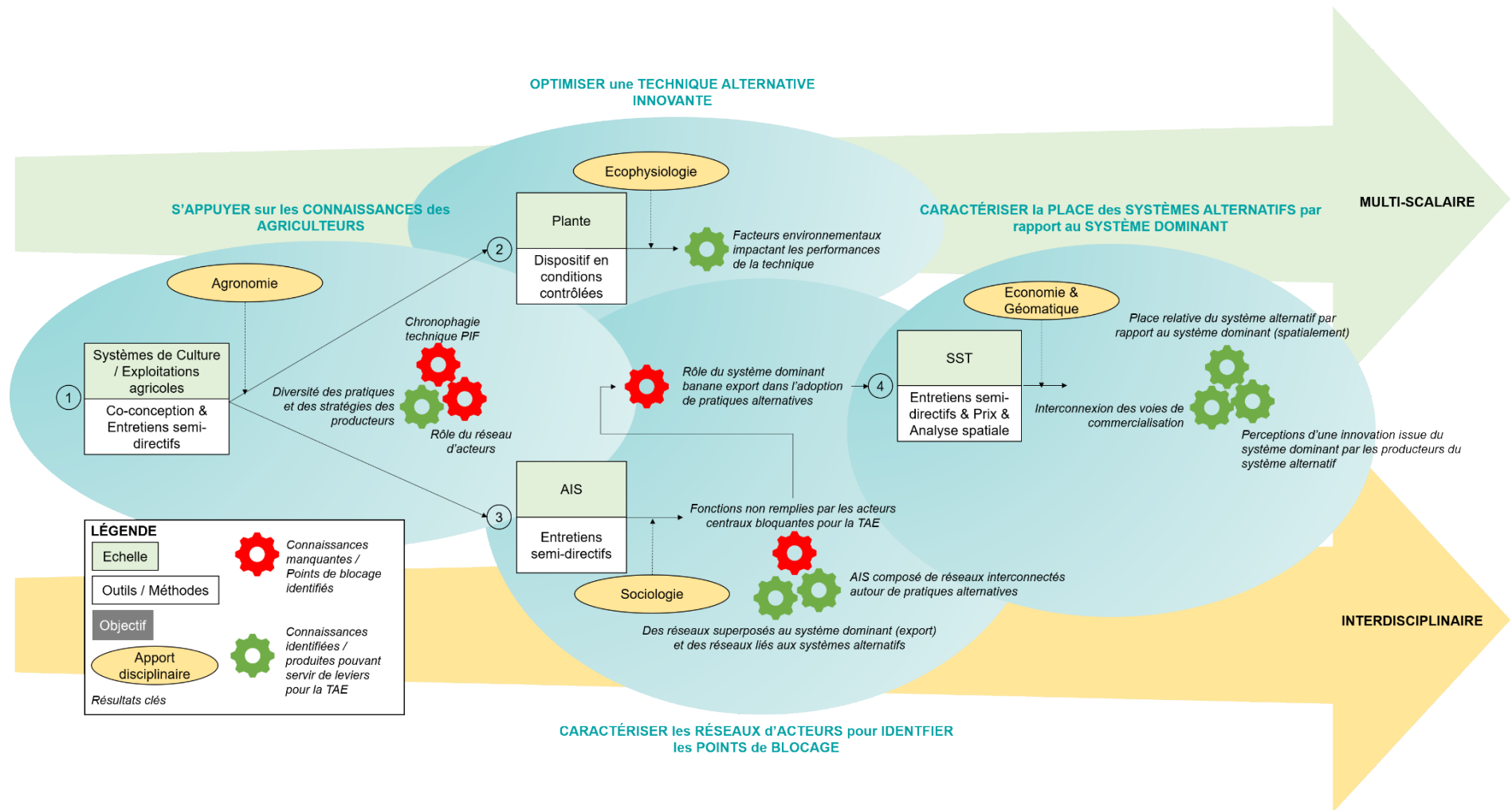


Figure 9 : Approche méthodologique globale et résultats principaux. Dans ce schéma, une distinction est faite entre les résultats relevant de points de blocage identifiés et ceux relevant de connaissances permettant d’aller plus loin dans l’accompagnement et/ou la compréhension des transitions agroécologiques. AIS signifie *Agricultural Innovation System*, Système d’innovation agricole en français ; SST, Système Socio technique ; TAE, Transition Agroécologique et PIF, Plant Issus de Fragment de tige.

4.1. Emergence et production de connaissances sur le plantain

4.1.1. Pour la production de banane plantain en Guadeloupe

La banane plantain en Guadeloupe constitue l'objet d'étude de cette thèse. De par le peu d'études qui y ont été consacrés, elle constitue un exemple de culture orpheline. Les seuls travaux, centrés sur la banane plantain, menés jusqu'à présent se concentraient sur la question des performances agronomiques de systèmes de plantain agroécologiques (Loranger-Merciris *et al.* 2022; Loranger-Merciris 2023). La banane plantain était jusque-là majoritairement étudiée, en Guadeloupe, par le prisme de la banane export Cavendish. Une étude récente, dans la zone du croissant bananier s'est d'ailleurs intéressée au lien entre les pratiques de gestion de l'enherbement et différents facteurs extérieurs (contraintes biophysiques, contexte réglementaire, accès aux dispositifs de certification), mettant en lumière une multiplicité de chemins de transition (Tarsiguel *et al.* 2023).

Dans le contexte actuel de transition agroécologique, où la nécessité de prendre en compte les *drivers* fait aujourd'hui consensus, les résultats, mis en évidence dans le cadre de la thèse, permettent d'aller au-delà des aspects agro-techniques et d'effectuer un « changement de perspective » pour une culture présentée comme d'intérêt pour l'alimentation locale (Fréguin-Gresh *et al.* 2020). La thèse propose de questionner spécifiquement les dynamiques de transition plantain et d'étudier le rapport Cavendish-plantain par le prisme de la banane plantain. Les différentes étapes conduites tout au long de la thèse ont permis, dans un premier temps, de mettre en lumière les dynamiques sous-jacentes aux différents chemins de transition en caractérisant la diversité des stratégies de production et de commercialisation des producteurs de plantain en Guadeloupe ainsi qu'en mettant en évidence les points de blocage à la transition agroécologique.

Les travaux menés ont aussi permis de montrer l'existence d'un véritable système d'innovation autour du plantain en Guadeloupe, avec des flux de ressources matérielles et de connaissances autour d'organisations spontanées d'agriculteurs, bien que cette production ait été qualifiée de peu structurée (RITA Guadeloupe 2019). Deux types de réseaux d'acteurs, au sein du système d'innovation, sous-tendant les pratiques agroécologiques ont été identifiés : des réseaux superposés au système banane export Cavendish et associés à une modernisation écologique faible et des réseaux associés à une modernisation écologique forte.

Le lien avec les systèmes dominants, et notamment la banane export aux Antilles françaises, avait déjà été identifié lors de précédents travaux (Angeon and Bates 2020; Della Rossa *et al.*

2020; Fanchone *et al.* 2020) mais pas quantifié. La caractérisation des réseaux d'acteurs à l'aide d'indicateurs quantitatifs de centralité et l'utilisation d'une analyse spatiale a permis d'objectiver cette réalité.

4.1.2. Une contribution à la réflexion sur la massification de l'agroécologie dans un contexte européen et post-colonial

Au-delà de la seule culture du plantain en Guadeloupe, les résultats, mis en évidence dans le cadre de la thèse, s'inscrivent au sein de la réflexion globale autour de la massification de l'agroécologie au sens de Mier *et al.* (2018) et de Nicholls et Altieri (2018).

Tout au long de la thèse la discussion autour du degré ou niveau « d'agroécologisation » des pratiques s'est faite en fonction de la grille ESR de Hill and MacRae (1996) mais également au regard du degré d'autonomisation des agriculteurs. Par exemple, dans le chapitre 3, la fertilisation organique issue de l'exploitation est considérée comme étant plus agroécologique que des engrais organiques issus de la plateforme de compostage, puisqu'elle permet un affranchissement de la dépendance aux intrants (Mier *et al.* 2018). Les conditions permettant la massification de l'agroécologie ont, jusqu'alors, été identifiés à partir de cas concrets. La banane plantain en Guadeloupe offre un nouveau cas d'étude pour contribuer à cette réflexion, dans un contexte socio-économique, post-colonial, et réglementaire européen. Il est, d'ailleurs, intéressant de constater qu'une partie des *drivers* identifiés par Rosset and Martínez-Torres (2012); Mier *et al.* (2018); Nicholls et Altieri (2018) comme nécessaires à la massification de l'agroécologie, à l'échelle d'une communauté ou d'un territoire rural, font échos à des points de blocage identifiés dans le cas de la banane plantain en Guadeloupe. Ainsi, l'interconnexion bloquante des circuits de commercialisation, le manque de connaissances sur certaines pratiques agroécologiques et le défaut de politiques publiques adaptées aux besoins des producteurs trouvent leur pendant dans trois *drivers* : (i) la nécessité d'un marché favorisant les agriculteurs aux pratiques agroécologiques ; (ii) la nécessité d'avoir des politiques permettant d'accompagner les efforts existants et favorisant l'autonomisation des producteurs et ; (iii) l'existence de pratiques agroécologiques effectives.

La technique du PIF, comme moyen d'autonomisation pour la production de plants sains constitue un exemple de technique agroécologique mais également, de par sa diffusion et son ancrage au sein d'un groupement d'agriculteurs, un exemple de partage de connaissances de paysan-à-paysan. Les processus de partage de connaissances et d'organisations sociales (au travers des organisations d'agriculteurs) font également partie des *drivers* clés identifiés par

Mier *et al.* (2018). Dans les cas étudiés, en Amérique centrale ou latine, ces processus s'appuient souvent sur des « écoles d'agroécologie » ou des « fermes de démonstration » qui permettent un partage horizontal des connaissances. Le groupement d'agriculteurs, où la technique du PIF a diffusé, offre un cadre permettant un échange entre pairs et en phase avec les dispositifs réglementaires européens. Cette technique de multiplication et d'assainissement s'inscrit également dans un enjeu commun à de nombreux producteurs : l'obtention de matériel végétal sain pour la plantation, permettant la mise en place de pratiques prophylactiques, et non curatives comme ce qui se fait dans des systèmes conventionnels (Bellon and Penvern 2014). Un certain nombre de points de blocage et leviers discutés relèvent d'un autre enjeu commun aux systèmes agricoles, qu'ils soient agroécologiques ou non, à savoir la viabilité économique. Plusieurs pratiques ont été discutées en ce sens avec, notamment, des stratégies d'association de cultures permettant le maintien d'une trésorerie en continu et des stratégies de diversification des voies de commercialisation avec le recours à la vente directe. Van Der Ploeg *et al.* (2019) ont d'ailleurs montré que les systèmes agroécologiques avaient le potentiel d'être, économiquement, plus intéressants que les systèmes conventionnels. D'autres pratiques, discutées dans le cadre de la thèse, autour de la gestion de la fertilité, des parasites, de l'enherbement s'inscrivent également dans des défis communs à l'ensemble des agriculteurs engagés dans les transitions agroécologiques

Les freins à la transition agroécologique identifiés dans le cadre de la thèse contribuent à apporter des réponses, dans un contexte donné, à la non-adoption massive de pratiques agroécologiques. Cette non-adoption est, en effet, une critique récurrente faite à l'agroécologie, puisqu'elle est présentée comme une solution efficace pour faire face aux enjeux actuels (Nicholls et Altieri 2018).

Les différents types d'agriculteurs identifiés, dans le cas spécifique de la banane plantain en Guadeloupe, avec des agriculteurs issus des systèmes dominants (export) et des agriculteurs liés à des systèmes alternatifs renvoient à la question de la « paysannisation » de l'agroécologie. Pour Douwe Van Der Ploeg (2010), l'agroécologie va, en effet, de pair avec une « re-paysannisation » puisque la « condition paysanne » serait caractérisée par : (i) la recherche de co-production avec la nature pour renforcer la base de ressources (ii) la lutte pour une autonomie relative.

Les travaux menés dans le cadre la thèse offrent donc un nouveau cas d'étude contribuant à la réflexion sur la massification de l'agroécologie.

4.2. Une mobilisation de plusieurs méthodes et outils pour identifier les connaissances existantes et produire les connaissances manquantes

La démarche, mise en place dans le cadre de la thèse, s'est appuyée sur un certain nombre de méthodes issues de plusieurs disciplines.

La première étape de la thèse pose la co-conception, alimentée par un diagnostic construit à partir d'enquêtes, comme point de départ. Cette étape initiale avec l'utilisation de méthodes d'enquêtes et d'ateliers a permis de faire émerger et de partager des connaissances non académiques. Ce faisant, elle a fait ressortir des défis communs, auxquels font face les producteurs dans le cadre des transitions agroécologiques, tout en permettant d'en débattre dans le contexte spécifique de la Guadeloupe et notamment la recherche de l'autonomie des moyens de production (Nicholls et Altieri 2018), illustrée, dans le cadre de la thèse, par l'exemple de la technique du PIF. Cette première étape de la thèse, confirme que les outils de co-conception permettent de discuter / faire émerger les points de blocage et les leviers à l'échelle des exploitations agricoles / systèmes de culture en agrégeant des connaissances académiques et non académiques dans des contextes spécifiques. Cette démarche peut donc être répliquée pour identifier d'autres défis spécifiques à de nouveaux contextes comme suggéré par Chave *et al.* (2019), et Jeuffroy *et al.* (2022).

La mise en place d'un dispositif en conditions semi-contrôlées, lors de la deuxième étape de la thèse, a permis la création de connaissances identifiées comme manquantes (sur les facteurs environnementaux permettant d'optimiser la technique du PIF). Ce dispositif, à bas coût, a permis, dans le cas de la thèse, d'identifier des pistes pour optimiser la technique du PIF et donc envisager des solutions pour compenser sa chronophagie. Ce dispositif n'a pas permis de discriminer de manière très précise les facteurs environnementaux mais il a permis de dégager des tendances permettant de fournir de premières pistes aux agriculteurs. Les paramètres environnementaux (lumière, hormones, température) étaient facilement modulables avec l'utilisation, par exemple, d'un radiateur d'appoint ou d'une ampoule LED horticole. Au-delà de la technique du PIF, ce dispositif est facilement transposable et adaptable pour d'autres cultures et/ou d'autres contextes géographiques dans des objectifs de recherche appliquée ou pour des instituts techniques. Il pourrait également être approprié par des pépiniéristes souhaitant contrôler la multiplication d'espèces végétales.

La troisième étape de la thèse avait pour objectif de caractériser les réseaux d'acteurs soutenant l'adoption de pratiques plus ou moins agroécologiques. Cette caractérisation a été faite

à l'aide d'outils issus de la sociologie (*Social Network Analysis* (SNA) et du *Knowledge Mapping* (KM)) et sur la base d'un cadre conceptuel issu de l'économie : le Système d'Innovation (SI). Cette étape, comme la première, a permis de mettre en évidence un certain nombre de résultats, propres à la Guadeloupe et à la culture de banane plantain, qui font échos à des résultats identifiés dans d'autres contextes. Tout d'abord les résultats identifiés ont permis de caractériser les stratégies d'hybridation en termes de pratiques innovantes mises en place par les agriculteurs dans le cadre des transitions agroécologiques. Ces stratégies, qui permettent aux producteurs de tester de nouvelles pratiques tout en sécurisant leur production, grâce à une ou plusieurs pratiques déjà maîtrisées, a déjà été caractérisée en Guadeloupe par Rasse *et al.* (2018) sur d'autres cultures. Spielman *et al.* (2009) expliquent qu'une innovation résulte d'un processus complexe de « sélection », permettant de trouver une pratique meilleure que celle initialement utilisée.

La SNA (*Social Network Analysis*) a permis grâce à des indicateurs quantitatifs, d'identifier deux types de réseaux d'acteurs sous-tendant trois types de pratiques alternatives (autour de la préparation de plants, de la fertilisation et de la gestion de l'amendement). Nous montrons que les agriculteurs ayant adopté des pratiques liées à une modernisation écologique forte s'inscrivent dans des réseaux avec peu d'acteurs centraux et que les acteurs ayant des pratiques liées à une modernisation écologique faible, sont engagés dans des réseaux plus centralisés avec une présence d'acteurs issus du système dominant banane export Cavendish. La méthode mise en place s'est appuyée sur des enquêtes auprès d'agriculteurs pour caractériser l'ensemble des acteurs et/ou institutions avec qui ils interagissent tout au long de la conduite du plantain. Ce réseau global, incluant l'ensemble des agriculteurs enquêtés et des acteurs et/ou institutions avec qui ils interagissent, a été appréhendé en tant que Système d'Innovation Agricole plantain (AIS plantain). La SNA a permis de caractériser les réseaux d'innovation (en termes de structure) en fonction du type d'innovation adoptée. Les approches SNA sont généralement mobilisées pour examiner la diffusion d'une pratique donnée dans un système d'innovation (Weyori *et al.* 2018; Ramírez-Gómez *et al.* 2020) ou pour étudier le rôle de ce dernier sur les dynamiques d'innovation, comme dans les travaux menés par Spielman *et al.* (2011) en Ethiopie, sur le rôle des réseaux d'innovation impliquant la petite agriculture.

Le manque de données sur la banane plantain en Guadeloupe ne permettait pas de considérer, à priori l'existence d'un AIS plantain. Les travaux ont permis de mettre en évidence l'existence d'un tel système. L'étude des réseaux d'innovation avait également pour objectif d'identifier les points de blocage à la transition agroécologique à partir des *verbatim* des agriculteurs, à

l'aide d'un *Knowledge Mapping* (KM). Les agriculteurs enquêtés (*ego*) se sont exprimés sur les ressources manquantes et/ou les fonctions non remplies par les autres acteurs du réseaux (*alters*).

La mobilisation de la SNA a facilité la caractérisation des relations existantes entre les producteurs de plantain et les acteurs et/ou institutions avec qui ils interagissent tout au long de la conduite de la culture (Spielman *et al.* 2009). Le KM a permis d'identifier les points de blocage à la transition agroécologique au sein de l'AIS et notamment ceux liés à des fonctions non remplies par certains acteurs centraux (fourniture de matériel végétal, de subvention, etc.). Cette caractérisation des configurations existantes au sein de l'AIS plantain a permis d'identifier des freins à la transition agroécologique mais elle ouvre également la réflexion sur les changements qui pourraient être opérés, notamment au niveau institutionnel, pour dépasser ces freins.

Ces résultats sur l'AIS plantain et sur le rôle central et potentiellement bloquant des acteurs issus du système dominant (banane export Cavendish) ont été à l'origine du dernier chapitre de la thèse. Une méthodologie mixte a été mobilisée pour produire un système d'information et caractériser la place des systèmes alternatifs à base de plantain par rapport au système dominant banane export. L'apport de la photo-interprétation, dans le chapitre 4, a permis d'obtenir des données robustes dans un contexte de manque de données statistiques et confirme son intérêt pour l'étude des cultures orphelines. Cette méthode est, en effet, souvent utilisée dans des contextes peu documentés pour obtenir des données sur l'occupation des sols, le type de couverts végétaux, l'impact de l'activité humaine, etc. (Dupuy *et al.* 2020; Kpoha *et al.* 2023; Shaqura and Lasseur 2023; Moussa *et al.* 2023). Elle est de plus en plus mobilisée, grâce aux avancées technologiques qui permettent la mise à disposition d'une grande quantité d'images, satellites et aériennes, mais également grâce à l'amélioration et l'automatisation des algorithmes de traitement des données (Le Goff 2017; Maggiori 2017). Par ailleurs, la caractérisation des circuits de commercialisation à l'aide d'indicateurs quantitatifs et des *verbatim* des agriculteurs a mis en lumière les stratégies des producteurs existantes. Le rôle de la diffusion du vitroplant, en tant qu'innovation issue du système dominant au sein des niches d'innovation a également été étudié dans cette dernière partie de la thèse et permet de fournir un exemple supplémentaire des tensions pouvant émerger dans une telle configuration, comme ce qui a été fait dans l'étude de la clémentine corse au sein du système « citrus » (Belmin *et al.* 2018).

La méthodologie globale interdisciplinaire et multi-scalaire mise en place dans le cadre de la thèse a donc permis de mettre en lumière un certain nombre de dynamiques d'innovation mais également des points de blocage à la transition agroécologique, pour la culture de banane plantain en Guadeloupe (Figure 9). La question de la dépendance au cas d'étude peut donc se poser. Les résultats de la thèse, qu'il s'agisse des stratégies des producteurs, de l'optimisation de la technique du PIF, de la caractérisation des réseaux d'innovation ou des tensions existant entre l'AIS plantain et le système dominant, s'inscrivent dans des enjeux/défis globaux identifiés pour les transitions agroécologiques. L'un des objectifs de cette méthode était de questionner les dynamiques d'innovation agroécologique pour une culture orpheline, où l'état des connaissances est, de fait, inconnu au départ. La méthodologie a donc été pensée pour faire émerger ou produire les connaissances nécessaires à l'atteinte de cet objectif. Dans cette optique, elle pourrait être déclinée pour d'autres cultures orphelines, mais elle pourrait également être mobilisée et adaptée pour l'étude de cultures a priori bien référencées. En effet, les données pour les cultures bien référencées sont souvent des données statistiques qui ne prennent pas toujours en compte le facteur humain et les stratégies individuelles des producteurs.

4.3. Une évolution des méthodes en agronomie : l'apport d'une démarche multi-scalaire et interdisciplinaire pour la recherche participative

Les différentes étapes déclinées dans le cadre de la thèse et qui font son originalité, s'appuient sur une articulation entre différents niveaux d'échelle et sur la mobilisation d'apports méthodologiques issus de disciplines variées, allant de l'écophysiologie à la sociologie, en passant par l'économie. La démarche générale proposée, en mobilisant des méthodes d'autres disciplines au service de la discipline agronomique, relève, en ce sens, de l'interdisciplinarité au sens de Nicolescu (2014). Ce dernier distingue l'interdisciplinarité de la multidisciplinarité, où une discipline est mobilisée pour répondre à une question spécifique d'une autre discipline ; et de la transdisciplinarité qui va « au-delà » des disciplines en fixant, comme objectif premier, la compréhension de la (ou d'une) réalité (Figure 10). Bien que les travaux menés dans le cadre de la thèse relèvent plus de l'interdisciplinarité que de la transdisciplinarité, ils tendent à s'inscrire dans les trois piliers de la recherche transdisciplinaire définis par Nicolescu (2014) : (i) la complexité ; (ii) les niveaux multiples de la réalité et (iii) le « principe du tiers inclus » qui permet de passer d'une vision disciplinaire (et donc parcellaire de la connaissance) à une vision globale (avec des connaissances englobantes) (Kleinpeter 2013; Meuriot *et al.* 2015). La transdisciplinarité implique une ou des refontes méthodologiques pour construire les ponts entre les différents domaines de connaissances et les différents acteurs, et notamment entre les sciences humaines et les sciences exactes séparées depuis l'époque des Lumières (Nicolescu 2011).

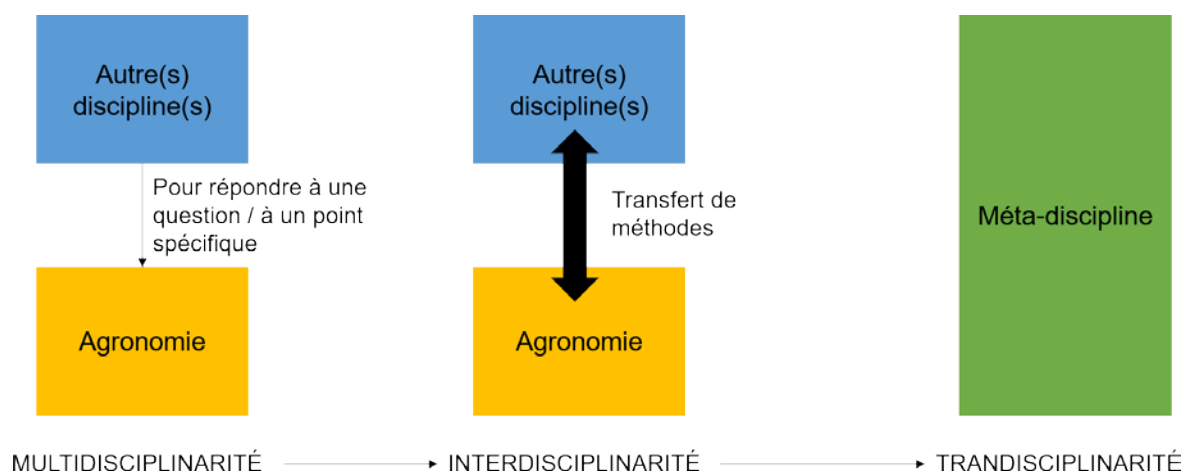


Figure 10 : Différence entre multidisciplinarité, interdisciplinarité et transdisciplinarité d'après Nicolescu (2014).

Concrètement, l'interdisciplinarité dans le cadre de la thèse a été permise par l'inscription au sein d'une équipe de recherche issue de disciplines différentes allant des sciences biotechniques aux sciences humaines et sociales (économie, physiologie végétale, sociologie, etc.). Pour autant un certain nombre de défis se sont posés quant à : (i) l'utilisation d'un langage commun (une innovation en agronomie n'est pas forcément définie de la même manière qu'en économie) (Girard *et al.* 2017) ; (ii) la frontière entre les disciplines (jusqu'où il est possible d'aller dans le cadre d'une thèse en agronomie ?) ; (iii) la chronophage d'une telle démarche et les besoins en temps de formation. Ces enjeux de compréhension mutuelle ont été mentionnés par Nicolescu (2014) lorsqu'il définit la transdisciplinarité comme étant « l'art et la manière de découvrir des ponts entre les êtres et les domaines de connaissances ». Pour Kleinpeter (2013), la création de tels ponts nécessite la création d'un langage, d'une logique et de concepts communs pour établir un véritable dialogue. Ces questionnements ont été abordés tout au long de l'exercice de thèse au sein de l'équipe pluridisciplinaire et contribuent également à la réflexion sur le rôle des chercheurs dans ces nouvelles façons d'aborder la recherche (Girard *et al.* 2017; Slimi *et al.* 2021; Paravano *et al.* 2023).

Mais, au-delà des différentes disciplines mobilisées tout au long de la thèse, les méthodes mises en place ont mobilisé des acteurs non-chercheurs pour la production de connaissances. En ce sens, les travaux révèlent de la transdisciplinarité au sens de Gibbons *et al.* (1994). Pour ce deuxième courant de pensée, la transdisciplinarité repose sur l'interface entre la science, la société et la technologie. Elle propose ainsi une approche concrète de la transdisciplinarité contrairement à Nicolescu (2011) qui la questionne du point de vue théorique (Bernstein 2015).

Les approches participatives mobilisées en agronomie sur la base des théories de design s'inscrivent dans ce courant transdisciplinaire (Girard *et al.* 2017; Prost 2021). De nouveaux enjeux sont en effet apparus pour la recherche agronomique, dans le cadre de la transition agroécologique, avec le besoin de concevoir, entre autres, des innovations agroécologiques. Dans cette optique, plusieurs défis ont été identifiés par Prost *et al.* (2023) parmi lesquels, le besoin de développer des cadres d'analyse adaptés à la diversité des enjeux locaux et globaux. La méthodologie proposée dans le cadre de la thèse, de par les multiples échelles mobilisées et sa dimension interdisciplinaire constitue un exemple pouvant contribuer à cette réflexion.

4.4. Perspectives

Les travaux conduits dans le cadre de la thèse permettent d'aboutir à la proposition de 4 grandes pistes opérationnelles pour les décideurs.

Mieux prendre en compte la diversité des producteurs de plantain dans les dispositifs de conseil et d'appui.

Les résultats mis en évidence lors de ce travail de thèse constituent une première base pouvant alimenter la réflexion des décideurs pour la mise en place de dispositifs d'appui spécifiques au plantain et notamment sur la mise en place de subventions adaptées aux stratégies des agriculteurs. Au-delà de la culture de plantain, la thèse propose des méthodes ou outils qui peuvent être mobilisées par les politiques publiques pour la prise en compte et la caractérisation des cultures orphelines et de leurs caractéristiques (surfaces réelles, localisation géographique, diversité des stratégies, etc.). Les techniques de photo-interprétation ont d'ailleurs déjà été utilisées par la DAAF pour caractériser les espaces agricoles en Guadeloupe et à Saint Martin (DAAF Guadeloupe 2015). Elle dispose donc des compétences nécessaires pour remobiliser et/ou adapter la démarche proposée dans le cadre du dernier chapitre de la thèse.

La Région Guadeloupe étant autorité de gestion pour les projets, correspondant au deuxième pilier de la Politique Agricole Commune (PAC), et la thèse étant également, en partie, financée par la Région, l'institution pourra se saisir de ces résultats pour contribuer à la réflexion lors de la construction des futurs appels à projet et surtout pour appuyer le déploiement de son Plan Stratégique pour la Transition Agroécologique de Guadeloupe (PSTAG).

Appuyer le développement de la technique du PIF

Les résultats de la thèse ont également permis de confirmer l'importance et les enjeux existants autour de la production de plants sains de plantain sur le territoire. La mise en place d'une structure de type pépinière, localement, à l'interface entre la recherche, les instituts techniques et les agriculteurs, est une voie à explorer pour l'autonomie du territoire en matériel végétal de qualité. La présence de la collection de bananiers au sein du Centre de Ressource Biologique Plantes Tropicales (CRB PT), sur le territoire, représente, dans cette optique, une réelle opportunité.

Renforcer les innovations techniques et organisationnelles développées par les producteurs

La technique du PIF, en tant qu'innovation technique, a fait l'objet d'un chapitre dans ce travail de thèse sur les aspects « écophysologie ». Pour autant, les résultats obtenus ont permis de mettre en lumière l'innovation organisationnelle sous-jacente à l'innovation technique avec l'existence d'une organisation collective entre producteurs pour s'affranchir du temps de travail nécessaire à la mise en place de la technique. A l'instar de cette dynamique, la thèse a permis de mettre en évidence l'existence de dynamiques entre les producteurs jusque-là non visibles autour du partage de connaissances, des stratégies de commercialisation, etc.

L'ensemble de ces résultats pourront alimenter des travaux de recherche que ce soit sur des aspects techniques ou organisationnels. Le CIRAD (Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) porte un certain nombre de projets FEADER (Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural) (projets RéVAI et Transversal) sur les aspects variétaux, sur la qualité et les résistances aux maladies (fusariose, cercosporiose). D'autre part, sur la base de ces projets ou d'autres, une accentuation des partenariats voire un élargissement à des partenariats nouveaux (avec des partenaires africains comme le CARBAP, l'Institut Agronomique Calédonien, etc.) seraient opportuns pour répondre à la diversité des enjeux / stratégies agrotechniques pour la production de plantain agroécologique. D'autant que les résultats mis en évidence dans le cadre de la thèse ont permis de mettre en lumière des enjeux communs.

Une réflexion est engagée sur le centre INRAE Antilles Guyane, au travers du plan Ambition Guadeloupe. Ce plan doit permettre, en lien avec les autres laboratoires INRAE, de répondre aux enjeux de la transition agroécologique au travers de trois axes. Les résultats issus de ce travail de thèse pourront être mobilisés plus particulièrement sur les axes 1 et 3 de ce programme : sur la compréhension des freins et leviers à l'adoption de pratiques agroécologiques du premier axe ; et sur la question des modalités de coexistence entre différents modèles d'exploitations agricoles à l'échelle du territoire.

Mieux tenir compte de la spécificité du régime sociotechnique plantain pour l'élaboration des aides publiques

Les deux derniers chapitres de la thèse ont mis en évidence le rôle central du système banane export Cavendish sur les dynamiques d'innovation dans les systèmes à base de plantain. Ils ont également mis en évidence la non adéquation des aides publiques existantes avec la réalité des

producteurs de plantain (coopérative défaillante, interconnexion des circuits de commercialisation, manque de disponibilité en plants sains). Les aides étaient jusque-là pensées sur la base du système banane export Cavendish. Les résultats obtenus dans le cadre de la thèse pourront alimenter la réflexion pour des aides en phase avec la réalité des producteurs permettant une meilleure inclusion des différentes stratégies.

Conclusion

Dans un contexte où peu de connaissances sont disponibles, ou alors disponibles de façon fragmentaire, l'objectif de ce travail de thèse était de proposer une démarche permettant d'accompagner les transitions agroécologiques d'une culture orpheline. L'enjeu d'une telle démarche est de faire émerger les connaissances existantes, académiques et non académiques, et produire des connaissances manquantes, pour dépasser la simple compréhension des dynamiques d'innovation et engager la transition agroécologique au-delà des verrous identifiés. L'articulation à des échelles systèmes (plante – systèmes de culture) et organisationnelles a permis d'avoir une vision systémique de la réalité.

Le premier chapitre, à l'échelle des exploitations agricoles, a permis, grâce à la mobilisation de la co-conception, de mettre en lumière la diversité des pratiques et des stratégies des producteurs de plantain en Guadeloupe mais également de mettre en évidence des trous de connaissances et des points de blocage à la transition agroécologique. Deux freins majeurs ont ainsi été identifiés déterminant les étapes suivantes de la thèse : la chronophage d'une alternative technique pour la multiplication et l'assainissement des plants de plantain (technique du PIF) et le manque de connaissance sur le rôle des réseaux d'acteurs dans l'adoption des pratiques alternatives.

Le second chapitre, à l'échelle de la plante, s'est attaché à identifier, à l'aide d'une expérimentation en conditions semi-contrôlées les facteurs environnementaux permettant d'augmenter les performances (notamment en termes de nombre de petits plants produits) de la technique du PIF. Des expérimentations conduites en parallèle ont également permis de mettre en évidence le potentiel assainissant de la technique, pour le virus BanMMV, puisqu'une partie des petits plants issus de plants mères contaminés ont été assainis.

Dans le troisième chapitre, ce sont les résultats de l'analyse des réseaux d'acteurs sous-tendant l'adoption de trois types d'alternatives agroécologiques (production de plants sains, gestion de la fertilisation et gestion de l'amendement) qui ont été discutés. Cette analyse a participé à la mise en évidence de l'existence d'un AIS (*Agricultural Innovation System*, Système d'Innovation Agricole) plantain composé de réseaux d'innovation interconnectés. Elle a également contribué à l'identification de deux types de réseaux d'acteurs : des réseaux diffus autour des pratiques liées à la modernisation écologique forte, et des réseaux centralisés (avec des acteurs issus du système dominant) autour des pratiques liées à la modernisation écologique faible. Des points de blocage à la transition agroécologique ont également été identifiés, en lien avec des fonctions non remplies par les acteurs centraux.

Le quatrième et dernier chapitre de la thèse présente les résultats d'une approche mixte dont l'objectif est de construire un système d'informations permettant de combler le manque de données sur la place des systèmes alternatifs plantain par rapport au système dominant banane export Cavendish. Cette approche s'est appuyée sur des méthodes (photo-interprétation, relevé de prix, caractérisation des circuits de commercialisation, entretiens semi-directifs) issus de disciplines variées (économie, agronomie et géomatique). Ce chapitre permet également de contribuer à la mise en évidence qu'une innovation agrotechnique, le vitroplant, issue du système dominant, peut entraîner un effacement des niches d'innovation et entraîner des verrouillages au sein du système socio-technique.

La méthodologie globale mise en œuvre dans le cadre de la thèse a révélé des résultats inattendus, notamment sur le rôle déterminant de la banane export vis-à-vis des systèmes à base de plantain en Guadeloupe. Elle fait ressortir notamment, la logique intrinsèque d'une production souvent qualifiée de déstructurée, tout en pointant son rôle potentiel pour la transition agroécologique à l'échelle du territoire. Ces résultats illustrent également les logiques de fonctionnement d'une culture orpheline qui, malgré le peu d'aides dont elle bénéficie, arrive à maintenir une production pour une alimentation territorialisée. La banane plantain représente donc une réelle opportunité pour la transition agroécologique à condition de lever un certain nombre de points de blocage au sein de l'AIS et du système sociotechnique.

Au-delà de la banane plantain en Guadeloupe, nos travaux de thèse soulignent le rôle essentiel des cultures orphelines et des niches d'innovation pour la transition agroécologique. D'un point de vue méthodologique, ils contribuent à montrer l'intérêt de conduire une réflexion à plusieurs niveaux et interdisciplinaire. Dans un contexte d'évolution de la recherche en agronomie, la thèse démontre que de telles démarches imbriquées permettent, non seulement d'agréger des connaissances existantes, académiques et non académiques mais également de concevoir les connaissances manquantes pour aller plus loin dans la transition agroécologique. Ces méthodes peuvent donc servir de véritables leviers pour répondre aux enjeux globaux auxquels la planète est confrontée.

Bibliographie Générale

- Adhikari, K., Affholder, F., Alaphilippe, A., et al (2021) Agroecological transformation for sustainable food systems : Insight on France-CGIAR research. *Les dossiers d'Agropolis International* 26:148. <https://doi.org/10.23708/fdi:010082500>
- Agreste (2020) Memento de la statistique agricole. https://daaf.guadeloupe.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/memento_2020_internet_cle4814fe.pdf. Accessed 24 Aug 2021
- Agreste (2022) Les visages de l'agriculture dans les départements d'Outre-mer - Recensement Agricole 2020. In: Direction de l'Alimentation de l'Agriculture et de la Forêt. <https://daaf.guadeloupe.agriculture.gouv.fr/ra2020-resultats-definitifs-r223.html>. Accessed 24 Aug 2022
- Akimowicz M, Del Corso J-P, Gallai N, Képhaliacos C (2022) The leader, the keeper, and the follower? A legitimacy perspective on the governance of varietal innovation systems for climate changes adaptation. The case of sunflower hybrids in France. *Agric Syst* 203:103498. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103498>
- Altieri MA (1999) The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric Ecosyst Environ* 74:19–31. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00028-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00028-6)
- Altieri MA, Nicholls CI, Henao A, Lana MA (2015) Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agron Sustain Dev* 35:869–890. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>
- Altieri MA, Toledo VM (2011) The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *Journal of Peasant Studies* 38:587–612. <https://doi.org/10.1080/03066150.2011.582947>
- Anandajayasekeram P (2022) The Role of Agricultural R&D within the Agricultural Innovation Systems Framework. In: *Innovation in Small-Farm Agriculture*, 1st edn. CRC Press, Boca Raton, pp 75–87
- Andrieu N, Blundo-Canto G, Chia E, et al (2022) Scenarios for an agroecological transition of smallholder family farmers: a case study in Guadeloupe. *Agron Sustain Dev* 42:42–95. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00828-x>
- Angeon V, Bates S (2020) Mettre en œuvre la transition agroécologique : une analyse des règles de décision dans les systèmes bananiers aux Antilles françaises. *Rev Econ Reg Urbaine* 3:503–529. <https://doi.org/10.3917/reru.203.0503>
- Angeon V, Caron A (2009) Dossier « Économie de la proximité » – Quel rôle joue la proximité dans l'émergence et la pérennité de modes de gestion durable des ressources naturelles ? *Nat Sci Soc* 17:361–372. <https://doi.org/10.1051/nss/2009065>
- Arnstein SR (1969) A Ladder Of Citizen Participation. *J Am Inst Plann* 35:216–224. <https://doi.org/10.1080/01944366908977225>
- Badouin R (1955) Les facteurs qui déterminent la conjoncture agricole. *ecoru* 25:3–12. <https://doi.org/10.3406/ecoru.1955.1124>
- Balland P, Mestres R, Fagot M (1998) Rapport sur l'évaluation des risques liés à l'utilisation des produits phytosanitaires en Guadeloupe et Martinique. Direction Générale de l'Alimentation

- Barbosa FEL, Lacerda CF de, Amorim AV, et al (2016) Production and economic viability of banana managed with cover crops. *Rev bras eng agríc ambient* 20:1078–1082. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n12p1078-1082>
- Barclay J, Wilkinson E, White CS, et al (2019) Historical Trajectories of Disaster Risk in Dominica. *Int J Disaster Risk Sci* 10:149–165. <https://doi.org/10.1007/s13753-019-0215-z>
- Barlagne C, Bazoche P, Thomas A, et al (2015) Promoting local foods in small island states: The role of information policies. *Food Policy* 57:62–72. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2015.09.003>
- Barlagne C, Diman J-L, Galan M-B, et al (2016) Foresight study: Guadeloupean agriculture in 2040 – Final execution report for the Guadeloupean Chamber of Agriculture. https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/EtudeprospectiveGuadeloupe_vf_r%C3%A9sum%C3%A9.pdf. Accessed 6 Apr 2022
- Basu S, Leeuwis C (2012) Understanding the rapid spread of System of Rice Intensification (SRI) in Andhra Pradesh: Exploring the building of support networks and media representation. *Agr Syst* 111:34–44. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.04.005>
- Batlla D, Benech-Arnold RL (2014) Weed seed germination and the light environment: Implications for weed management: Light control of weed seed germination. *Weed Biol Manag* 14:77–87. <https://doi.org/10.1111/wbm.12039>
- Bautista M. LG, Bolaños B. MM, Asakawa NM, Villegas E. B (2015) Respuesta de fitonematodos de platano Musa AAB simmonds a estrategias de manejo integrado del suelo y nutricion. *luaz* 40:69–84. <https://doi.org/10.17151/luaz.2015.40.6>
- Bellon S, Penvern S (eds) (2014) *Organic Farming, Prototype for Sustainable Agricultures: Prototype for Sustainable Agricultures*. Springer Netherlands, Dordrecht
- Belmin R, Casabianca F (2018) The key role of geographical indications in the governance of ‘terroir niches’. *Insights from three Corsican case studies*. Chania
- Belmin R, Meynard J-M, Julhia L, Casabianca F (2018) Sociotechnical controversies as warning signs for niche governance. *Agron Sustain Dev* 38:44. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0521-7>
- Bergeron A, Naud C (1995) L’humidité relative et la température. <https://www.ccq.gouv.qc.ca/index-id=171.html>. Accessed 24 Feb 2023
- Bernstein JH (2015) Transdisciplinarity: A Review of Its Origins, Development, and Current Issues. *J Res Pract* 11:21
- Berthet ET, Hickey GM, Klerkx L (2018) Opening design and innovation processes in agriculture: Insights from design and management sciences and future directions. *Agricultural Systems* 165:111–115. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.06.004>
- Berthet ETA, Barnaud C, Girard N, et al (2016) How to foster agroecological innovations? A comparison of participatory design methods. *J Environ Plan Manag* 59:280–301. <https://doi.org/10.1080/09640568.2015.1009627>
- Bezard M (2017) Caractérisation de la culture de bananes plantain en Guadeloupe : diversité des pratiques, performance écologique & référencement technico-économique. <https://hal.inrae.fr/hal-02791198/document>. Accessed 28 Jul 2019

- Bezard M, Barlagne C, Angeon V, et al (2023a) Adoption of Agroecological Innovations in Plantain Agricultural Innovation System in Guadeloupe: A Disconnect between Network Structure and Functions
- Bezard M, Barlagne C, Diman J-L, et al (2023b) Co-designing innovative plantain cropping systems to support the diversity of agroecological pathways in Guadeloupe. *Agron Sustain Dev*. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00879-8>
- Bezard M, Hammouya D, Diman J-L, Ozier Lafontaine H (2023c) La méthode du PIF : multiplication et assainissement des plants de bananiers plantains à la ferme. *NOV' AE* 9. <https://doi.org/10.17180/novae-2023-NO-art03>
- Bhaya MHM, Al-RazzaqSalim S (2019) Impacts of plant growth regulators and light quality on banane (*Musa spp*) micropropagation. *Plant Arch* 19:1379–1385
- Biabiany O, Mandonnet N, Bolo A, et al (2021) L'agriculture familiale à l'épreuve de la Covid-19 : le cas de la Guadeloupe. *etudescaribeennes*. <https://doi.org/10.4000/etudescaribeennes.21615>
- Biabiany O, Massardier G, Montouroy Y (2022) The implementation process of agriculture adaptation instruments to climate change. The invisibilization of European climate policy goals in French West Indies' banana Chain. *International Journal of Agricultural Sustainability* 1–13. <https://doi.org/10.1080/14735903.2022.2065959>
- Bilali HE, Cardone G, Rokka S, et al (2023) Orphan Crops and Sustainability Transitions in Agri-Food Systems: Towards A Multidimensional and Multilevel Transition Framework. *Bridgetown*, pp 42–57
- Blas C, Borja MJ, Saiz M, Romero J (1994) Broad Spectrum Detection of Cucumber Mosaic Virus (CMV) Using The Polymerase Chain Reaction. *J Phytopathol* 141:323–329. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.1994.tb01476.x>
- Blazquez-Soriano A, Ramos-Sandoval R (2022) Information transfer as a tool to improve the resilience of farmers against the effects of climate change: The case of the Peruvian National Agrarian Innovation System. *Agr Syst* 200:103431. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103431>
- Bora Lukando N (2013) Effets des différentes concentrations de lait de noix de Coco sur la prolifération ex-situ de Trois cultivars de Bananier de table (*Musa AAA*) à Kisangani. Université de Kisangani
- Borelli T, Hunter D, Padulosi S, et al (2020) Local Solutions for Sustainable Food Systems: The Contribution of Orphan Crops and Wild Edible Species. *Agronomy* 10:231. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020231>
- Borgatti SP, Everett MG, Johnson JC, Agneessens F (2022) *Analyzing Social Networks Using R*. SAGE
- Borgatti SP, Lopez-Kidwell V (2011) Network Theory. In: *The Sage Handbook of Social Network Analysis*, J. Scott and P. Carrington. Thousand Oaks, CA: Sage. pp 40–54
- Borgatti SP, Mehra A, Brass DJ, Labianca G (2009) Network Analysis in the Social Sciences. *Science* 323:892–895. <https://doi.org/10.1126/science.1165821>
- Boulestreau Y, Peyras C-L, Casagrande M, Navarrete M (2022) Tracking down coupled innovations supporting agroecological vegetable crop protection to foster sustainability transition of agrifood systems. *Agric Syst* 196:103354. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103354>

- Brandes U (2001) A faster algorithm for betweenness centrality*. *J Math Sociol* 25:163–177. <https://doi.org/10.1080/0022250X.2001.9990249>
- Brondízio ES, Settele J, Díaz S, Ngo HT (eds) (2019) The global assessment report of the intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), Bonn
- Cabidoche Y-M, Lesueur-Jannoyer M (2011) Pollution durable des sols par la chlordécone aux Antilles: comment la gérer? *Innov agro* 16:117–133
- Chabannes M, Baurens F-C, Duroy P-O, et al (2013) Three Infectious Viral Species Lying in Wait in the Banana Genome. *J Virol* 87:8624–8637. <https://doi.org/10.1128/JVI.00899-13>
- Chave M, Angeon V, Paut R, et al (2019) Codesigning biodiversity-based agrosystems promotes alternatives to mycorrhizal inoculants. *Agron Sustain Dev* 39:48. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0594-y>
- Chave M, Ozier-Lafontaine H, Noël Y (2012) Towards Agricultural Innovation Systems: Designing an Operational Interface. *Outlook Agric* 41:81–86. <https://doi.org/10.5367/oa.2012.0090>
- Chaves BC, Cayon CS, Jones JW (2009) Modeling plantain (*Musa AAB* Simmonds) potential yield. *Agronomia Colombiana* 27:359–366
- Chevalier C (2017) Jardins créoles en Guadeloupe: un modèle agroécologique ? https://sytra.be/wp-content/uploads/2020/05/2017_UCLouvain_FR_MSc-thesis_Creole_gardens_170601.pdf. Accessed 19 Oct 2020
- Chizallet M, Prost L, Barcellini F (2020) Supporting the design activity of farmers in transition to agroecology: Towards an understanding. *Trav Hum Vol.* 83:33–59. <https://doi.org/10.3917/th.831.0033>
- Côte F, Tomekpe K, Staver C, et al (2010) Agro-ecological intensification in banana and plantain (*Musa* spp.): An approach to develop more sustainable cropping systems for both smallholders famers and large-scale commercial producers. *Acta Hort* 879:457–463. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.879.50>
- CTIFL (2019) Diagramme de la distribution 2018 - Schéma de la Filière Fruits et Légumes Frais
- DAAF (2019) Mémento de la statistique agricole Guadeloupe
- DAAF (2022) Marché Gourde-Liane. <https://daaf.guadeloupe.agriculture.gouv.fr/marche-gourde-liane-r151.html>
- DAAF Guadeloupe (2015) Délimitation et caractérisation des espaces agricoles en Guadeloupe et à Saint Martin. Guadeloupe
- de Boon A, Sandström C, Rose DC (2022) Governing agricultural innovation: A comprehensive framework to underpin sustainable transitions. *J Rural Stud* 89:407–422. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.07.019>
- Deane VL (2023) The French Case for Climate Justice in the Caribbean
- Deffontaines L, Mottes C, Della Rossa P, et al (2020) How farmers learn to change their weed management practices: Simple changes lead to system redesign in the French West Indies. *Agric Syst* 179:102769. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102769>

- Delcombel E (2005) Organisation de l'action collective et rôle de la puissance publique pour le développement de l'agriculture guadeloupéenne. Les difficultés du modèle coopératif et de la concertation entre acteurs. Université des Antilles
- Della Rossa P, Le Bail M, Mottes C, et al (2020) Innovations developed within supply chains hinder territorial ecological transition: the case of a watershed in Martinique. *Agron Sustain Dev* 40:10. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0613-z>
- Delone B (2014) Alternatives agro-écologiques à l'usage des intrants chimiques dans les bananeraies plantain. Le cas de 2 régions de la Caraïbe: Guadeloupe et Haïti. <https://hal.inrae.fr/tel-02801753/document>. Accessed 18 Mar 2021
- Dépigny S, Damour G (2022) Trait-based description of the agronomic and usage potential of a range of plantain varieties from Cameroon. *Ex Agric* 58:e53. <https://doi.org/10.1017/S0014479722000503>
- Dépigny S, Delrieu Wils E, Tixier P, et al (2019) Plantain productivity: Insights from Cameroonian cropping systems. *Agr Syst* 168:1–10. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.10.001>
- Dépigny S, Tchotang F, Talla M, et al (2018) The 'Plantain-Optim' dataset: Agronomic traits of 405 plantains every 15 days from planting to harvest. *Data Brief* 17:671–680. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.01.065>
- Deytieux V, Vivier C, Minette S, et al (2012) Expérimentation de systèmes de culture innovants: avancées méthodologiques et mise en réseau opérationnelle. *Innov agro* 20:49–78
- Dibi KEB, Kouakou AM, Camara B, et al (2016) Inventaire des méthodes de production de semenceaux d'igname (*Dioscorea* spp) : une revue de la littérature. *J Anim Plant Sci* 29:19
- Doloreux D, Bitard P (2005) Les systèmes régionaux d'innovation : discussion critique. *Géographie, économie, société* 7:21–36. <https://doi.org/10.3166/ges.7.21-36>
- Dorel M, Tixier P, Dural D, Zanoletti S (2011) Alternatives aux intrants chimiques en culture bananière. *Innovations Agronomiques* 16:
- Douwe Van Der Ploeg J (2010) The peasantries of the twenty-first century: the commoditisation debate revisited. *The Journal of Peasant Studies* 37:1–30. <https://doi.org/10.1080/03066150903498721>
- Dupuy S, Gaetano R, Le Mézo L (2020) Mapping land cover on Reunion Island in 2017 using satellite imagery and geospatial ground data. *Data in Brief* 28:104934. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104934>
- Duru M, Fares M, Therond O (2014) A conceptual framework for thinking now (and organising tomorrow) the agroecological transition at the level of the territory. *Cah Agric* 23:84–95. <https://doi.org/10.1684/agr.2014.0691>
- Duru M, Therond O, Fares M (2015a) Designing agroecological transitions; A review. *Agron Sustain Dev* 35:1237–1257. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0318-x>
- Duru M, Therond O, Martin G, et al (2015b) How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agron Sustain Dev* 35:1259–1281. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1>

- Etienne M, Du Toit DR, Pollard S (2011) ARDI: A Co-construction Method for Participatory Modeling in Natural Resources Management. *E&S* 16:art44. <https://doi.org/10.5751/ES-03748-160144>
- European Food Safety Authority (EFSA) (2008) Pest risk assessment made by France on Banana mild mosaic virus (BanMMV) considered by France as harmful in French overseas departments of French Guiana, Guadeloupe, Martinique and Réunion - Scientific Opinion of the Panel on Plant Health. *EFS2* 6:. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2008.652>
- Fanchone A, Alexandre G, Chia E, et al (2020) A typology to understand the diversity of strategies of implementation of agroecological practices in the French West Indies. *Eur J Agron* 117:9. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126058>
- FAO (2023) FAOSTAT
- Fares M, Magrini M-B, Triboulet P (2012) Agroecological transition, innovation and lock-in effects: The impact of the organizational design of supply chains. *Cahiers Agricultures* 21:34–45. <https://doi.org/10.1684/agr.2012.0539>
- Faure G, Chiffolleau Y, Goulet F, et al (2018) Renouveler les regards sur l'innovation dans les systèmes agricoles et alimentaires. In: *Innovation et développement dans les systèmes agricoles et alimentaires*, Quae. pp 3–16
- Fieldsend AF, Varga E, Biró S, et al (2022) Multi-actor co-innovation partnerships in agriculture, forestry and related sectors in Europe: Contrasting approaches to implementation. *Agric Syst* 202:103472. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103472>
- Fielke SJ, Botha N, Reid J, et al (2018) Lessons for co-innovation in agricultural innovation systems: a multiple case study analysis and a conceptual model. *J Agric Educ Ext* 24:9–27. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2017.1394885>
- Foissac X, Svanella-Dumas L, Gentit P, et al (2005) Polyvalent Degenerate Oligonucleotides Reverse Transcription-Polymerase Chain Reaction: A Polyvalent Detection and Characterization Tool for Trichoviruses, Capilloviruses, and Foveaviruses. *Phytopathology* 95:617–625. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-95-0617>
- Forite C (2011) Diagnostic agroécologique de plantations de bananes plantain en Guadeloupe. <https://hal.inrae.fr/hal-03179662/document>. Accessed 24 Jul 2019
- Fouda A, Melikyan Z (2011) A simplified model for analysis of heat and mass transfer in a direct evaporative cooler. *Appl Therm Eng* 31:932–936. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.11.016>
- Fréguin-Gresh S, Angeon V, Cortès G (2020) Les petites agricultures familiales en Guadeloupe : une contribution à l'ancrage de l'alimentation ? <https://hal.inrae.fr/hal-03528033/document>. Accessed 27 Jan 2021
- Gayral P, Noa-Carrazana J-C, Lescot M, et al (2008) A Single Banana Streak Virus Integration Event in the Banana Genome as the Origin of Infectious Endogenous Pararetrovirus. *J Virol* 82:6697–6710. <https://doi.org/10.1128/JVI.00212-08>
- Geels FW (2002) Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Res Policy* 31:1257–1274. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8)

- Geels FW, Schot J (2007) Typology of sociotechnical transition pathways. *Res Policy* 36:399–417. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.003>
- Geilfus F (2008) 80 Tools for participatory development. <http://repiica.iica.int/docs/B1013I/B1013I.pdf>. Accessed 12 Oct 2022
- George EF, Hall MA, Klerk G-J de (2008) *Plant propagation by tissue culture*, Springer. Springer, Dordrecht
- Gibbons M, Nowotny C, Nowotny H, et al (1994) *The New Production of Knowledge. The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*. SAGE, London
- Giller KE, Leeuwis C, Andersson JA, et al (2008) Competing Claims on Natural Resources: What Role for Science? *E&S* 13:art34. <https://doi.org/10.5751/ES-02595-130234>
- Girard N, Goulet F, Jankowski F, et al (2017) Produire des connaissances pour et sur la transformation des systèmes agricoles. *Retours sur une école-chercheurs interdisciplinaire. Nat Sci Soc* 25:276–284. <https://doi.org/10.1051/nss/2017055>
- Giroux S, Kaminski P, Waldman K, et al (2023) Smallholder social networks: Advice seeking and adaptation in rural Kenya. *Agric Syst* 205:103574. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103574>
- Gliessman S (2016) Transforming food systems with agroecology. *Agroecol Sust Food* 40:187–189. <https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1130765>
- Godard E (2000) Pesticides et alimentation en eau potable en Martinique : état des lieux et besoins d'études complémentaires, Direction départementale des affaires sanitaires et sociales de la Martinique. Martinique
- Godin B (2015) *Innovation Contested*. Routledge
- Gold CS, Pena JE, Karamura EB (2001) Biology and integrated pest management for the banana weevil *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Coleoptera: Curculionidae). *J Integr Pest Manag* 6:79–155. <https://doi.org/10.1023/A:1023330900707>
- Graziano da Silva J (2018) Agroecology can help change the world's food production for the better. Calls for transformative change at 2nd International Agroecology Symposium in Rome
- Guillou M, Guyomard H, Huyghe C, et al (2013) Vers des agricultures doublement performantes pour concilier compétitivité et respect de l'environnement. 163
- Haegeman A, Elsen A, De Waele D, Gheysen G (2010) Emerging molecular knowledge on *Radopholus similis*, an important nematode pest of banana. *Mol Plant Pathol* 11:315–323. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2010.00614.x>
- Hall A, Janssen W, Pehu E, Rajalahti R (2006) *Enhancing Agricultural Innovation. How to go beyond the strengthening of research systems*. The World Bank, 1818 H Street NW Washington DC 20433
- Hansson H, Ferguson R, Olofsson C, Rantamäki-Lahtinen L (2013) Farmers' motives for diversifying their farm business – The influence of family. *J Rural Stud* 32:240–250. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2013.07.002>
- Harvard M, Alaphilippe A, Deytieux V, et al (2017) Guide expérimentateur système: concevoir, conduire et valoriser une expérimentation “système” pour les cultures assolées et pérennes. <https://hal.inrae.fr/hal->

- 02791737/file/2017_Guide_experimentateur_systeme_Havard_et_al_version_numerique1_1.pdf. Accessed 28 Jul 2019
- Hasanuzzaman SM, Islam MK, Alim MA, et al (2023) Effect of Bulb Sizes and Varieties on Growth, Yield and Quality of Onion Seeds. *SFNA* 4:11–19. <https://doi.org/10.26480/sfna.01.2023.11.19>
- Hatchuel A, Weil B (2009) C-K design theory: an advanced formulation. *Res Eng Design* 19:181–192. <https://doi.org/10.1007/s00163-008-0043-4>
- Hekkert MP, Suurs RAA, Negro SO, Kuhlmann S (2007) Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technol Forecast Soc* 20. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2006.03.002>
- Hermans F, Sartas M, van Schagen B, et al (2017) Social network analysis of multi-stakeholder platforms in agricultural research for development: Opportunities and constraints for innovation and scaling. *PLoS ONE* 12:e0169634. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169634>
- Hermans F, Stuijver M, Beers PJ, Kok K (2013) The distribution of roles and functions for upscaling and outscaling innovations in agricultural innovation systems. *Agric Syst* 115:117–128. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2012.09.006>
- Hill SB (1985) Redesigning the Food System for Sustainability. *Alternatives* 12:32–36
- Hill SB, MacRae RJ (1996) Conceptual Framework for the Transition from Conventional to Sustainable Agriculture. *J Sustain Agric* 7:81–87. https://doi.org/10.1300/J064v07n01_07
- Hogan B, Carrasco JA, Wellman B (2007) Visualizing Personal Networks: Working with Participant-aided Sociograms. *Field Methods* 19:116–144. <https://doi.org/10.1177/1525822X06298589>
- Horlings LG, Marsden TK (2011) Towards the real green revolution? Exploring the conceptual dimensions of a new ecological modernisation of agriculture that could ‘feed the world.’ *Glob Environ Change* 21:441–452. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.01.004>
- Hornum ST, Bolwig S (2021) A functional analysis of the role of input suppliers in an agricultural innovation system: The case of small-scale irrigation in Kenya. *Agric Syst* 193:103219. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2021.103219>
- IEDOM (2021) Rapport annuel économique Guadeloupe 2020. <https://www.iedom.fr/guadeloupe/>. Accessed 8 Oct 2021
- Ingram J (2018) Agricultural transition: Niche and regime knowledge systems’ boundary dynamics. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 26:117–135. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2017.05.001>
- IPCC (2023) Synthesis report of the IPCC Sixth Assessment Report. IPCC
- Iskra-Caruana M, Galzi S, Laboureau N (2008) A reliable IC One-step RT-PCR method for the detection of BBrMV to ensure safe exchange of Musa germplasm. *J Virol Methods* 153:223–231. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2008.06.028>
- Iyabano A, Klerkx L, Leeuwis C (2023) Why and how do farmers’ organizations get involved in the promotion of agroecological techniques? Insights from Burkina Faso. *Agroecol Sustain Food Syst* 47:493–519. <https://doi.org/10.1080/21683565.2023.2164881>

- Jackson DL, Walker JRL, McWha JA (1985) The use of light-emitting diodes (LEDs) as green and red/far-red light sources in plant physiology. *J Biol Educ* 19:79–82.
<https://doi.org/10.1080/00219266.1985.9654691>
- Jackson JC, Gordon A, Wizzard G, et al (2004) Changes in chemical composition of coconut(*Cocos nucifera*) water during maturation of the fruit. *J Sci Food Agric* 84:1049–1052.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.1783>
- Jeuffroy M-H, Loyce C, Lefeuvre T, et al (2022) Design workshops for innovative cropping systems and decision-support tools: Learning from 12 case studies. *Eur J Agron* 139:13.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126573>
- Johnson JC (1990) *Selecting ethnographic informants*. Sage Publications, Inc.
- Kabirigi M, Abbasiharofteh M, Sun Z, Hermans F (2022) The importance of proximity dimensions in agricultural knowledge and innovation systems: The case of banana disease management in Rwanda. *Agric Syst* 202:103465. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103465>
- Kamara LI, Dorward P, Lalani B, Wauters E (2019) Unpacking the drivers behind the use of the Agricultural Innovation Systems (AIS) approach: The case of rice research and extension professionals in Sierra Leone. *Agric Syst* 176:102673.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102673>
- Kapadia C, Patel N (2021) Sequential Sterilization of Banana (*Musa Spp.*) Sucker Tip Reducing Microbial Contamination With Highest Establishment Percentage. *Bangladesh J Bot* 50:1151–1158. <https://doi.org/10.3329/bjb.v50i4.57083>
- Kermarrec A (1980) Niveau actuel de la contamination des chaînes biologiques en Guadeloupe: pesticides et métaux lourds : 1979-1980. INRA, Guadeloupe
- Kesavan V, Hill T, Morris G (2002) The effect of plant spacing on growth, cycling time and yield of bananas in subtropical western Australia. *Acta Hort* 575:851–857.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.575.101>
- Kivimaa P, Kern F (2016) Creative destruction or mere niche support? Innovation policy mixes for sustainability transitions. *Research Policy* 45:205–217.
<https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.09.008>
- Kleinpeter É (2013) Taxinomie critique de l'interdisciplinarité. *Hermès* n° 67:123.
<https://doi.org/10.4267/2042/51898>
- Klerkx L, Aarts N, Leeuwis C (2010) Adaptive management in agricultural innovation systems: The interactions between innovation networks and their environment. *Agric Syst* 103:390–400.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.03.012>
- Klerkx L, Begemann S (2020) Supporting food systems transformation: The what, why, who, where and how of mission-oriented agricultural innovation systems. *Agric Syst* 184:102901.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102901>
- Klerkx L, Leeuwis C (2009) Establishment and embedding of innovation brokers at different innovation system levels: Insights from the Dutch agricultural sector. *Technol Forecast Soc Change* 76:849–860. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2008.10.001>
- Klerkx L, van Mierlo B, Leeuwis C (2012) Evolution of systems approaches to agricultural innovation: concepts, analysis and interventions. In: Darnhofer I, Gibbon D, Dedieu B (eds)

- Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 457–483
- Kpoha JN, Akokponhour HB, Orekan V, N'Guessan BVH (2023) Contribution de la télédétection et d'un SIG à la cartographie des unités de l'occupation du sol et ses changements face au problème d'inondation sur le plateau d'Allada au Bénin entre 1986-2020. *IJISR* 65:164–177
- Kwa M (2003) Activation de bourgeons latents et utilisation de fragments de tige du bananier pour la propagation en masse de plants en conditions horticoles *in vivo*. *Fruits* 58:315–328. <https://doi.org/10.1051/fruits:2003018>
- Kwa M, Temple L (2019) *Le bananier plantain*. Quae, CTA, Presses agronomiques de Gembloux, Wageningen (The Netherlands), Versailles (France), Gembloux (Belgium)
- Lacotte V (2018) Effet de spectres lumineux émis par éclairage LED sur la production de jeunes plants horticoles en environnement contrôlé. Université d'Angers
- Lamprinopoulou C, Renwick A, Klerkx L, et al (2014) Application of an integrated systemic framework for analysing agricultural innovation systems and informing innovation policies: Comparing the Dutch and Scottish agrifood sectors. *Agric Syst* 129:40–54. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2014.05.001>
- Lassoudière A (2007) *Le bananier et sa culture*. Quae, Versailles, France
- Le Gal P-Y, Dugué P, Faure G, Novak S (2011) How does research address the design of innovative agricultural production systems at the farm level? A review. *Agric Syst* 104:714–728. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2011.07.007>
- Le Goff M (2017) *Techniques d'analyse de contenu appliquées à l'imagerie spatiale*. Université de Toulouse
- Le Masson P, Weil B, Hatchuel A (2006) *Les processus d'innovation, conception innovante et croissance des entreprises*, Hermès Lavoisier. Paris
- Le Provost G, Iskra-Caruana M-L, Acina I, Teycheney P-Y (2006) Improved detection of episomal Banana streak viruses by multiplex immunocapture PCR. *J Virol Methods* 137:7–13. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2006.05.021>
- Leeuwis C, Aarts N (2011) Rethinking Communication in Innovation Processes: Creating Space for Change in Complex Systems. *J Agric Educ Ext* 17:21–36. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2011.536344>
- Loranger-Merciris G (2023) Management practices and incidence of pests in plantain (*Musa paradisiaca* AAB) crops. Consequences on the sustainability of the cropping systems. *Applied Soil Ecology*
- Loranger-Merciris G, Ozier-Lafontaine H, Diman J-L, et al (2022) Fast improvement of macrofauna communities and soil quality in plantain crops converted to agroecological practices. *Pedobiologia* 93–94:150823. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2022.150823>
- Lucien Brun M (2014) *Des Petites Régions Agricoles au Zonage AgroEcologique : conception et construction d'un découpage spatial aux Antilles françaises*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01601511/document>. Accessed 28 Jul 2019
- Lundvall B (2007) National Innovation Systems—Analytical Concept and Development Tool. *Industry and Innovation* 14:95–119. <https://doi.org/10.1080/13662710601130863>

- Ma Z, Ge L, Lee ASY, et al (2008) Simultaneous analysis of different classes of phytohormones in coconut (*Cocos nucifera* L.) water using high-performance liquid chromatography and liquid chromatography–tandem mass spectrometry after solid-phase extraction. 8. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.01.045>
- Madre J-F (2013) Mesurim Pro
- Maggiori E (2017) Learning approaches for large-scale remote sensing image classification. Sophia Antipolis-Méditerranée
- Malassis L (1963) Prix agricoles et planification. *ecoru* 56:3–8. <https://doi.org/10.3406/ecoru.1963.1756>
- Mansoor S, Qazi J, Amin I, et al (2005) A PCR-Based Method, With Internal Control, for the Detection of Banana Bunchy Top Virus in Banana. *Mol Biotechnol* 30:167–170. <https://doi.org/10.1385/MB:30:2:167>
- Mantran M, Lucien-Brun M, Angeon V (2017) Le zonage agroécologique aux Antilles françaises: un outil de définition du potentiel agricole et d'aide à la décision en matière d'amélioration des choix de production. <https://hal.science/hal-01525376/document#:~:text=Guadeloupe%20et%20de%20la%20Martinique,agriculteurs%20selon%20la%20zone%20agro%20C3%A9cologique.&text=Fran%20C3%A7aises%20et%20apport%20e%20une%20plus,du%20monde%20cit%20C3%A9s%20plus%20haut>. Accessed 19 Apr 2022
- Martha Marina Bolaños Benavides, Bautista Montealegre LG, Andrés Cardona W, et al (2020) Plátano (*Musa AAB*) - Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca. [http://investigacion.bogota.unal.edu.co/visibilidad/publicaciones/manuales-derivado-2/platano-musa-aab-manual-de-recomendaciones-tecnicas-para-su-cultivo-en-el-departamento-de-cundinamarca/#:~:text=Pl%C3%A1tano%20\(Musa%20AAB\)%20Manual%20de,de%20Cundi namarca%20Investigaci%C3%B3n%20UN%20Bogot%C3%A1&text=El%20pl%C3%A1tano%20es%20una%20planta,el%20arroz%20y%20el%20trigo](http://investigacion.bogota.unal.edu.co/visibilidad/publicaciones/manuales-derivado-2/platano-musa-aab-manual-de-recomendaciones-tecnicas-para-su-cultivo-en-el-departamento-de-cundinamarca/#:~:text=Pl%C3%A1tano%20(Musa%20AAB)%20Manual%20de,de%20Cundi namarca%20Investigaci%C3%B3n%20UN%20Bogot%C3%A1&text=El%20pl%C3%A1tano%20es%20una%20planta,el%20arroz%20y%20el%20trigo). Accessed 20 Oct 2022
- Martin G, Martin-Clouaire R, Duru M (2013) Farming system design to feed the changing world. A review. *Agron Sustain Dev* 33:131–149. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0075-4>
- Marzin J, Fréguin-Gresh S, Angeon V, et al (2021) Étude sur les freins et leviers à l'autosuffisance alimentaire : vers de nouveaux modèles agricoles dans les départements et régions d'outre-mer. CIRAD, AFD
- Mathevet R, Etienne M, Lynam T, Calvet C (2011) Water Management in the Camargue Biosphere Reserve: Insights from Comparative Mental Models Analysis. *E&S* 16:art43. <https://doi.org/10.5751/ES-04007-160143>
- Mboula LS (2014) Ecophysiology of dwarf plantain in hybrids in peri-urban areas of Cameroon. Université catholique de Louvain
- Mekonnen DK, Yimam S, Arega T, et al (2022) Relatives, neighbors, or friends: Information exchanges among irrigators on new on-farm water management tools. *Agric Syst* 203:103492. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2022.103492>
- Méndez VE, Bacon CM, Cohen R (2013) Agroecology as a Transdisciplinary, Participatory, and Action-Oriented Approach. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 37:3–18. <https://doi.org/10.1080/10440046.2012.736926>

- Mendez VE, Bacon CM, Cohen R, Gliessman SR (2015) *Agroecology. A Transdisciplinary, Participatory and Action-oriented Approach*. CRC Press 1st edition:284.
<https://doi.org/10.1201/b19500>
- Mettananda SkA, Fordham Sr (1999) The effects of plant size and leaf number on the bulbing of tropical short-day onion cultivars (*Allium cepa* L.) under controlled environments in the United Kingdom and tropical field conditions in Sri Lanka. *J Hortic Sci Biotechnol* 74:622–631. <https://doi.org/10.1080/14620316.1999.11511164>
- Meuriot V, Darques R, Lacquement G, et al (2015) *Propos introductifs : Interdisciplinarité et logique du tiers inclus*
- Meynard J-M, Charrier F, Fares M, et al (2018) Socio-technical lock-in hinders crop diversification in France. *Agron Sustain Dev* 38:54. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0535-1>
- Meynard J-M, Dedieu B, Bos AP (2012) Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices. In: Darnhofer I, Gibbon D, Dedieu B (eds) *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 407–432
- Meynard J-M, Jeuffroy M-H, Le Bail M, et al (2017) Designing coupled innovations for the sustainability transition of agrifood systems. *Agricultural Systems* 157:330–339.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.08.002>
- Mier M, Cacho TG, Giraldo OF, et al (2018) Bringing agroecology to scale: key drivers and emblematic cases. *Agroecol Sustain Food Syst* 42:637–665.
<https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1443313>
- Minh TT (2019) Unpacking the systemic problems and blocking mechanisms of a regional agricultural innovation system: An integrated regional-functional-structural analysis. *Agricultural Systems* 173:268–280. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.009>
- Ministère de l’Agriculture et de l’Alimentation (2020) *Recensement Agricole 2020*
- Mitchell RK, Agle BR, Wood DJ (1997) Toward a Theory of Stakeholder Identification and Salience: Defining the Principle of Who and What Really Counts. 22:35
- Monono EY, Ngale JE, Dopgima LL, Njukang AP (2018) Use of Palm Male Inflorescence and River-Sand as Acclimatization Substrate for Plantain (*Musa* sp.) Cultivars. *Biotechnol J Int* 21:1–10.
<https://doi.org/10.9734/BJI/2018/43879>
- Montenegro de Wit M, Iles A (2016) Toward thick legitimacy: Creating a web of legitimacy for agroecology. *Elementa* 4:24. <https://doi.org/10.12952/journal.elementa.000115>
- Morin R (2019) *Analyse de l’évolution des systèmes de culture à base de bananier plantain en Guadeloupe et co-conception vers une expérimentation système*. ISTOM, Angers
- Moulaert F, Sekia F (2003) Territorial Innovation Models: A Critical Survey. *Regional Studies* 37:289–302. <https://doi.org/10.1080/0034340032000065442>
- Moussa AD, Zakari S, Djouga M, et al (2023) Diversité floristique et structure de la végétation ligneuse de la forêt classée des Trois Rivières’’ et sa périphérie au Nord-Est du Bénin: Floristic diversity and structure of woody vegetation in the forest reserve of Trois Rivières’’ and its periphery in northeast Benin. *JGST* 4:1–21. <https://doi.org/10.54222/afriagist/jgst/v4i1.1>

- Mukwa Fama Tongo L (2016) Les virus du bananier et plantain (*Musa spp.*) en République démocratique du Congo : occurrence, identification de nouveaux virus et diversité génétique. Université catholique de Louvain
- Munzel U, Hothorn LA (2001) A Unified Approach to Simultaneous Rank Test Procedures in the Unbalanced One-way Layout. *Biom J* 43:553–569. [https://doi.org/10.1002/1521-4036\(200109\)43:5<553::AID-BIMJ553>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/1521-4036(200109)43:5<553::AID-BIMJ553>3.0.CO;2-N)
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, et al (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Nasib A, Ali K, Khan S (2008) An optimized and improved method for the In vitro propagation of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) using coconut water. *Pak J Bot* 40:7
- Nicholls C, Altieri M, Vasquez L (2016) Agroecology: Principles for the Conversion and Redesign of Farming Systems. *J Ecosyst Ecogr* 01:8. <https://doi.org/10.4172/2157-7625.S5-010>
- Nicholls CI, Altieri MA (2018) Pathways for the amplification of agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 42:1170–1193. <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1499578>
- Nicolescu B (2014) Methodology of Transdisciplinarity. *World Futures* 70:186–199. <https://doi.org/10.1080/02604027.2014.934631>
- Nicolescu B (2011) De l'interdisciplinarité à la transdisciplinarité : fondation méthodologique du dialogue entre les sciences humaines et les sciences exactes. *NPSS* 7:89–103. <https://doi.org/10.7202/1007083ar>
- Notenbaert AMO, Douxchamps S, Villegas DM, et al (2021) Tapping Into the Environmental Co-benefits of Improved Tropical Forages for an Agroecological Transformation of Livestock Production Systems. *Front Sustain Food Syst* 5:742842. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.742842>
- OECD (2013) *Agricultural Innovation Systems: A Framework for Analysing the Role of the Government*. OECD
- Ogisma A (2011) Diagnostic agri-environnemental en exploitations de banane plantain en Guadeloupe : logiques décisionnelles, performances productives et agro écologiques des pratiques associées. <https://hal.inrae.fr/hal-03179682/document>. Accessed 28 Jul 2019
- Olumba C, Onunka C (2020) Banana and plantain in West Africa: Production and marketing. *African J Food, Agric Nutr Dev* 20:15474–15489. <https://doi.org/10.18697/ajfand.90.18365>
- Ozier Lafontaine H, Boval M, Alexandre GG, et al (2011) Vers l'émergence de nouveaux systèmes agricoles durables pour la satisfaction des besoins alimentaires aux Antilles-Guyane. 135–152
- Ozier Lafontaine H, Joachim R, Bastié J-P, Grammont A (2018) De l'agroécologie à la Bioéconomie: Des alternatives pour la modernisation du système agricole et alimentaire des outre-mer - Note d'orientation sur les agricultures des Outre-Mer. <https://www.academie-agriculture.fr/publications/publications-academie/avis/rapport-de-lagroecologie-la-bioeconomie-des-alternatives>. Accessed 28 Sep 2020
- Paravano L, Petit M-S, Reau R, Prost L (2023) Etre agronome dans un contexte de transition agroécologique. *AE&S* 12:11. <https://doi.org/10.54800/sft965>
- Parker C, Scott S, Geddes A (2019) Snowball Sampling. *SAGE* 14. <http://dx.doi.org/10.4135/>

- Paul J, Sierra J, Causeret F, et al (2017) Factors affecting the adoption of compost use by farmers in small tropical Caribbean islands. *J Clean Prod* 142:1387–1396. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.168>
- Pegg KG, Coates LM, O’Neill WT, Turner DW (2019) The Epidemiology of Fusarium Wilt of Banana. *Front Plant Sci* 10:1395. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01395>
- Polge E (2015) Développement et gouvernance des territoires ruraux. Une analyse des dynamiques d’interaction dans deux dispositifs institutionnels en Amazonie brésilienne. AgroParisTech
- Pourrat S (2022) Influence de la lumière rouge sur la méthode de multiplication végétative et d’assainissement PIF (Plants Issus de Fragment de tige) pour le bananier plantain en Guadeloupe. AgroParisTech
- Prell C, Hubacek K, Reed M (2009) Stakeholder Analysis and Social Network Analysis in Natural Resource Management. *Soc Nat Resour* 22:501–518. <https://doi.org/10.1080/08941920802199202>
- Prost L (2021) Revitalizing agricultural sciences with design sciences. *Agricultural Systems* 193:103225. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103225>
- Prost L, Martin G, Ballot R, et al (2023) Key research challenges to supporting farm transitions to agroecology in advanced economies. A review. *Agron Sustain Dev* 43:11. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00855-8>
- QGIS Geographic Information System (2022) QGIS.org
- QSR International Pty Ltd (2020) NVivo
- R Core Team (2022) R: A language and environment for statistical computing
- Ragozini G, Vitale MP (eds) (2020) *Challenges in Social Network Research: Methods and Applications*. Springer International Publishing, Cham
- Rajalahti R, Janssen W, Pehu E (2008) *Agricultural Innovation Systems: From Diagnostics toward Operational Practices*. The World Bank 105
- Ramírez-Gómez CJ, Velasquez JR, Aguilar-Avila J (2020) Trust networks and innovation dynamics of small farmers in Colombia: An approach from territorial system of agricultural innovation. *Rev Fac Cienc Agrar* 52:253–266
- Ramzan F, Younis A, Riaz A, et al (2014) Pre-planting exogenous application of gibberellic acid influences sprouting, vegetative growth, flowering, and subsequent bulb characteristics of ‘Ad-Rem’ tulip. *Hortic Environ Biotechnol* 55:479–488. <https://doi.org/10.1007/s13580-014-0113-7>
- Rasse C, Andrieu N, Diman J-L, et al (2018) Utilisation de pratiques agroécologiques et performances de la petite agriculture familiale : le cas de la Guadeloupe. *Cah Agric* 27:55002. <https://doi.org/10.1051/cagri/2018032>
- Reed MS, Graves A, Dandy N, et al (2009) Who’s in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management. *J Environ Manage* 90:1933–1949. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.01.001>
- Regional Council (2020) Plan stratégique régional pour une transition agroécologique

- Rhino B, Dorel M, Tixier P, Risède J-M (2010) Effect of fallows on population dynamics of *Cosmopolites sordidus* : toward integrated management of banana fields with pheromone mass trapping. *Agric For Entomol* 12:195–202. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2009.00468.x>
- Rip A, Kemp R (1998) Technological changes. In: S. Rayner, & E.L. Malone (Eds). Battelle Press, pp 327–399
- Risède J-M, Achard R, Brat P, et al (2018) La transition agro-écologique des systèmes de culture de bananes Cavendish aux Antilles françaises. In: La transition agro-écologique des agricultures du Sud, Quae. Versailles, France, pp 149–179
- RITA Guadeloupe (2019) Bilan d'activité - Intensecoplantain
- Rosset PM, Martínez-Torres ME (2012) Rural Social Movements and Agroecology: Context, Theory, and Process. *E&S* 17:art17. <https://doi.org/10.5751/ES-05000-170317>
- Sadom L, Tomekpé K, Folliot M, Côte F-X (2010) Comparaison de l'efficacité de deux méthodes de multiplication rapide de plants de bananier à partir de l'étude des caractéristiques agronomiques d'un hybride de bananier plantain (*Musa* spp.). *Fruits* 65:3–9. <https://doi.org/10.1051/fruits/2009036>
- Salembier C, Segrestin B, Berthet E, et al (2018) Genealogy of design reasoning in agronomy: Lessons for supporting the design of agricultural systems. *Agricultural Systems* 164:277–290. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2018.05.005>
- Salembier C, Segrestin B, Sinoir N, et al (2020) Design of equipment for agroecology: Coupled innovation processes led by farmer-designers. *Agricultural Systems* 183:102856. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.102856>
- Scherschel L (2017) Les variétés de banane plantain et autres bananes à cuire en Guadeloupe : identification et critères de choix par les producteurs. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03805680>. Accessed 28 Jul 2019
- Schut M, Klerkx L, Rodenburg J, et al (2015) RAAIS: Rapid Appraisal of Agricultural Innovation Systems (Part I). A diagnostic tool for integrated analysis of complex problems and innovation capacity. *Agric Syst* 132:1–11. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2014.08.009>
- Schutter OD, Vanloqueren G (2011) The New Green Revolution: How Twenty-First-Century Science Can Feed the World. *Solutions* 2:11
- Shapura I, Lasseur J (2023) Caractérisation des Surfaces Pastorales en Région PACA par SIG et Télédétection: Questions de Méthodes et Premiers Résultats. *RFPT* 225:9–22. <https://doi.org/10.52638/rfpt.2023.427>
- Sierra J, Desfontaines L (2018) Les sols de la Guadeloupe Genèse, distribution & propriétés. <https://hal.inrae.fr/hal-02789600/document#:~:text=La%20formation%20et%20la%20distribution,processus%20g%C3%A9ologiques%20caract%C3%A9ristiques%20des%20Antilles>. Accessed 12 May 2021
- Skaalsveen K, Ingram J, Urquhart J (2020) The role of farmers' social networks in the implementation of no-till farming practices. *Agric Syst* 181:102824. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.102824>
- Slimi C, Prost M, Cerf M, Prost L (2021) Naviguer dans les situations de travail pour les transformer dans un contexte de transition agroécologique. In: 1ère session Symposium CCDD. ARPEGE, Visioconférence, pp 30–35

- Spielman DJ, Davis K, Negash M, Ayele G (2011) Rural innovation systems and networks: findings from a study of Ethiopian smallholders. *Agric Hum Values* 28:195–212. <https://doi.org/10.1007/s10460-010-9273-y>
- Spielman DJ, Ekboir J, Davis K (2009) The art and science of innovation systems inquiry: Applications to Sub-Saharan African agriculture. *Technol Soc* 31:399–405. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2009.10.004>
- Stark F, Fanchone A, Semjen I, et al (2016) Crop-livestock integration, from single practice to global functioning in the tropics: Case studies in Guadeloupe. *Eur J Agron* 80:9–20. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.06.004>
- Stræte EP, Vik J, Fuglestad EM, et al (2022) Critical support for different stages of innovation in agriculture: What, when, how? *Agric Syst* 203:103526. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103526>
- Sutherland L-A, Burton RJF, Ingram J, et al (2012) Triggering change: Towards a conceptualisation of major change processes in farm decision-making. *J Environ Manage* 104:142–151. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.03.013>
- Sutherland L-A, Labarthe P (2022) Introducing ‘microAKIS’: a farmer-centric approach to understanding the contribution of advice to agricultural innovation. *J Agric Educ Ext* 28:525–547. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2022.2121903>
- Tarsiguel L, Dorey E, Dorel M, Andrieu N (2023) Alternative practices to pesticide use in the Guadeloupe banana belt: Do biophysical constraints limit agroecological transitions? *Agric Syst* 210:103710. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103710>
- Teycheney P-Y, Acina I, Lockhart BEL, Candresse T (2007) Detection of Banana mild mosaic virus and Banana virus X by polyvalent degenerate oligonucleotide RT-PCR (PDO-RT-PCR). *J Virol Methods* 142:41–49. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2007.01.004>
- Thénard V, Martel G, Choisis J-P, et al (2021) How access and dynamics in the use of territorial resources shape agroecological transitions in crop-livestock systems: Learnings and perspectives. In: *Agroecological transitions, between determinist and open-ended visions*. Peter Lang, Bruxelles, Bern, Berlin, New York, Oxford, Wien, pp 200–224
- Tittonell P (2019) Agroecological transitions: multiple scales, levels and challenges. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 16
- Toffolini Q, Hannachi M, Capitaine M, Cerf M (2023) Ideal-types of experimentation practices in agricultural Living Labs: Various appropriations of an open innovation model. *Agric Syst* 208:103661. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103661>
- Toffolini Q, Jeuffroy M-H, Meynard J-M, et al (2020) Design as a source of renewal in the production of scientific knowledge in crop science. *Agricultural Systems* 185:102939. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102939>
- Toilier A, Guillonnet R, Bucciarelli M, Hawkins R (2020) Developing capacities for agricultural innovation systems: lessons from implementing a common framework in eight countries. *Agrinatura and FAO*
- Tomekpe K, Kwa M, Dzomeku BM, Ganry J (2011) CARBAP and innovation on the plantain banana in Western and Central Africa. *Int J Agric Sustain* 9:264–273. <https://doi.org/10.3763/ijas.2010.0565>

- Torres-Avila A, Aguilar-Ávila J, Santoyo-Cortés VH, et al (2022) Innovation in the pineapple value chain in Mexico: Explaining the global adoption process of the MD-2 hybrid. *Agric Syst* 198:103386. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103386>
- Touzard J-M, Temple L, Faure G, Triomphe B (2014) Systèmes d'innovation et communautés de connaissances dans le secteur agricole et agroalimentaire. *Innovations* 43:13. <https://doi.org/10.3917/inno.043.0013>
- Touzard J-M, Temple L, Faure G, Triomphe B (2015) Innovation systems and knowledge communities in the agriculture and agrifood sector: a literature review: *IJIMES* n°17:117–142. <https://doi.org/10.3917/jie.017.0117>
- Tropical Agricultural Platform (2016) Common Framework on Capacity Development for Agricultural Innovation Systems: Synthesis Document. CAB International, Wallingford, UK
- Tubaro P, Ryan L, D'angelo A (2016) The Visual Sociogram in Qualitative and Mixed-Methods Research. *Sociological Research Online* 21:180–197. <https://doi.org/10.5153/sro.3864>
- Turner DW, Fortescue JA, Ocimati W, Blomme G (2016) Plantain cultivars (*Musa* spp. AAB) grown at different altitudes demonstrate cool temperature and photoperiod responses relevant to genetic improvement. *Field Crops Res* 194:103–111. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.02.006>
- Turner DW, Fortescue JA, Thomas DS (2007) Environmental physiology of the bananas (*Musa* spp.). *Braz J Plant Physiol* 19:463–484. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400013>
- Umber M, Pichaut J-P, Farinas B, et al (2016) Marker-assisted breeding of *Musa balbisiana* genitors devoid of infectious endogenous Banana streak virus sequences. *Mol Breeding* 36:74. <https://doi.org/10.1007/s11032-016-0493-8>
- Umber M, Pressat G, Fort G, et al (2022) Risk Assessment of Infectious Endogenous Banana Streak Viruses in Guadeloupe. *Front Plant Sci* 13:951285. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.951285>
- Valiorgue B (2020) Refonder l'agriculture à l'heure de l'anthropocène, Le bord de l'eau. Lormont
- Van Der Ploeg JD, Barjolle D, Bruil J, et al (2019) The economic potential of agroecology: Empirical evidence from Europe. *J Rural Stud* 71:46–61. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.09.003>
- Van Hulst F (2016) Creating capabilities for sustainable smallholder agriculture. University of Greenwich
- Voora V, Bermudez S, Farrell JJ, et al (2023) Global Market Report: Banana prices and sustainability. International Institute for Sustainable Development and State of Sustainability Initiatives
- Weyori AE, Amare M, Garming H, Waibel H (2018) Agricultural innovation systems and farm technology adoption: findings from a study of the Ghanaian plantain sector. *J Agric Educ Ext* 24:65–87. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2017.1386115>
- Wezel A, Bellon S, Doré T, et al (2009) Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agron Sustain Dev* 29:503–515. <https://doi.org/10.1051/agro/2009004>
- Wezel A, Brives H, Casagrande M, et al (2016) Agroecology territories: places for sustainable agricultural and food systems and biodiversity conservation. *Agroecol Sustain Food Syst* 40:132–144. <https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1115799>

- Wezel A, Herren BG, Kerr RB, et al (2020) Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. *Agron Sustain Dev* 40:40. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z>
- Wieczorek AJ, Hekkert MP (2012) Systemic instruments for systemic innovation problems: A framework for policy makers and innovation scholars. *Science and Public Policy* 39:74–87. <https://doi.org/10.1093/scipol/scr008>
- World Bank (2012) *Agricultural Innovation Systems. An investment sourcebook*. International Bank for Reconstruction and Development / International Development Association or, Washington DC 20433
- Yan A, Chen Z (2020) The Control of Seed Dormancy and Germination by Temperature, Light and Nitrate. *Bot Rev* 86:39–75. <https://doi.org/10.1007/s12229-020-09220-4>
- Yong JW, Ge L, Ng YF, Tan SN (2009) The Chemical Composition and Biological Properties of Coconut (*Cocos nucifera* L.) Water. *Molecules* 14:5144–5164. <https://doi.org/10.3390/molecules14125144>
- Youmbi E, Nanga Jean Philipps Fonkam, Ngaha D, et al (2005) Comportement de vitroplants de bananiers plantains issus de bourgeons axillaires et apicaux au cours de l’acclimatation et en champ. *Fruits* 60:91–100. <https://doi.org/10.1051/fruits:2005019>
- Zébus M-F (1999) Paysannerie et économie de plantation. Le cas de la Guadeloupe, 1848-1980. In: *Ruralia*. <https://journals.openedition.org/ruralia/110>. Accessed 24 Aug 2021

Annexes

Annexe 1 : La méthode du PIF : multiplication et assainissement des plants de bananiers plantain à la ferme

La méthode du PIF : multiplication et assainissement des plants de bananiers plantains à la ferme

Marie Bezard¹
David Hammouya¹
Jean-Louis Diman¹
Harry Ozier Lafontaine²

Correspondance
marie.bezard@inrae.fr

Résumé.

Dans un contexte de transition agroécologique où les produits de synthèse sont de plus en plus limités et décriés, les mesures prophylactiques sont présentées comme une voie à explorer. Aux Antilles françaises, la société civile, particulièrement marquée par le scandale du chlordécone, un insecticide utilisé par le passé pour lutter contre les charançons du bananier, enjoint les acteurs du monde agricole à trouver des solutions plus agroécologiques. Parmi ces dernières, la méthode du PIF, « Plants Issus de Fragment de tige », développée au Cameroun pour faire face au manque de plants sains de bananiers plantains, a montré des résultats particulièrement intéressants. L'unité expérimentale PEYI du centre INRAE Antilles-Guyane a adapté cette méthode aux conditions guadeloupéennes, dans le cadre du projet IntensEcoPlantain en 2019 et 2020 ; l'objectif était de permettre aux producteurs de multiplier et d'assainir des plants de bananiers plantains à la ferme, en autonomie, avec des pratiques agroécologiques. Plus de trois ans après le début du projet, la méthode a été adaptée aux conditions du territoire, permettant une multiplication jusqu'à 20 fois du nombre de petits plants pour un coût de revient inférieur à 1,60 € par plant. Des ateliers ont eu lieu pour diffuser la méthode auprès des agriculteurs, et plusieurs d'entre eux l'ont désormais adoptée.

Mots-clés

Bananier plantain, multiplication végétative, prophylaxie, agroécologie.

1 INRAE, UE PEYI, 97170 Petit Bourg, Guadeloupe, France.

2 INRAE, UR ASTRO, 97170 Petit Bourg, Guadeloupe, France.

The seedling from stem fragment (PIF) method: cultivation and sanitation of plantain at the farm scale

Marie Bezard¹
David Hammouya¹
Jean-Louis Diman¹
Harry Ozier Lafontaine²

Correspondence
marie.bezard@inrae.fr

Abstract.

In the context of agroecological transition in which synthetic products are increasingly limited and criticized, prophylactic measures are presented as a path of investigation. In the French West Indies, civil society, particularly marked by the scandal of chlordecone, an insecticide used in the past to control banana weevils, is urging actors in the agricultural sector to find more agroecological solutions. Among them, the PIF (Plants Issus de Fragment de tige or 'Seedling resulting from stem fragment' in English) method was developed in Cameroon to address the lack of healthy plantain seedlings and has shown particularly interesting results. The PEYI experimental unit of the INRAE Antilles-Guyane center adapted this method to Guadeloupean conditions, as part of the IntensEcoPlantain project in 2019 and 2020, to enable producers to multiply and sanitize plantain plants on the farm scale autonomously using agroecological practices. More than three years after the beginning of the project, the method has been adapted to the conditions of the territory, allowing the multiplication of up to 20 times of the number of small plants for a cost of less than €1.60 per plant. Workshops were organised to disseminate the method to farmers and several of them have now adopted it.

Keywords

Plantain tree, vegetative propagation, prophylaxis, agroecology.

¹ INRAE, UE PEYI, 97170 Petit Bourg, Guadeloupe, France.

² INRAE, UR ASTRO, 97170 Petit Bourg, Guadeloupe, France.

UNE MÉTHODE PROPHYLACTIQUE...

ÉTAPE 1 : ASSAINISSEMENT

BANANES = fruit de la banane
PIF = l'élémentaire en: MÉRIQUE DU SUD AFRIQUE SUB-SAHARIENNE CAMBODGES

BANANIER:
 ↳ plante herbacée géante
 ↳ à reproduction végétative



PARASITISME TELLURIQUE
 (Chlorovirus, nématodes,...)

méthode PIF
 = lutte préventive avec la production de plants **SAINS**

à partir d'une tige ou d'un bout de

1 **PRÉLEVEMENT** du RESTE

2 **NETTOYAGE MÉCANIQUE**

3 **NETTOYAGE CHIMIQUE "PRALINAGE"**

"PARAKE à BLANC" Emboué les racines et toutes parties néo-cisées

5 min
 produit de base accessible à tous d'apports à 2%

5 min
 produit de base accessible à tous d'apports à 2%

5 min
 produit de base accessible à tous d'apports à 2%

ANTISEPTIQUE
INSECTICIDE
FONGICIDE

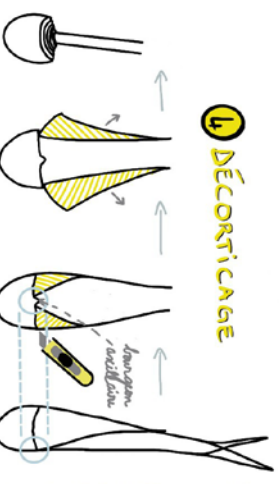
SÉCHAGE DES PLANTS PENDANT 24H

ÉTAPE 3: MISE EN GERMOIR ET PRÉLÈVEMENT

* **PLANTS** ISSUS DE **FRAGMENTS** DE TIGES produire des plants **SAINS** de **BANANE PLANTAIN** à l'échelle d'une forme

ÉTAPE 2: MULTIPLICATION

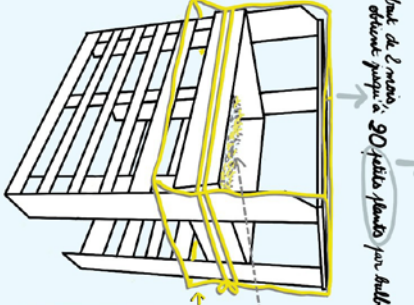
1 **DÉCORTICAGE**



5 **INACTIVATION** DU MÉTASTÈME APICAL

injection dans forme d'échelle pour permettre la levée de bourgeons secondaires

GERMOIR: offre des conditions écologiques de culture et d'humidité comme une petite serre



CONSTRUIRE À PARTIR DE MATÉRIEL DE RÉCUPÉRATION
 CÔÛT MAXIMAL DE PRODUCTION DE UN PLANT < 1,60€

au bout de 8 mois, on obtient jusqu'à 30 petits plants par boîte

PRÉLÈVEMENT à l'application des racines



Auteur de l'article original : Marie Bézard, INRAE, UE PEY1, 97170 Petit Bourg, France – Note dessinée par Virginie Lelièvre, INRAE, UAR AGROECOSYSTEM, France

Introduction

Les bananes ont une importance capitale pour l'alimentation mondiale. Dans les pays occidentaux, ce sont surtout des bananes dites « dessert » qui sont commercialisées sur les étals. Ces bananes sont, pour la majorité, des Cavendish, le cultivar le plus exporté au monde. En second lieu, les bananes à cuire, parmi lesquelles la banane plantain, sont centrales pour l'alimentation de nombreux foyers, notamment en Amérique du Sud, en Afrique sub-saharienne et dans la Caraïbe, en particulier aux Antilles françaises (Fréguin-Gresh et al., 2020 ; Kwa & Temple, 2019).

Les bananiers plantains, à l'instar des autres bananiers, font face à deux types de parasitisme. Le parasitisme tellurique et le parasitisme aérien. En Guadeloupe et en Martinique, ce dernier est surtout lié à un champignon, *Mycosphaerella fijiensis*, responsable de la cercosporiose noire. Dans les systèmes intensifs destinés à l'exportation, certains producteurs utilisent des fongicides, mais, dans un contexte de transition agroécologique où les produits de synthèse sont de plus en plus onéreux et décriés, les agriculteurs privilégient une gestion mécanique du champignon grâce à l'effeuillage. Le parasitisme tellurique est, quant à lui, majoritairement causé par le nématode, *Radopholus similis*, un ver microscopique, et le charançon, *Cosmopolites sordidus*, un coléoptère rendu tristement célèbre par le scandale du chlordécone. Ce pesticide organochloré est responsable d'une pollution durable des sols et des eaux des Antilles Françaises, en raison de la rémanence de la molécule. Aucun produit de synthèse n'étant désormais autorisé, les seules options possibles sont prophylactiques. L'enjeu est de taille puisque le parasitisme tellurique est responsable de baisses sensibles de rendement, compromettant la pérennité des plantations (Gold et al., 2001). En Guadeloupe, les plantations de bananiers plantains excèdent rarement deux ans, entraînant des contraintes financières non négligeables pour les agriculteurs, liées aux coûts de replantation. Une des voies prophylactiques à explorer est l'utilisation de plants sains. L'option qui garantit le minimum de risque sanitaire est le recours aux vitroplants (Sadom et al., 2010). Ces plants, produits en laboratoire dans l'hexagone, sont onéreux (Olumba & Onunka, 2020) et ne sont pas toujours disponibles dans les territoires ultramarins. Localement, deux options sont explorées par les producteurs : i) le nettoyage des plants avant de les replanter, à l'aide d'un outil (nettoyage mécanique) qui peut être complété par

des bains utilisant des produits ménagers et, ii) la méthode du PIF, pour Plants Issus de Fragment de tige, une technique de multiplication et d'assainissement développée au Cameroun par le Centre Africain de Recherches sur Bananiers et Plantains (CARBAP). Les chercheurs ont mis en évidence que, lorsque les bonnes pratiques étaient respectées (substrat sain par exemple), les risques sanitaires étaient minimisés (Tomekpe et al., 2011). Dans un contexte de transition agroécologique où l'ancrage territorial et l'adaptation des pratiques à chaque réalité sont essentiels (Duru et al., 2015 ; Thénard

et al., 2021), l'adaptation de la méthode du PIF aux Antilles françaises a été nécessaire pour permettre aux producteurs de banane plantain de limiter leurs dépenses et de gagner en autonomie. L'unité expérimentale PEYI du centre INRAE Antilles Guyane a adapté cette méthode aux conditions gaudeloupéennes, en 2019 et 2020, dans le cadre du projet IntensEcoPlantain, financé par l'Union Européenne. Cet article décrit la méthode adaptée et précise le coût de revient (par plant) associé. Un retour des agriculteurs sur la méthode est également présenté.

Les 3 étapes du PIF : assainissement, multiplication et mise en germe des plants

La méthode du PIF s'appuie sur la capacité de reproduction végétative des bananiers et se déroule en 3 étapes : une première étape dite d'« assainissement », une seconde de « multiplication », enfin l'étape de mise en germe et prélèvement. Toutes les étapes peuvent être réalisées à l'échelle d'une exploitation agricole avec du matériel très simple.

Idéalement, le plant utilisé pour la méthode est un rejet au stade baïonnette. À ce stade, les rejets n'ont pas de feuilles développées, le plant est jeune et dispose d'abondantes réserves nutritives.

Étape 1 : L'assainissement

Cette première étape se décline en plusieurs sous étapes dans le protocole développé par le Centre INRAE Antilles Guyane. Elles ont été pensées pour être en accord avec le cahier des charges de l'agriculture biologique, mais peuvent être modulées en fonction des ressources disponibles ; cela est notamment vrai pour les étapes de nettoyage « chimique », qui nécessitent, dans ce protocole, l'utilisation d'un produit de biocontrôle relativement onéreux (cf. partie Validation sur le terrain).

La première étape d'assainissement se déroule en deux temps avec un nettoyage « mécanique » suivi d'un nettoyage

« chimique ». Le nettoyage mécanique, aussi appelé « parage à blanc », consiste à enlever les racines et parties nécrosées. L'objectif est d'avoir un bulbe blanc. Une fois le parage terminé, une étape de nettoyage « chimique », ou pralinage, est mise en place à l'aide de deux bains successifs de 5 minutes chacun. Le premier avec de l'eau de javel ménagère

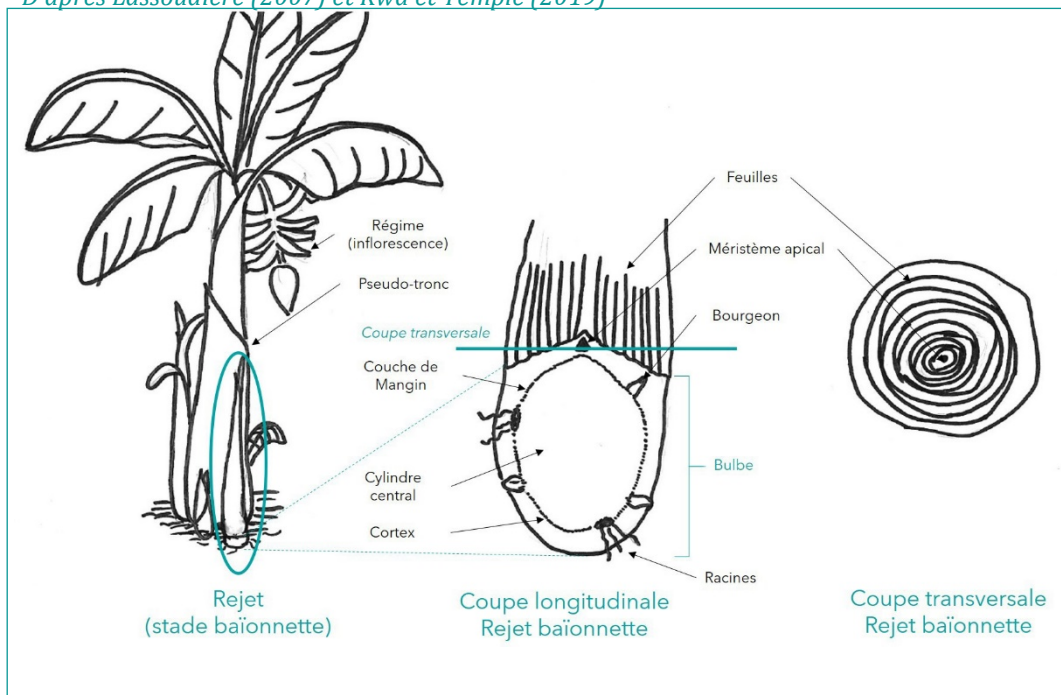
diluée à 4 % pour un effet antiseptique, puis un second, avec un mélange de savon noir, comme insecticide, à 2 % et un produit de biocontrôle commercial (Limocide®, Vivagro), à base d'huiles essentielles d'agrumes, à la fois fongicide et insecticide, autorisé en agriculture biologique, également à 2 %. Une fois l'étape d'assainissement achevée, les plants sont mis à sécher durant 24 heures environ.

Le bananier : une herbacée géante à la reproduction végétative

Le bananier est une plante herbacée géante. Les bananiers utilisés pour la production alimentaire ont été sélectionnés pour leur capacité à produire des fruits parthénocarpiques, autrement dit sans graines. Ces bananiers se reproduisent donc de manière végétative à partir de leur tige souterraine ou bulbe, d'où émergent les plants de la génération suivante, appelés rejets. Le méristème apical est situé à l'apex du bulbe et c'est à partir de ce méristème que les feuilles émergent, suivies des fleurs, lors de la phase de reproduction. Les feuilles imbriquées les unes dans les autres constituent le pseudo-tronc, et l'inflorescence remonte tout le pseudo-tronc avant de sortir et de donner le régime de bananes.

Une coupe transversale d'un rejet permet d'identifier le méristème apical, la zone d'insertion des feuilles et la couche de Mangin située à l'interface entre le cortex et le cylindre central, d'où émergent les racines ainsi que des bourgeons secondaires. Le méristème apical est également visible en coupe transversale sous forme d'un petit point au milieu des cercles formés par les feuilles imbriquées.

D'après Lassoudière (2007) et Kwa et Temple (2019)



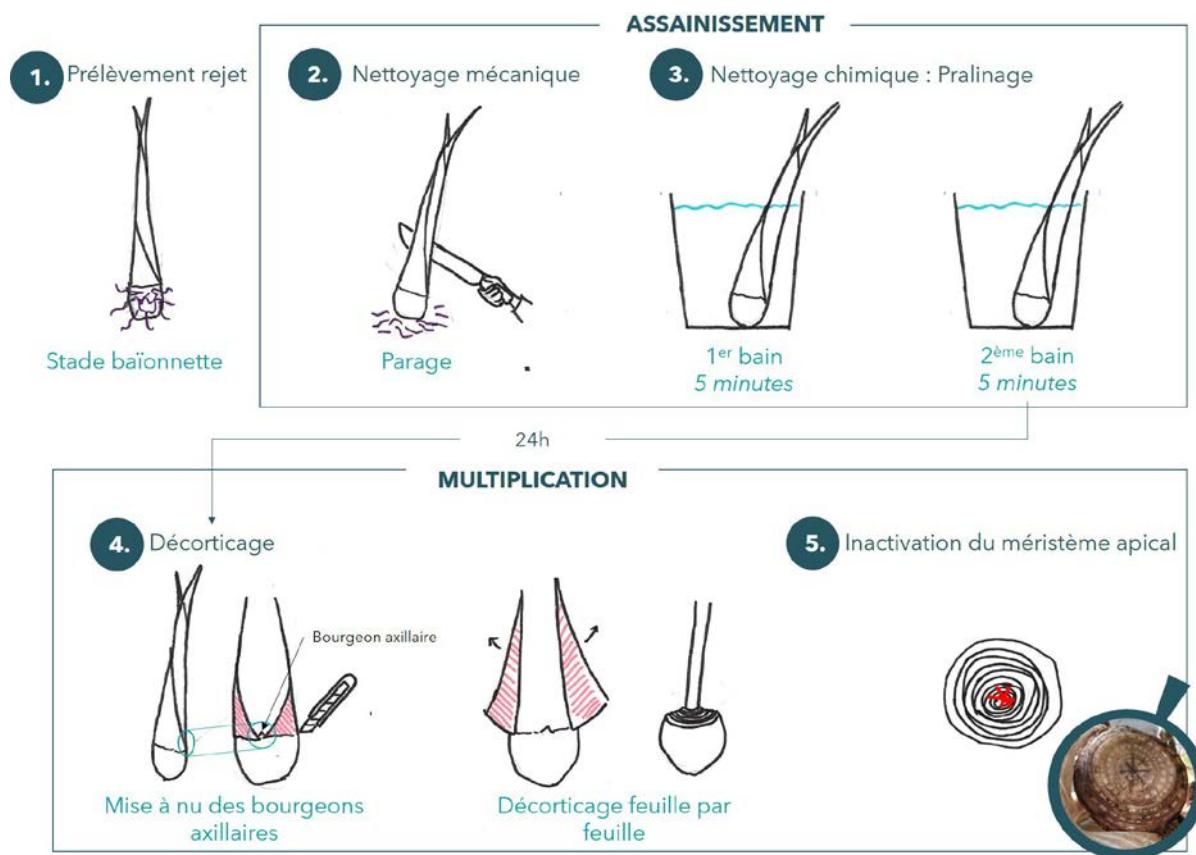


Figure 1. Méthode du Plant Issus de Fragment de tige (PIF). La méthode du PIF permet d'assainir (étapes 2 et 3) et de multiplier (étapes 4 et 5) des plants de bananiers plantain

plants émergent.

Étape 2 : la multiplication

La deuxième étape de multiplication consiste à inactiver la dominance liée au méristème apical pour permettre la levée des bourgeons secondaires et donc d'obtenir plusieurs petits plants au lieu d'un seul. Dans un premier temps, les bourgeons secondaires sont mis à nu. Pour cela, une incision est faite juste au-dessus de la ligne d'insertion de la feuille, délicatement, afin de retirer une seule feuille à la fois et éviter d'abîmer les autres bourgeons. En effet, les feuilles qui constituent le pseudo-tronc sont imbriquées entre elles de manière concentrique et forment un V, au niveau duquel se situe un bourgeon secondaire. Les feuilles sont ainsi retirées successivement tant que les bourgeons sont visibles, puis les feuilles restantes sont coupées transversalement. Une fois les feuilles retirées, au centre de l'imbrication des feuilles un petit point correspondant au méristème apical devient visible. La dernière étape consiste à inactiver ce méristème en pratiquant une incision, à l'aide d'un cutter ou d'un couteau, sous forme d'étoile, à quelques millimètres de profondeur.

Une fois les bulbes préparés, ils sont prêts à être disposés dans un germeoir, le temps que les petits

Étape 3 : mise en germe et prélèvement

L'objectif du germe est d'offrir des conditions stables, en termes de chaleur et d'humidité, comme une petite serre. Ce germe peut être construit à partir de matériaux de récupération, telles que des palettes et des planches de coffrage pour moins de 60€¹.

Le germe est rempli avec un substrat qui doit maintenir l'humidité sans pour autant retenir l'eau. Des copeaux de bois non traités, de type litière pour animaux, sont particulièrement appropriés. L'arrosage doit être fait de façon régulière (2 à 3 fois par semaine) pour que le substrat reste bien humide. Dans ces

conditions, il est possible d'obtenir une vingtaine de petits plants par bulbe, au bout de deux mois environ. Il est également possible de procéder à une réactivation. Cette réactivation consiste à couper un petit plant qui émerge et à pratiquer une nouvelle incision pour inactiver son méristème apical afin de forcer la levée de nouveaux petits plants.

Les petits plants sont prélevés lorsque des racines apparaissent et sont alors mis dans des pots avec du terreau. Les petits plants sont maintenus en pot pendant au moins un mois, le temps qu'ils soient suffisamment robustes, avant mise en parcelle.

¹ <http://transfaire.antilles.inra.fr/spip.php?article261>



Figure 2. Germeoirs et plants issus de la méthode PIF. Des germeoirs peuvent être construits à partir de matériaux de récupération (photo de gauche). L'objectif est d'obtenir une 'mini' serre permettant de maintenir la température et l'humidité.

Coût de revient de la méthode PIF

L'enjeu de la production de plants de bananes plantains par la méthode du PIF est de pouvoir produire à moindre coût des plants sains sur les exploitations agricoles. Les produits utilisés dans le protocole développé par INRAE sont tous issus de l'importation afin de répondre aux normes de l'agriculture biologique européenne ; toutefois, certains producteurs ont déjà décliné le protocole avec des ressources locales : copeaux issus des scieries de l'archipel, utilisation de décoction de plantes pour les bains, de compost issu de l'exploitation pour l'empotage, de pots recyclés, etc.

Le coût maximal de production d'un plant issu de la méthode PIF, en utilisant les produits conformes au cahier des charges « agriculture biologique » ainsi que des pots neufs et du terreau commercial, est inférieur à 1,60 €. Ce qui est bien au-dessous du coût des plants importés, vendus à près de 3 € pièce.

En termes de temps de travail, la préparation de 20 bulbes nécessite environ 2 heures pour la première étape d'assainissement (parage et pralinage) et 2 heures pour l'étape de multiplication.

Validation sur le terrain : retour d'expérience des agriculteurs

Plusieurs ateliers ont eu lieu avec des agriculteurs du territoire, pendant et après l'expérimentation menée sur le centre INRAE Antilles Guyane. Des agriculteurs ont adopté la méthode et certains d'entre eux ont fait un retour d'expérience auprès de l'unité expérimentale. Ces retours ont permis de mettre en lumière deux limites : (i) le coût du

produit de biocontrôle, choisi dans le protocole INRAE pour sa compatibilité avec le cahier des charges de l'agriculture biologique, et

(ii) le temps nécessaire pour la mise en place de la méthode. Sur le terrain, aucun des agriculteurs ayant fait un retour d'ex-

Tableau 1. Coût de production des plants de bananier plantain avec la méthode du PIF.

Pour 20 bulbes	Coût Unitaire*	Quantité	Coût
Javel	1 €	1	1 €
Savon noir	7 €	0,5	3,5 €
Produit de biocontrôle	32 €	0,5	16 €
Copeaux de bois	12 €	0,5	6 €
Total			26,5 €
Total par bulbe			1,33 €
Coût par plant			0,07 €
Terreau	18 €	2	36 €
Pot	1,5 €	400	600 €
Total			636 €
Total par bulbe			31,8 €
Coût par plant			1,59 €

Les coûts de production ont été calculés avec un protocole qui permet d'utiliser les plants en agriculture biologique et avec des taux de réussite optimaux (20 plants par bulbe).

*Prix indicatif

périence n'avait acheté le produit de biocontrôle. Par contre, plusieurs producteurs ont adapté l'étape d'assainissement en faisant des purins à base de plantes locales ou en supprimant l'étape avec le produit de biocontrôle. Concernant le temps nécessaire à la mise en place de la méthode, plusieurs stra-

tégies ont également été mises en place par les producteurs pour contourner ce point de blocage. Certains producteurs ont adopté cette méthode de façon ponctuelle, pour l'implantation d'une nouvelle parcelle de banane plantain, lorsqu'il n'y avait pas suffisamment de plants disponibles sur les autres parcelles de la ferme (les replantations successives étant assurées avec des plants issus de l'exploitation, leur quantité étant devenue suffisante). Un autre groupe d'agriculteur a adopté la stratégie d'une organisation collective, ce qui leur permet de produire collectivement, et depuis plusieurs années, des plants issus de cette méthode.

Conclusion

L'objectif du projet IntensEcoPlantain était d'adapter la méthode du PIF au contexte Guadeloupéen afin de permettre aux agriculteurs de produire des plants de bananier plantain, à la ferme, à un coût inférieur à celui des plants importés et de façon agroécologique.

Plus de trois ans après le début du projet, la méthode a été adaptée aux conditions du territoire, permettant une multiplication jusqu'à 20 fois du nombre de petits plants pour un coût de revient inférieur à 1,60 € par plant. Des ateliers ont eu lieu pour diffuser la méthode auprès des agriculteurs et plusieurs d'entre eux l'ont désormais adoptée.

Pour autant, la mise en place de la méthode nécessite un certain investissement en temps de travail comme mentionné précédemment. De plus, les conditions idéales n'étant pas parfaitement connues, les bulbes ne donnent pas toutes forcément 20 plants. Par ailleurs, cette technique génère un stress pour la plante, et plusieurs chercheurs ont pointé

du doigt le risque d'activation virale. En effet, les bananiers hébergent un certain nombre de virus présents de manière endogène dans leur génome, qui peuvent être activés sous l'effet d'un stress.

Une expérimentation est actuellement en cours en Guadeloupe pour (i) optimiser la méthode, en caractérisant les paramètres optimaux en termes de température, de rayonnement et d'hormones, et (ii) apporter des premières données sur le risque d'activation virale. Les premiers résultats laissent à penser que la méthode PIF aurait un effet assainissant et ne susciterait pas d'activation virale. Des suivis à plus grande échelle seront conduits pour confirmer ces premiers résultats. ¶

En savoir plus...

RITA Guadeloupe (2021) Innovations pour le développement de la banane plantain. Guadeloupe. Repéré à <https://www.youtube.com/watch?v=lkaUzLWpxzQ>

Remerciements

La déclinaison de la méthode PIF en Guadeloupe a été financée par l'Union Européenne dans le cadre du projet IntensEcoPlantain (CR-FEADER-1420-DCEP-1456 RITA2-Domaine Végétal).

Références

Duru, M., Therond, O., Martin, G., Martin-Clouaire, R., Magne, M.-A., Justes, E., Sarthou, J. P. (2015). How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1259-1281. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1>

Fréguin-Gresh, S., Angeon, V., & Cortès, G. (2020). Les petites agricultures familiales en Guadeloupe : une contribution à l'ancrage de l'alimentation. Résumé exécutif de l'Atelier professionnel du master EDEV 2019-2020. Montpellier : CIRAD, Université Paul Valéry Montpellier 3, 44 p.

Gold, C. S., Pena, J. E., & Karamura, E. B. (2001). Biology and integrated pest management for the banana weevil *Cosmopolites sordidus* (Germer) (Coleoptera: Curculionidae). *Integrated Pest Management Reviews*, 6, 79-155. <https://doi.org/10.1023/A:1023330900707>

Kwa, M., & Temple, L. (2019). Le bananier plantain. Wageningen (The Netherlands), Versailles (France), Gembloux (Belgium) : Quae, CTA, Presses agronomiques de Gembloux. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-2680-1>

Lassoudière, A. (2007). Le bananier et sa culture. Versailles, France : Quae. 383 p.

Olumba, C., & Onunka, C. (2020). Banana and plantain in West Africa: Production and marketing. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 20(02), 15474-15489. <https://doi.org/10.18697/ajfand.90.18365>

Sadom, L., Tomekpé, K., Folliot, M., & Côte, F.-X. (2010). Comparaison de l'efficacité de deux méthodes de multiplication rapide de plants de bananier à partir de l'étude des caractéristiques agronomiques d'un hybride de bananier plantain (*Musa* spp.). *Fruits*, 65(1), 3-9. <https://doi.org/10.1051/fruits/2009036>

Thénard, V., Martel, G., Choisis, J.-P., Petit, T., Couvreur, S., Fontaine, O., & Moraine, M. (2021). How access and dynamics in the use of territorial resources shape agroecological transitions in crop-livestock systems: Learnings and perspectives. Dans *Agroecological transitions, between determinist and open-ended visions* (Vol. 37, pp. 200-224). Bruxelles, Bern, Berlin, New York, Oxford, Wien : Peter Lang.

Tomekpe, K., Kwa, M., Dzomeku, B. M., & Ganry, J. (2011). CARBAP and innovation on the plantain banana in Western and Central Africa. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 9(1), 264-273. <https://doi.org/10.3763/ijas.2010.0565>



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-SA).
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.

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 « NOV'AE », la date de sa publication et

Annexe 2 : Proceedings OFE 2021

System experiment as a way to test innovative agroecological cropping system adapted to the farmers' diversity

M. Bezard¹, C. Barlagne², J-L. Diman¹, V. Angeon³, N. Andrieu⁴, H. Ozier-Lafontaine⁵

¹ UE PEYI, Centre Antilles Guyane, INRAE, Guadeloupe, France

² Social, Economics and Geographical Sciences Group, The James Hutton Institute, Aberdeen, Scotland

³ UR Ecodéveloppement, Centre de Recherches Provence-Alpes-Côte d'Azur, INRAE, Avignon, France

⁴ UMR Innovation, CIRAD, Guadeloupe, France

⁵ UR ASTRO, Centre Antilles Guyane, INRAE, Guadeloupe, France

marie.bezard@inrae.fr



e-presentation

Abstract

*Our research focused on a system experiment on a research station but we wondered about the possibilities of applying our system experimentation approach on real farms. Our work is a reflection on a food crop (*Musa paradisiaca*) in a tropical island context (Guadeloupe) and it also brings a reflection on the place of ICTs in the framework of the agroecological transition.*

Introduction

Small islands in the Caribbean are already impacted by climate change (IPCC, 2021). It is very likely that most small islands have warmed up with impacts on sea level and coastal flooding (IPCC, 2021). As in other parts of the world, agroecology is presented as a sustainable way to address climate change in the Caribbean (Guillou et al., 2013; Graziano da Silva, 2018). In Guadeloupe, a French overseas department located in the Caribbean, agriculture is dominated by export crops which leads to a high dependence on imports (ODEADOM, 2021) resulting in low food autonomy. Additionally, half of the cropping area is contaminated by a pesticide used in banana production (chlordecone). Agroecological transitions for food crops are consequently promoted by policy-makers of Guadeloupe. Plantain (*Musa paradisiaca*) is a food crop anchored in the local diet in Guadeloupe (Fréguin-Gresh, Angeon, et al., Cortès, 2020) with, probably, an important part of informal production (unregistered farmers) (Jean-Georges, 2019). A plantain-based system experiment was set up on an experimental station to involve farmers in a long-term collaboration about the agroecological transition in Guadeloupe (GIEE Westhalten et al., 2021). The decision to experiment on an experimental station rather than an on-farm experiment was made to avoid innovation risks for farmers.

However, the system experiment on an experimental station shares similar features with on-farm experiments such as farmers' engagement and a focus on farmers' needs. To be as close as possible to farmers' reality we set up participatory approaches to co-design agroecological plantain-based systems. This exploratory research aims to understand whether a system experiment allows testing innovative cropping systems adapted to the diversity of the farmers in the territory.

Materials and methods

Study Area

Guadeloupe is a French overseas region located in the Caribbean (16°15'N, 61°35'W). It is composed of Basse Terre and Grande Terre, the two main islands (the study area) and other smaller islands (IEDOM, 2021). It is the 5th world biodiversity hot spot (Myers et al., 2000) presenting a high diversity of agroecological conditions. They have been categorized into ecological zones (Lucien Brun, 2014). Despite this diversity, agriculture remains largely dominated by two export crops: Cavendish banana and sugarcane (DAAF, 2019). Southern Basse Terre is the historical zone of banana exports production while in northern Basse Terre and Grande Terre sugarcane is the dominant production.

System Experiment and Participatory approach

We set up a system experiment to co-design and evaluate a cropping system (plantain-based system). We define a cropping system as the combination of the plot design and farming practices implemented (Sebillote, 1990). A system experiment is defined as an approach that combines iteratively the design of cropping systems and the evaluation of their performances (Debaeke et al., 2009). System experiment makes it possible to assess the capacity of the plantain-based system to meet a set of assigned objectives (in our case agroecological transitions corresponding to the diversity of farm structures and objectives) (Deytieux et al., 2012). A system experiment can be set up on farms or in an experimental station.

At each stage of the system experiment, we used participatory approaches including semi-structured interviews and focus groups to inventory the needs and objectives of heterogeneous farmers (Berthet, Hickey, and Klerkx, 2018) and to find a consensus for experimental plantain-based systems (Reed et al., 2009).

Design of the System Experiment

First, we conducted semi-structured interviews to realize a diagnosis of plantain production and describe existing challenges. The objective was to meet the greatest diversity of plantain producers. As there is no normative structuring of the sector, it was assumed that a large unknown plantation management diversity exists and could be an opportunity for the agroecological transition. Previous studies on plantain have focused on farmers located in the specific area of Guadeloupe specialized in Cavendish banana production (mainly exported): the so-called *croissant bananier* (banana croissant). Despite producing plantain, those farmers implemented practices very similar to those implemented for Cavendish bananas (Forite, 2011; Ogisma, 2011). To meet a maximum number of farmers in a wide diversity of agroecological zones (Lucien Brun, 2014) phone calls based on a list previously established for surveys in the export banana area were performed, snowball sampling among these farmers was conducted (Reed et al., 2009) to identify new farmers from the contacts of the list, and a field trip to identify plantain plots (to meet with farmers

Finally, the plantain nursery was prepared using the PIF ("Plants Issus de Fragments") technique (Kwa and Temple, 2019) that allows sanitizing and multiply the plants. This technique was set up in Guadeloupe to address the lack of healthy affordable plants. The other option to provide healthy plants is the vitroculture but vitroplants are available for only one variety of plantain and are relatively expensive because they are imported.

Since there was a demand (identified during field surveys) from producers to know more about this technique, we decided to adapt this technique to the principles of agroecology.

Implementation and monitor the experiment

The system experiment was implemented following the farmers-defined drawings and a database was implemented online to facilitate sharing within the research team. Several indicators, agronomic (plant height, circumference, number of suckers, number of leaves, bunch weight, etc.) ecological (macrofauna surveys), economic (working time, input costs) were monitored on the plots. The choice of these indicators was based on the literature for the agronomic and ecological indicators and on the farmer's priorities for the economic indicators. Economic profitability appeared as a priority issue for farmers during the field surveys. Thermocouples and other sensors were set up in the nursery to monitor the temperature, the humidity and the radiation.

The difference between the co-designed systems and the existing plantain-based systems on the farms surveyed was assessed by comparing the design of the plots.

Farmers types were analyzed in each focus group to assess the diversity of farmers.

A focus group was conducted in 2021 to identify the farmers' questions (using WhatsApp™ groups and phone calls to engage them) and statistical analyses were conducted to answer the questions using the R® software.

The results of the experiment were valorized with: (i) training on the PIF technique to multiply and sanitize plantain plants; (ii) technical sheets broadcast on institutional website (<http://transfaire.antilles.inra.fr/>); (iii) Youtube™ videos, radio and TV show within the RITA ("Réseau d'Innovation et de Transfert Agricole", Agricultural Innovation and Transfer Network).

Results and discussion

System experiment allows gathering heterogenous farmers

Compared to the field surveys where 52 were interviewed, fewer participants (23) were present in the focus groups but they were representatives of the major types: Low B, High C, Low C and High D (Table 1). The two missing types were "export banana" with high agroecologisation score (High B) and "diversified" with low agroecologization score (Low D) which were the least encountered during the field surveys.

Table 1 | The focus groups took place in three zones to be as close as possible to farmers location. The Low B type was encountered in Basse Terre mainly in the South (SBT) near the banana exports area, the types were identified in the North of Basse Terre (NBT) and in Grande Terre (GT) near the sugarcane production areas and the D type was present in all areas

	1 st Focus group			2 nd Focus group		
	NBT	SBT	GT	NBT	SBT	GT
High B						
Low B	2	5		1	4	
High C			1	1		
Low C	2		1	2		1
High D	4	1	2	3	2	1
Low D						
Total	8	6	4	7	6	2

The missing types were already difficult to interview during the field survey as well as the export banana workers. The impossibility of gathering part of those farmers in the focus groups could be due to the important part of informality. Then, if is the case, the challenge is to improve their inclusion in such activities.

System experiment allows testing innovative systems / innovations

The 4 experimental plots co-designed by the farmers during the focus groups were similar to the plantain-based systems already set up by plantain farmers. By comparing the drawings co-designed during the focus groups (NBT1 and NBT2 for the North of Basse Terre, SBT for the South of Basse Terre and GT for Grande Terre) to the plots actually set up by the producers we found that the patterns were close. They are different in only one or two points with for example the change of double to simple row for the South Basse Terre group (Table 2).

Table 2 | Comparison of co-designed drawing and the plots actually set up by the producers

	NBT1 Low C	NBT2 High D	SBT Low B	GT High D
Barrier crops	X			
Vitroplants			X	X
Cover crops			X	X
Several variety of plantain	X	X	X	X
Dominant variety of plantain (blanche)			X	X
Irrigation	X	X	X	X
Double row		X		X
Simple row	X	X	X	X
Crop combination	X	X	X	X

The changes proposed by the workshop participants were consequently incremental changes. It indicates that the majority of the participants are in a weak ecological modernization logic as defined by Duru, Therond and Fares (2015). The systems co-designed by the participants were not really innovative but the focus groups allowed to identify farmers' questions in particular with the PIF technique (conditions for setting up a plantain nursery with this technique, comparison with vitroplants, etc.).

The specific aspect (PIF technique) of the system experiment could be considered an innovation as it has been implemented recently by few farmers. Following the training on the PIF techniques carried out for the valorization of the results of the system experiment, an on-farm experiment has been set up with the "Chambre d'Agriculture" (which provides technical advice to farmers) to meet the demand of the farmers. This demonstrates the scaling up of the PIF technique.

To further explore the innovative aspect and understand the role and importance of agroecological innovation on plantain-based systems the research team plans to conduct another round of on-farm interviews with the focus groups participants.

Information and Communication Technologies (ICTs) can reach low-profile farmers and help monitor the system experiment

Concerning ICTs, the system experiment is at a preliminary stage with two issues identified: (i) Monitoring of the experimentations and (ii) Exchanges and support to farmers.

Regarding the monitoring of the system experiment, the use of ICTs allows the measurement of indicators especially in the plantain nursery. The measurement of agronomic indicators in particular generated a lot of raw data and a focus group was necessary to identify the relevant statistical analyses to be implemented to answer the farmers' questions. The combination of participatory methods and ICTs was a good way to identify the relevant issue for the specific context of plantain production in Guadeloupe. It could be a great lever in the context of agroecological transition to address the need for contextualization (Barrios et al., 2020).

The use of ICTs in the experimental plots could be a way to obtain data in a simpler way using a field computer coupled with appropriate software to facilitate data acquisition. The challenge is also to share this data to lead to value creation (EIP-AGRI, 2017). The ICTs could also help to better monitor the experiment, for example with regard to irrigation optimization and cercosporiosis prevention (fungal disease caused by *Mycosphaerella fijiensis*).

Concerning the participatory approaches, phone calls were better to get in touch with the producers and to explain the value of participating in workshops more than WhatsApp™ groups. The exchanges on the WhatsApp™ groups were almost non-existent. This inactivity on WhatsApp™ groups does not appear to be specific to the plantain system experiment as the same phenomenon was observed on other projects. In this context the best way to reach all producers including unregistered producers was to go to the field. The importance of not marginalizing anyone in a process of agroecological transition has been emphasized by Prell, Hubacek, and Reed (2009). In spite of the difficulties, the involvement of farmers during the co-designing made it possible to identify priority questions to guide the continuation of the experiment, including questions about economic profitability, which is necessary for the viability of plantain farms. In the context of this research, focused on an orphan crop and an agricultural sector characterized by a high degree of informality, the question of how to consider the reality of these producers arises. The first challenge could be to characterize their informal production and analysis of satellite images could be a means to achieve part of this objective without mobilizing the producers that are afraid of, or want to avoid interviews. The second challenge could be to share and assess farmers' specific interest in using ICTs to improve the design of the experiment since a number of decision tools already exist such as Simserv (<http://toolsforagroecology.antilles.inra.fr/simserv/>) which was developed to select service plants suited to specific environmental conditions in Guadeloupe.

Conclusion

The system experiment allows for the testing of different plantain-based cropping systems in the context of an agroecological transition co-designed by different types of farmers. Digital technologies were used to monitor the experiment and to support exchanges between farmers and were combined with focus groups and on farm surveys in order to design an experiment in line with the realities and demands of the stakeholders. This combination could be a great lever in the context of agroecological transition to address the need for contextualization.

To go further it is necessary to communicate the raw data and the protocol of this system experiment (with data papers for example) to allow researchers to reflect upon their own contexts. Although this experiment allowed the co-design of diversified systems, part of the plantain farmers was not represented and hence the need to think of other means to work with them. Another issue is to scale up the results to think for more appropriate policies and more appropriate institutional levers to improve the development of these cropping systems and the autonomy for this basic food.

Acknowledgement

The authors are grateful to the Guadeloupe Region for its support of the PhD project. This research was also partly funded by FEDER project Agroecodiv (Co-conception de systèmes de production agricoles performants et résilients pour les territoires de Guadeloupe, dans une démarche agroécologique, FEDER, dir. Mandonnet 2016- 2023), FEADER project Intensecoplantain (Intensification Ecologique des systèmes de culture de banane Plantain en Guadeloupe, Dir. Marc Dorel, CIRAD, FEADER 2016- 2021) and the experimental unit PEYI of INRAE Antilles Guyane Center. Special thanks go to the participants to the interviews and focus groups for their time and inputs into the research, to the trainees Lionel Scherschel, Raphaël Morin, Coralie Ferdinand, Alexia Crézé and Wyllyam Darmalingon who have contributed to the research since 2017 and to all the PEYI experiment unit for the logistical support.

References

- Barrios, E., Gemmill-Herren b., Bickster A., Siliprandi E., Brathwaite R., Moller S., Batello C., et Tittonell P., 2020. "The 10 Elements of Agroecology: Enabling Transitions towards Sustainable Agriculture and Food Systems through Visual Narratives" *Ecosystems and People* 16 (1): 230-47. <https://doi.org/10.1080/26395916.2020.1808705>.
- Berthet, E., T., Gordon M. H., et Klerkx L., 2018. "Opening Design and Innovation Processes in Agriculture: Insights from Design and Management Sciences and Future Directions". *Agricultural Systems* 166 (septembre): 111-15. <https://doi.org/10.1016/j.jagsy.2018.06.004>.
- DAAF. 2019. "Mémento de la statistique agricole Guadeloupe".
- Debaeke, P., Munier-Jolain N., Bertrand M., Guichard L., Nolot JM., Faloya V., et Saulas P., 2009. "Iterative Design and Evaluation of Rule-Based Cropping Systems: Methodology and Case Studies. A Review", 73-86.
- Deytieux, V., C. Vivier, Minette S., Nolot JM., S. Piaud, A. Schaub, N. Lande, et al., 2012. "Expérimentation de systèmes de culture innovants: avancées méthodologiques et mise en réseau opérationnelle", 31.
- Duru, M., Therond O., et M'hand F. 2015. "Designing Agroecological Transitions: A Review" *Agro-nomy for Sustainable Development* 35 (4): 1237-57. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0318-x>.
- EIP-AGRI. 2017. "Shaping the digital (r)evolution in agriculture". https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/default/files/eip-agri_brochure_digital_revolution_2018_en_web.pdf

- Forité, C., 2011. "Diagnostic agroécologique de plantations de bananes plantain en Guadeloupe". Mémoire de fin d'étude, ISTOM. 98p.
- Fréguin-Gresh, S., V. Angeon, et G. Cortès. 2020. "Les petites agricultures familiales en Guadeloupe : une contribution à l'ancrage de l'alimentation ?". Résumé exécutif du rapport final de l'Atelier professionnel du Master EDEV 2019-2020. <https://www.master-adev-montpellier.fr/content/download/4215/31610/version/1/file/2020-Rapport+re%CC%81sume%CC%81+atelier+EDEV+-+Guadeloupe+.pdf>
- GIEE Westhalten, J. E. Masson, I. Soustre-Gacougnolle, M. Perrin, C. Schmitt, M. Henaux, C. Jau-gey, et al., 2021. "Transdisciplinary Participatory-Action-Research from Questions to Actionable Knowledge for Sustainable Viticulture Development". *Humanities and Social Sciences Communications* 8 (1): 24. <https://doi.org/10.1057/s41599-020-00693-7>.
- G. da Silva, José. 2018. Agroecology can help change the world's food production for the better. Calls for transformative change at 2nd International Agroecology Symposium in Rome. <http://www.fao.org/news/story/en/item/1113475/icode/>.
- Guillou, M., H. Guyomard, C. Huyghe, J.-L. Peyraud, J. Vert, et P. Claquin. 2013. "Vers des agricultures doublement performantes pour concilier compétitivité et respect de l'environnement", Proposition pour le Ministre, 163. https://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/documents//rapport_marion_quillou_cle05bdf5.pdf
- IEDOM. 2021. "Rapport annuel économique Guadeloupe 2020". <https://www.iedom.fr/quade-loupe/>
- IPCC. 2021. "Climate Change 2021 The Physical Science Basis". https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf.
- J-G., David. 2019. "Etude exploratoire des liens entre accès alimentaire et moyen d'existence des migrants haïtiens qui travaillent dans l'agriculture guadeloupéenne". Montpellier: Montpellier SupAgro.
- Kwa, M., et L. Temple. 2019. Le bananier plantain. éditions Quae. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-2680-1>.
- Lucien Brun, Mael. 2014. "Des Petites Régions Agricoles au Zonage AgroEcologique : conception et construction d'un découpage spatial aux Antilles françaises". Mémoire de fin d'étude, ISTOM. 192p.
- Myers, Norman, Russell A. Mittermeier, Cristina G. Mittermeier, Gustavo A. B. da Fonseca, et Jennifer Kent. 2000. "Biodiversity Hotspots for Conservation Priorities". *Nature* 403 (6772): 853-58. <https://doi.org/10.1038/35002501>.
- ODEADOM. 2021. "La couverture des besoins alimentaires dans les DROM" . http://www.odeadom.fr/wp-content/uploads/2021/04/Note_couverture_alimentaire_-m%C3%A0j_mars_2021.pdf
- Ogisma, A., 2011. "Diagnostic agri-environnemental en exploitations de banane plantain en Guadeloupe : logiques décisionnelles, performances productives et agro écologiques des pratiques associées". Mémoire de fin d'étude, Ecologie, Ecosystèmes Tropicaux Naturels et Exploités, Université des Antilles. 79p.
- Prell, C., K. Hubacek, et M. Reed. 2009. "Stakeholder Analysis and Social Network Analysis in Natural Resource Management". *Society & Natural Resources* 22 (6): 501-18. <https://doi.org/10.1080/08941920802199202>.
- Reed, Mark S., A. Graves, N. Dandy, H. Posthumus, K. Hubacek, J. Morris, C. Prell, C. H. Quinn, et L. C. Stringer. 2009. "Who's in and Why? A Typology of Stakeholder Analysis Methods for Natural Resource Management". *Journal of Environmental Management* 90 (5): 1933-49. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.01.001>.
- Sebillote, M., 1990. Systeme de culture, un concept operatoire pour les agronomes. 2-7380-0256-0. hal-02852812". In Les systemes de culture, INRA, 165-96. Un Point sur... - INRA.

Annexe 3 : Poster ACFAS 2023

CONGRÈS

100 ans de savoirs pour un monde durable

BEZARD Marie, BARLAGNE Carla, ANGEON Valérie, OZIER LAFONTAINE Harry, DIMAN Jean-Louis, ANDRIEU Nadine

DECONNEXION entre STRUCTURE et FONCTION du SYSTÈME d'INNOVATION agricole & MAINTIEN d'une TRANSITION AGROÉCOLOGIQUE FAIBLE : Cas de la banane plantain en Guadeloupe

Comment le système d'innovation agricole (AIS) facilite ou contraint la transition agroécologique ?

Guadeloupe
16°15'N, 61°35'W

La banane plantain, une culture destinée au marché local, avec des agriculteurs plus ou moins engagés dans la transition agroécologique

Résultats

Est-ce qu'il existe bien un AIS plantain ?

1/ Un AIS plantain basé sur une **interconnexion de réseaux d'innovation**

Et comment les agriculteurs innovent ?

2/ Des stratégies d'innovation basées sur **l'hybridation entre plusieurs innovations**

Et finalement quel est la structure et des fonctions de l'AIS ?

3/ Une déconnexion entre **structure et fonctions** au sein de l'AIS

Conclusion

- **Déconnexion structure - fonction** au sein de l'AIS **bloquante** pour la mise en place d'une **transition agroécologique forte**
- Des **agriculteurs** acteurs **d'importance majeure** pour remplir l'ensemble des fonctions

Perspectives

- Identifier les **innovations** ou **alternatives** permettant une **transition agroécologique forte**
- Etudier le poids de l'agriculture industrielle ou conventionnelle sur les dynamiques d'émergence de l'innovation dans les systèmes alternatifs

Références

Borgatti, S.P., Mehra, A., Brass, D.J., Labianca, G., 2009. Network Analysis in the Social Sciences. Science 323, 892-895. <https://doi.org/10.1126/science.1165821>

Klerkx, L., van Mierlo, B., Leeuwis, C., 2012. Evolution of systems approaches to agricultural innovation: concepts, analysis and interventions, in: Darnhofer, I., Gibbon, D., Dedieu, B. (Eds.), Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 457-483. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_20

Duru M, Therond O, Martin G, et al (2015) How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. Agron Sustain Dev 35:1259-1281. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1>

Bezard M, Barlagne C, Diman J-L, et al. (2023) Co-designing innovative plantain cropping systems to support the diversity of agroecological pathways in Guadeloupe. Agron Sustain Dev. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00879-8>

Méthodologie mixte

Focus sur **3** types d'innovations (préparation des plants, fertilisation & amendement) & sur les **réseaux d'acteurs** autour de ces innovations

Analyse **Quantitative SNA** (Social Network Analysis)

×

Analyse **Quantitative KM** (Knowledge Mapping)

Pour identifier la **structure** des réseaux

Pour identifier les **fonctions** des réseaux

Agriculteurs enquêtés

Acteurs connectés aux agriculteurs enquêtés

Réseau d'innovation 1

Réseau d'innovation 2

Réseau d'innovation 3

AIS Plantain de Guadeloupe

Le KM c'est s'appuyer sur les dires des agriculteurs

Les fonctions correspondent au flux de ressources entre les acteurs

Pour identifier les acteurs centraux, on compte le nombre de liens qui arrivent ou partent des acteurs

Des réseaux d'innovations **centralisés** autour des innovations liées à une **transition agroécologique faible**

Des **points de blocage** liés à des **fonctions non remplies** par **les acteurs centraux**

Vs.

Des réseaux d'innovations **avec peu d'acteurs centraux** liés à une **transition agroécologique forte**

Avec des **innovations organisationnelles** pour supporter cette transition agroécologique forte

Annexe 4: Poster CFCS 2023



Research Team
 UE PEYI
 Marie BEZARD, Nadine ANDRIEU,
 Carla BARLAGNE, Valérie ANGEON,
 Jean-Louis DIMAN & Harry OZIER

Support agroecological transitions for orphan crops
 Hybridization and knowledge creation for plantain in Guadeloupe



Plantain Banana
 (Musa spp. AAB)
 ✓ A crop for local market
 ✓ But few research studies
 ✓ Important knowledge gaps

How to generate and aggregate knowledge required to understand the innovation dynamics that can support agroecological transitions ?

1 Start with a *scale* known to the farmers and accessible to researchers Use a *method* to bring out and aggregate existing knowledge

Plantain farms & cropping systems

Co-design & semi-structured interviews

Characterize the **diversity** of existing practices and strategies
 Identify the **knowledge gaps** hindering to the agroecological transitions

2 **Ecophysiology**
 Plant Controlled conditions
 Optimize an on-farm plantain multiplication and sanitation technique

Mobilize other disciplines to fill the knowledge gaps

3 **Sociology**
 Agricultural Innovation System Semi-structured interviews
 Understand the role of actors' networks in the dissemination of alternative practices

The benefits of a multi-scale and transdisciplinary approach ?
 Combining scientific and non-academic knowledge it allowed to identify and design technical and organizational alternatives for orphan cropping systems (plantain-based systems) in Guadeloupe

4 **Economy & Geomatic**
 Socio Technical System Semi-structured interviews, Image Analysis and Prices
 Study the role of the dominant system in agro-ecological transition dynamics within niches

Centre Antilles Guyane

Bezard M., Barlagne C., Diman J-L., Angeon V., Morin R., Ozier-Lafontaine, H., Andrieu N. (2023) Co-designing innovative plantain cropping systems to support the diversity of agroecological pathways in Guadeloupe. *Agron Sustain Dev*. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00877-8>

Bezard M., Barlagne C., Angeon V., Caperaa M., Ozier-Lafontaine H., Diman, J-L., Andrieu, N. Adoption of Agroecological Innovations in Plantain Agricultural Innovation System in Guadeloupe: A Disconnect between Network Structure and Functions. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4444450> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4444450>

Bezard M., Hammouya D., Diman J-L., Ozier-Lafontaine H. (2023) La méthode du PIF : multiplication et assainissement des plants de bananier plantains à la ferme. *NOVAE 9*. <http://doi.org/10.17180/novae-2023-N9-art03>

Domaine de Duclos,
 Prise d'eau,
 97170 PETIT BOURG
 Tél. : +33 (0) 5 90 25 59 00
<https://www.inrae.fr/centres/antilles-guyane>
 marie.bezard@inrae.fr



Annexe 4 : Formations suivies

Université des Antilles (144 heures)

Module 1 - Connaître les enjeux actuels de la valorisation scientifique (6h) (8 et 10 mars 2020)

Présentations scientifiques efficaces (4h) (29 juin 2021)

Approches pas-à-pas pour écrire et publier un article scientifique (4h) (2 juillet 2021)

Préparation à la prise de parole dans la communication scientifique (10h) (7 janvier et 2 février 2022)

Module 2A - Initiation à Zotero (3h) (8 février 2022)

Module 2B - Faire de la veille scientifique (3h) (21 février 2022)

Ethique et déontologie de la recherche scientifique : l'intégrité scientifique (droit d'auteur et tous acteurs contre le plagiat) (2h) (28 mars 2022)

Analyse et compréhension des modalités de publications en sciences de la vie et en sciences expérimentales (4h) (8 avril 2022)

Ingénierie de montage pour le financement de projets de recherche (12h) (13 au 17 mai 2022)

Méthodologie de la recherche (12h) (tout au long de la thèse)

Elaborer un projet professionnel : Inscrire son doctorat dans un projet professionnel avant et après la soutenance (15h) (17, 20, 24 et 27 janvier 2023)

Être attractif lors de sa prise de parole (12h) (13, 14 et 15 février 2023)

Projet doctoral (15h) (1, 3 et 6 mars 2023)

Lutte contre les violences sexistes et sexuelles (4h) (20 mars 2023)

Gestion des projets de recherche (12h) (27, 28, 30 mars et 3 avril 2023)

Module 3A – Définition aspects juridiques. Circuits de dépôt et consultation des thèses de doctorat (2h) (24 avril 2023)

Module 3B – Rédaction, la feuille de style (4h) (25 avril 2023)

Elaborer un projet professionnel (8h) (3 et 17 juin 2023)

Maîtrise de l'Excel (12h) (16, 19 et 20 juin 2023)

Autres (120 heures)

Ecole chercheur ComMod (INRAE) (44h30) (20 au 24 septembre 2021)

Ecole chercheur Conception Innovante (INRAE) (21h) (29 novembre au 2 décembre 2021)

E-course Food System (Université de Wageningen) (18h30) (entre juin et juillet 2021)

Papyrus – Collecte, veille, gestion et exploitation de l'information bibliographique. Rédaction, publication et communication (INRAE) (35h) (14 janvier au 11 mars 2022)

Ecole technique « Publier attractif » (INRAE) (18h30) (21 au 23 septembre 2022)

Annexe 5 : Missions d'enseignement (80 heures équivalent TD)

Licence Professionnelle en Agronomie (Lycée Agricole Alexandre Buffon, Baie Mahault, Guadeloupe)

- Production de bananes plantain en Guadeloupe (2h) (promotions 2021, 2022 et 2023)
- Approches participatives (3h) (promotions 2021, 2022 et 2023)

Licences 1 et 2, Sciences de la Vie et de la Terre et Sciences pour la Santé (Université des Antilles, Pointe à Pitre, Guadeloupe)

- Nouvelles technologies (20h de TP) (entre janvier et mars 2022) et (5h de TP) (entre octobre et novembre 2022)
- Physiologie sensorielle (32h TD) (entre janvier et février 2022)
- Neurobiologie (12h TP, 8h TD) (entre janvier et mars 2022)

Annexe 6 : Encadrement de stages

- 2021 : Une stagiaire de césure et un stagiaire de licence professionnelle en agronomie (sur le suivi des phases préliminaires de l'expérimentation PIF)
- 2021-2022 : Une stagiaire de césure pour les enquêtes SNA
- 2022 : Une stagiaire de césure, un stagiaire de M1, un stagiaire L3 sur les différentes phases « découplées » de l'expérimentation PIF

Table des matières

Remerciements	2
Résumé.....	5
Abstract	6
Préambule.....	7
Sommaire	11
Table des figures	13
Liste des abréviations et acronymes	14
Introduction Générale.....	16
Partie 1. Etat de l' Art et Problématique.....	21
1. Agroécologie et innovation(s)	22
2. Les innovations dans leur contexte : le Système d'Innovation (Agricole)	26
3. La Multi Level Perspective pour une analyse dynamique des processus d'innovation	29
4. La banane plantain comme culture vivrière face à la filière export Cavendish	31
5. Questions de recherche et problématique	35
Partie 2. Méthodologie globale.....	39
1. Cas d'étude : l'archipel guadeloupéen	42
2. Une méthodologie mixte et découplée	44
2.1. Une première étape à l'échelle des exploitations agricoles et des systèmes de culture pour caractériser la diversité existante et identifier les trous de connaissances	44
2.2. Une deuxième étape à l'échelle de la plante pour optimiser une pratique alternative agroécologique	46
2.3. Une troisième étape à l'échelle de l' AIS pour comprendre le rôle des réseaux dans l'adoption des pratiques alternatives.....	48
2.4. Une quatrième étape à l'échelle du système sociotechnique pour comprendre le rôle du système dominant dans les dynamiques de transition agroécologique au sein des niches.....	52
Partie 3. Résultats	53
Chapitre 1 : S'appuyer sur les connaissances des agriculteurs pour aller plus loin dans la transition agroécologique	54
1. Article 1: Co-designing innovative plantain cropping system to support the diversity of agroecological pathways in Guadeloupe	55
2. Conclusion du chapitre 1.....	56
Chapitre 2 : Optimiser une technique alternative innovante.....	57
1. Article 2: Optimization of an on-farm multiplication and sanitation technique for plantain banana.....	58
2. Conclusion du chapitre 2.....	105
Chapitre 3 : Caractériser les réseaux d'acteurs pour identifier les points de blocage.....	106
1. Article 3: Adoption of agroecological innovations in plantain Agricultural Innovation System in Guadeloupe: A disconnect Between Network Structure and Functions	107
2. Conclusion du chapitre	160
Chapitre 4 : Caractériser la place des systèmes alternatifs par rapport au système dominant	169

1. Article 4 : Diffusion d’une innovation issue du régime dominant au sein des niches d’innovation : cas du vitropiant de plantain en Guadeloupe.....	162
2. Conclusion du chapitre.....	214
Partie 4. Discussion générale.....	215
4.1. Emergence et production de connaissances sur le plantain.....	218
4.1.1. Pour la production de banane plantain en Guadeloupe.....	218
4.1.2. Une contribution à la réflexion sur la massification de l’agroécologie dans un contexte européen et post-colonial.....	219
4.2. Une mobilisation de plusieurs méthodes et outils pour identifier les connaissances existantes et produire les connaissances manquantes.....	221
4.3. Une évolution des méthodes en agronomie : l’apport d’une démarche multi-scalaire et interdisciplinaire pour la recherche participative.....	225
4.4. Perspectives.....	227
Conclusion.....	230
Bibliographie Générale.....	233
Annexes.....	252
Annexe 1 : La méthode du PIF : multiplication et assainissement des plants de bananiers plantain à la ferme.....	253
Annexe 2 : Proceedings OFE 2021.....	254
Annexe 3 : Poster ACFAS 2023.....	255
Annexe 4: Poster CFCS 2023.....	256
Annexe 4 : Formations suivies	257
Annexe 5 : Missions d’enseignement (80 heures équivalent TD)	258
Annexe 6 : Encadrement de stages.....	258
Table des matières.....	259

Accompagner les transitions agroécologiques des cultures orphelines

Hybridation, création de connaissances et innovations pour la banane plantain en Guadeloupe

Dans un contexte de changement climatique, l'agroécologie est présentée comme une voie prometteuse pour faire face aux enjeux environnementaux, alimentaires et sanitaires. Les pratiques agroécologiques, permettant d'accompagner les transitions agroécologiques, sont raisonnées et dépendent du contexte dans lesquelles elles entrent en jeu. Elles se construisent à partir des réalités de chacun des territoires, allant des relations entre micro-organismes telluriques aux déterminants sociaux régissant les interactions anthropiques. Il est aujourd'hui admis que c'est au sein des systèmes alternatifs, les niches d'innovation, qu'émergent et se construisent les innovations radicales, ou pratiques alternatives, pouvant accompagner des transitions agroécologiques de rupture. Dans ce cadre, des enjeux autour de la production et du partage de connaissances permettant d'aller plus en avant, au sein de chacune des réalités, se posent. Concrètement, comment faire émerger les connaissances existantes et produire les connaissances manquantes ? Au sein de la vaste diversité des situations agricoles dans le monde, la Guadeloupe, un archipel caribéen français, est un territoire d'intérêt pour étudier les dynamiques de transitions agroécologiques. L'agriculture est dominée par deux cultures d'exportation, la banane Cavendish et la canne à sucre, cohabitant avec des cultures destinées au marché local souvent peu visibles. Le travail de recherche mené dans le cadre de la thèse s'intéresse à l'une de ces cultures, la banane plantain (*Musa* spp., AAB). Bien que très étudiée en Afrique ou en Amérique du sud, la banane plantain est une culture quasiment orpheline de recherche en Guadeloupe. L'objectif de ce travail de thèse est de proposer une démarche multi-échelles et interdisciplinaire permettant de combiner des connaissances scientifiques et non académiques pour identifier et concevoir des alternatives techniques et organisationnelles pour des systèmes de cultures orphelines. Cette approche a permis de montrer la logique intrinsèque d'une production souvent qualifiée de déstructurée et de montrer son rôle potentiel pour la transition agroécologique à l'échelle du territoire guadeloupéen. Au-delà de la banane plantain en Guadeloupe, les travaux menés dans le cadre de la thèse ont permis, de rappeler le rôle essentiel des cultures orphelines et des niches d'innovation pour la transition agroécologique. Dans un contexte d'évolution de la recherche en agronomie la thèse démontre que de telles démarches, multi-scalaires et interdisciplinaire, permettent, non seulement d'agréger des connaissances existantes, académiques et non académiques mais également de concevoir les connaissances manquantes pour aller plus loin dans la transition agroécologique. Ces méthodes peuvent donc servir de véritables leviers pour répondre aux enjeux globaux auxquels la planète fait face.