

THÈSE POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR DE MONTPELLIER SUPAGRO

En Ecologie Fonctionnelle et Sciences Agronomiques (EFSA)

École doctorale GAIA – Biodiversité, Agriculture, Alimentation, Environnement, Terre, Eau

Portée par l'Université de Montpellier

Unité de recherche HORTSYS (CIRAD)

**La transition agroécologique à l'épreuve des acteurs :
de l'analyse des pratiques des agriculteurs
à l'aide à la réflexion pour les décideurs politiques.**

Cas de la production fruitière à La Réunion.

Présentée par Marie DUPRE

- 12 Novembre 2018 -

Sous la direction de Pierre-Yves LE GAL

Devant le jury composé de :

Marianne LE BAIL, Professeure, AgroParisTech
Jean-Marc BLAZY, Chargé de recherche, INRA
Stéphane DE TOURDONNET, Professeur, SupAgro
Marianne CERF, Directrice de recherche, INRA
François AFFHOLDER, Chercheur, CIRAD
Pierre-Yves LE GAL, Chercheur, CIRAD

Rapporteuse
Rapporteur
Président du jury
Examinatrice
Examineur
Directeur de thèse



**UNIVERSITÉ
DE MONTPELLIER**



Remerciements

J'ai beaucoup de gens à remercier pour avoir fait de cette thèse une belle aventure.

Je remercie tout d'abord mon directeur de thèse Pierre-Yves Le Gal, qui a été très réactif malgré la distance. Un grand merci pour sa vision claire sur ce travail et son expérience qui a guidé le tempo de la thèse. Et je remercie également mon autre encadrant Thierry Michels. Je lui dois entre autres un accueil très chaleureux à La Réunion et des conditions de thèse idéales. Un grand merci à lui pour m'avoir accompagnée à la rencontre des décideurs politiques réunionnais.

Je suis très reconnaissante à mes encadrants de stage de Master Chloé Salembier et Jean-Marc Meynard, parce que c'est eux qui m'ont donné la confiance et l'envie de me lancer dans un projet de thèse.

Merci aux membres du jury de thèse : Marianne Le Bail, Marianne Cerf, Jean-Marc Blazy, François Affholder et Stéphane De Tourdonnet, de prendre le temps de s'intéresser à ce travail. Et merci aux membres du comité de suivi de thèse : Mireille Navarrete, Pierre-Eric Lauri et Fabrice Le Bellec. Leurs remarques ont été très précieuses pour orienter nos recherches.

Je tiens à remercier le CIRAD et le FEADER, qui ont financé ces travaux un peu atypiques sur la transition agroécologique à travers le projet COSAQ 2. Je suis très reconnaissante à toutes les personnes qui ont participé à ce projet : les agriculteurs qui m'ont si bien reçue et les autres porteurs d'enjeu enquêtés, tout particulièrement Jean-Paul Ramsamy et Julie Courret du Conseil Départemental avec qui nous avons eu des échanges très enrichissants.

Un remerciement tout spécial à deux collègues qui m'ont beaucoup apporté : merci à Guillaume Bruelle qui m'a aidée à me lancer sur GAMS et à Solène Pissonnier. Elle a été une « marraine » de thèse qui m'a généreusement fait profiter de son expérience !

Merci aux manguiers de Bassin Plat qui vont rudement me manquer, mais moins encore que mes collègues de la station avec qui j'ai passé de très bons moments. Un grand merci à Estelle, Hélène, Thom, Clémence, Marie D., Elo et Christian, toujours prêts à me proposer leur relecture, leurs conseils ou leurs talents de caméramans ☺. Une mention toute spéciale à Marie Rothé, la co-workeuse parfaite pour des discussions élevées et un soutien sans failles.

Je ne peux pas citer tous les copains rencontrés *via* le CIRAD que je remercie pour nos repas, soirées, randos, sorties baleines... Je voudrais remercier aussi mes collocs qui ont accepté de partager frigo, joies et peines. C'était génial de vous rencontrer. Mille mercis à Alex, notamment pour avoir guidé mes premiers pas sur l'île. Mille mercis à Mathieu, j'en ai pour un moment à me repasser dans la tête tous les paysages splendides partagés lors de nos sorties trail.

Mes moments les plus intenses je les dois à mes copains du Parkour, et je les remercie du fond du cœur pour l'ambiance unique de ce groupe : Thom, Blandine, Isma, Jojo, Mathieu, Hugo, Pascalou, Patrick, Malvina, Aïkel, Salomé, Caro, Morgan, Aurélie et tous les autres !

Un petit clin d'œil à mes kinés qui ont su me « remettre sur pied » après ma fracture de cheville.

Merci à ceux qui sont venus me voir malgré les 10 000 km : Camille, Pierre, Laulau, Victor, Emma, Estelle, Isabelle et Paul-Guy ! Et merci à Gaspard, bien sûr.

Enfin, merci à mes parents et mes frérots. Déjà pour m'avoir convaincue de me sacrifier en allant vivre à La Réunion, pour que vous puissiez venir me voir sur cette île idyllique. Et pour les bonnes idées, les relectures de dernières minutes, les encouragements... on ne peut rêver mieux comme famille qui vous soutienne quelle que soit l'aventure.

Résumé

Les consommateurs demandent aux producteurs de fruits, *via* leurs achats ou leurs représentants politiques, de réduire les impacts négatifs des pratiques agricoles sur l'environnement et la santé. Les pratiques agroécologiques, mobilisant des processus ou produits naturels, permettent de réduire l'utilisation problématique des produits de synthèse. Mais les agriculteurs font face à des décisions complexes pour organiser la transition agroécologique dans leurs exploitations, souvent diversifiées, et l'accompagnement politique de ces transitions est encore hésitant. Face à ces défis, notre étude s'est intéressée aux processus de transition agroécologique dans les exploitations agrumicoles de La Réunion pour comprendre la diversité de leurs dynamiques et mieux les accompagner *via* des politiques d'aides.

La diversité des transitions agroécologiques au sein de 31 exploitations diversifiées a été analysée dans une première étape. Une typologie d'exploitations a été formalisée, sur laquelle s'est appuyée la deuxième phase de la démarche basée sur la conception d'un outil opérationnel d'évaluation *ex-ante* des politiques publiques. L'outil ENTICIP (Evaluation Territoriale des Interactions entre Consommation, Interventions publiques et Production agricole) est un modèle bioéconomique d'optimisation couplant les échelles exploitation et bassin de production. ENTICIP permet de simuler les choix des agriculteurs et leurs conséquences économiques, environnementales et sociales pour des scénarios exploratoires de politiques d'aides sous divers contextes de marché.

De nombreux facteurs internes et externes à l'exploitation interviennent dans l'adoption de pratiques agroécologiques, les principaux étant le circuit de vente, la sensibilité environnementale de l'agriculteur et le rôle économique de la production dans l'exploitation. Au sein des exploitations diversifiées, des interactions entre productions favorisant les pratiques agroécologiques apparaissent : échanges de biomasse et de connaissances, ou mutualisations d'intrants alternatifs. L'étude a mis en évidence quelques trajectoires « en rupture » conduisant rapidement à une forte écologisation, mais la majorité des trajectoires est beaucoup plus progressive, avec parfois des retours en arrière. Les vitesses d'écologisation des productions peuvent être hétérogènes au sein de l'exploitation, permettant notamment de minimiser les risques liés à l'adoption de pratiques agroécologiques.

ENTICIP a été appliqué au cas de l'ananas et du tangor à La Réunion (*Ananas comosus* (L.) Merr. et *Citrus reticulata* Blanco x *Citrus sinensis* (L.) Osb.). Des scénarios d'augmentation des aides pour l'Agriculture Biologique (AB) dans un contexte de marché favorable ont permis d'identifier

les conditions d'un développement massif de l'AB. Les montants d'aides déclenchant la conversion à l'AB sont variables selon la production et le type d'exploitation, en fonction de leurs conditions bioclimatiques et de leurs circuits de vente. Plus les produits conventionnels sont bien valorisés, comme sur le marché export, plus le montant d'aides nécessaire pour passer à l'AB est élevé. Ces scénarios ont été présentés à des décideurs politiques réunionnais, avec qui le modèle a été utilisé de manière participative.

La démarche permet de rassembler des connaissances sur le fonctionnement des systèmes productifs et de proposer des pistes d'améliorations pour les politiques agricoles à visée environnementale. Ce travail devrait contribuer à renforcer le partenariat chercheurs-décideur politiques initié à La Réunion, afin de doter les acteurs locaux d'outils pour d'organiser la transition agroécologique de leur territoire. Dans cette perspective, les efforts de recherche pourraient s'orienter vers le développement d'un dispositif multi-échelles et interdisciplinaire autour de l'analyse et de l'accompagnement des changements des agriculteurs.

Mots clés : agroécologie ; trajectoires de pratiques ; accompagnement ; exploitation agricole ; filière ; citrus.

Abstract

Through their purchase choices and political representatives, consumers are putting an increasing pressure on fruit growers to reduce the negative environmental and sanitary impacts of their agricultural practices. Agroecological practices enhancing natural processes can help reducing synthetic inputs use. However, proceeding to an agroecological transition is a complex management challenge for farmers who often combine diverse activities. Moreover, policy support for agroecological transitions remains to be improved. In this context, our study focused on agroecological transition processes in diversified citrus farms in La Réunion Island in order to understand the diversity of their dynamics and improve their support through public incentives.

The first step of the study aimed at describing and explaining the diversity of agroecological transitions on 31 diversified farms. A farm typology sorting this diversity was built in order to be communicated to policy makers. The second step used this diagnosis to design an *ex-ante* evaluation tool of public policies linked to fluctuating market at the productive system scale. The tool, named ENTICIP (Territorial Evaluation of Interactions between Consumption, Public grants and agricultural Production), is a bioeconomic optimization model combining farm and productive system scales. ENTICIP can run exploratory scenarios of policies supporting agroecological transition under various market conditions. It estimates farmers' choices and economic, environmental and social consequences at the productive system scale.

Agroecological practices adoption depended on numerous internal and external factors at farm scale, the most significant being the marketing channel, the farmer eco-friendliness and the economic role of the production for the farm. Beneficial interactions for agroecology occurred within diversified farms, such as synergetic exchanges of biomass and knowledge, or alternative input and equipment sharing. Some cases of radical trajectories leading rapidly to a strong ecologization level were identified, but most of the trajectories were really progressive, eventually with back steps. The ecologization speeds differed depending on productions in diversified farms. This process helped minimizing risks induced while adopting agroecological practices.

Based on this knowledge ENTICIP was used on the cases of pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr) and tangor (*Citrus reticulata* Blanco x *Citrus sinensis* (L.) Osb.) productive systems in La Réunion. Conditions for a massive development of organic farming were explored in scenarios with increased organic farming subsidies and favorable organic market context. Subsidies rates to trigger organic conversion are variable regarding the kind of production and the farm type, according to their bioclimatic conditions and their marketing channels. Moving to organic

production required the highest amounts of subsidies when high prices for conventional products were available, such as in export markets. Local policy makers were presented these scenarios and involved in a participatory process to use the model and evaluate the results of scenarios.

The research process enabled to gather knowledge on productive systems functioning, and to suggest orientations to improve agricultural policies with an environmental perspective. Prospects could be to strengthen the partnership between policy makers and scientists in La Réunion, to provide local stakeholders with tools to manage the agroecological transition in their territory. Research efforts could target the development of a multi-scale and interdisciplinary program on the issue of farmers' changes.

Key words: agroecology; trajectories; support; farm; value chain; citrus.

Sommaire et table des annexes

Remerciements.....	1
Résumé	3
Abstract	5
Chapitre I. Introduction générale.....	15
1. L'agroécologie pour la production fruitière	15
1.1. Une demande grandissante des consommateurs pour des produits plus sains et moins polluants	15
1.2. La flexibilité du concept de l'agroécologie	16
1.3. Un manque de connaissances sur la transition agroécologique des agriculteurs	18
1.4. Des politiques agricoles encore hésitantes pour accompagner l'agroécologie	18
2. Problématique de l'étude	19
3. Cadre théorique et méthodologique	22
3.1. Analyse du processus de transition agroécologique à l'échelle de l'exploitation	22
3.2. Accompagnement des décideurs politiques à l'échelle des systèmes productifs	23
4. Contexte de l'étude	25
4.1. Les agrumes : des systèmes pérennes très sensibles aux ravageurs.....	25
4.2. Des exploitations agrumicoles petites et diversifiées	28
4.3. Spécificités du marché réunionnais pour la production fruitière.....	29
5. Démarche de recherche	30
5.1. Chapitre 2 : Analyser la diversité des transitions agroécologiques en verger d'agrumes et leurs déterminants à l'échelle de l'exploitation	30
5.2. Chapitre 3 : Comprendre l'organisation de la transition agroécologique dans les exploitations diversifiées.....	31
5.3. Chapitre 4 : Evaluer ex-ante l'effet des politiques d'aides et des marchés sur les changements de pratiques des agriculteurs	32
Chapitre II. Diverse dynamics in agroecological transitions on fruit tree farms.....	35
1. Introduction.....	36
2. Materials and methods.....	38
2.1. Context	38
2.2. In-depth exploration of farm case studies.....	39
2.3. Designing typologies of farms and practice trajectories focused on agroecological transition	41
3. Results	44
3.2. Five dynamics of change towards or away from agroecological practices.....	51
3.3. Drivers and barriers to adopting alternative practices	53
4. Discussion	56

4.1.	Agroecological transition as a diversified and incremental process	56
4.2.	Is agroecological transition crop specific?	58
4.3.	Methodological perspectives	59
5.	Conclusion	59
Chapitre III. Agroecological transitions within diversified horticultural farms: a manifold process		62
1.	Introduction	63
2.	Methods	64
2.1.	Context of the study and sample	64
2.2.	Surveys	65
2.3.	Choice of an ecologization indicator: the “technical score”	66
2.4.	Analysis of the practices implemented at the time of the survey	67
2.5.	Analysis of change dynamics	67
3.	Results	68
3.1.	The current adoption of alternative practices	68
3.2.	Effects of crop characteristics on the adoption of alternative practices	70
3.3.	Effects of interactions between crops on the adoption of alternative practices	76
3.4.	A diversity of agroecological dynamics at the farm level	78
4.	Discussion	83
4.1.	Farmer’s choices towards agroecological practices are driven by a complex set of interacting factors	83
4.2.	Progressive or radical changes: lessons for agroecological transition	85
4.3.	Operational consequences for the agroecological transition	86
5.	Conclusion	87
Chapitre IV. Evaluer les effets croisés des politiques publiques et des demandes du marché sur les choix des agriculteurs vis-à-vis de l’agriculture biologique à l’aide d’un modèle bioéconomique à deux échelles.		89
1.	Introduction	90
2.	Le modèle d’optimisation	92
2.1.	Représentation du système productif	92
2.2.	Un modèle d’optimisation à deux niveaux	93
3.	Application à la conversion à l’AB dans des systèmes productifs fruitiers	95
3.1.	Le cas de l’ananas et du tanger à La Réunion	95
3.2.	Un dispositif d’aides diversifiées	96
3.3.	Description du système modélisé	98
3.4.	Construction de scénarios de transition vers l’agriculture biologique	101

3.5. Résultats de simulation	103
4. Discussion	107
4.1. Quelles aides pour développer massivement l'AB ?	107
4.2. Atouts et limites d'ENTICIP	109
4.3. Vers une utilisation participative d'ENTICIP	111
5. Conclusion	112
Chapitre V. Discussion générale	115
1. La réalité de la transition agroécologique pour les agriculteurs	115
1.1. La majorité des changements ne relève pas du « Redesign »	115
1.2. La transition agroécologique s'organise à l'échelle de l'exploitation	116
2. Les apprentissages autour d'un outil d'aide à la réflexion sur les aides publiques	119
2.1. Comprendre les clés des partenariats chercheurs-décideurs politiques	120
2.2. Fédérer les porteurs d'enjeu des filières autour d'une base de connaissances commune	122
3. Une démarche de recherche combinant production de connaissances, opérationnalité et interactions avec les acteurs	123
3.1. Les relations développées lors des phases analytique et d'accompagnement	123
3.2. Complémentarités entre phases analytique et opérationnelle	124
4. Vers le développement de coopérations pour la transition agroécologique	126
4.1. Développer un dispositif de recherche interdisciplinaire et multi-échelles à La Réunion	126
4.2. Pérenniser le partenariat chercheurs-décideurs politiques à La Réunion	128
4.3. Vers un outil opérationnel adaptable	128
4.4. Appliquer la démarche à d'autres contextes	129
Conclusion générale	130
Références	133
Annexes	145
Annexe 1 : "Supplementary materials" du chapitre 2	146
Annexe 2 : "Supplementary materials" du chapitre 3	147
Annexe 3 : "Supplementary materials" du chapitre 4	152
Annexe 4 : Guide d'entretien des enquêtes d'exploitations	161
Annexe 5 : Interfaces Excel pour les entrées et sorties d'ENTICIP	162
Annexe 6 : Script GAMS d'ENTICIP utilisé pour le chapitre 4	164
Annexe 7 : Version publiée du chapitre 2	193

Table des figures

Figure 1 : Interactions entre agriculteurs, décideurs politiques et citoyens-consommateurs	22
Figure 2 : Aires de production des agrumes et de l'ananas sur l'île de La Réunion	26
Figure 3 : Cycle de production des agrumes non remontants à La Réunion et périodes à risque concernant les principaux ravageurs.	28
Figure 4 : L'ananas de La Réunion se vend à prix d'or sur les étals de la Métropole (Rouen, 2016).	29
Figure 5 : Vue d'ensemble sur les échelles, objets d'étude et articulations des différents chapitres de la thèse	34
Figure 6: Representation of the modalities contributing more than twice the mean contribution on the first factorial plan	45
Figure 7 : Farm characteristics of the eight strategy types. Variability of farm size and labor force, citrus area and estimated volumes of citrus production. Bars width is proportional to the number of farms represented.	49
Figure 8: Evolution of the "technical score" per trajectory of practice change from 1980 to 2010: T1 "Addition"; T2 "OF conversion"; T3 "Simplification"; T4 "Complexification"; T5 "Reversion". Time is on the X-axis. The Y-axis represents the average value of the "technical score" of the farmers belonging to a same type of trajectory.	52
Figure 9: Extent of adoption of 20 agroecological practices on the 28 farms surveyed: in black farms in which the practice is adopted on all the crops; in hatched farms in which the practice is adopted only on some crops; and in white farms in which the practice.	69
Figure 10: Variability of crop TS within and between farms. The size of the dots is proportional to the number of crops with the same TS.	70
Figure 11: a. Representation of modalities contributing more than twice the mean contribution on the first factorial plan of the MCA. b. Representation of the clusters of cases on the first factorial plan of the MCA.	75
Figure 12: a. "Partly & Progressive" (Farm 25): progressive changes on citrus and no changes on thyme because it is a low input crop. b. "Total & Progressive" (Farm 22): progressive changes on all the crops because of similar marketing conditions. c. "Progressive & Disruptive" (Farm 27): progressive changes on citrus and radical changes on tomato and christophine due to an organic market opportunity. d. "Disruptive" (Farm 7): radical changes on all the crops in 2012 due to a new marketing channel. Radical changes are distinguished with red letters.	82

Figure 13: Farmer's decision-making processes for switching from conventional to agroecological crop practices	84
Figure 14 : Représentation conceptuelle d'un système productif dans le modèle ENTICIP	93
Figure 15: Two-level structure, inputs and outputs of the ENTICIP model. PU = Production Unit; OF = Organic Farming.....	95
Figure 16 : Variation de la surface en AB dans le bassin de production selon différentes valeurs des aides MAB. En rouge sont signalées les valeurs choisies pour les scénarios PS et PS+..	104
Figure 17 : Volumes produits à l'échelle du bassin de production selon les différents scenarios	104
Figure 18 : Déroulement des interactions entre chercheurs et décideurs politiques.....	119
Figure 19 : Calcul pour le montant de l'aide à la Conversion à l'Agriculture Biologique extrait du Programme de Développement Rural Régional de La Réunion pour 2014-2020.....	125

Sommaire des tableaux

Table 1 : Pratiques conventionnelles et alternatives pour l'entretien des agrumes, inspiré de Bruchon et al. (2015).....	27
Table 2 : Comparaison des variétés d'agrumes produites localement et importées	30
Table 3: Characteristics of the marketing channels used for the hybrid "Tangor" (source: own survey conducted in 2015)	39
Table 4 : Distribution of agricultural techniques regarding protection, fertilization and weed control in citrus orchards according to the degree of change in inputs.....	43
Table 5: The 18 modalities of the data set and their contributions (%) to the construction of the two first axes (Dim. 1 and Dim. 2) of the MCA. Each of the nine variables take two modalities: "yes" when the management is implemented, "no" otherwise.	44
Table 6 : Adoption of management practices according to the management type [MT _i] and the farmer's strategy [S _j] (% of farms adopting a given practice per S _j).....	50
Table 7: Marketing characteristics of the eight strategy types.....	50
Table 8: Distribution of the 31 citrus farms according to their trajectory for the different management types (MT1 to MT4) and strategies (S1 to S8).....	53
Table 9: Effects of crop biological and economic features on adoption of agroecological practices	71
Table 10: Species distribution (number of species) according to their type (annual, semi-perennial, perennial) and the number of clusters of appearance	76
Table 11: Characteristics of the six farm dynamics towards agroecology	81
Table 12 : Coefficients techniques principaux des activités modélisées	99
Table 13 : Caractérisation des types d'unités de production représentés dans le modèle	100
Table 14 : Validation du modèle avec le pourcentage de déviation absolue (PAD) entre la production simulée et les estimations de volumes par segment de marché.....	101
Table 15 : Nature des aides prises en compte dans chaque scénario	102
Table 16 : Couverture de la demande par la production totale du bassin de production selon les différents segments de marchés et les scénarios. Les barres orangées représentent le pourcentage de demande couverte.	105
Table 17 : Comparaison des indicateurs environnementaux par rapport aux valeurs des indicateurs pour le scénario BaU (Business as Usual) (%)	107
Table 18 : Comparaison d'indicateurs à l'échelle du système productif entre la situation initiale au moment de l'étude (Reference) et les scénarios BaU (Business as Usual), PS (Price Support) et PS+ (Price Support Plus).....	107

Chapitre I. Introduction générale

1. L'agroécologie pour la production fruitière

1.1. *Une demande grandissante des consommateurs pour des produits plus sains et moins polluants*

Un double défi se pose à l'agriculture aujourd'hui : nourrir une population grandissante à l'échelle mondiale et réduire ses impacts négatifs sur l'environnementaux et la santé humaine (Tilman et al., 2001). En production fruitière, les objectifs de production semblent difficiles à concilier avec une réduction des impacts environnementaux. En effet, la majorité des fruits sont consommés en frais et les consommateurs exigent qu'ils se conservent bien et soient sans défaut visuel (De Hooge et al., 2017). Pour atteindre ces objectifs malgré les nombreux bioagresseurs des cultures fruitières, les agriculteurs font en moyenne de nombreux traitements à l'aide de pesticides de synthèse. En comparaison, les Indices de Fréquence de Traitement (IFT) moyens nationaux pour les productions fruitières varient de 7,9 à 33,1 alors qu'ils sont compris entre 2,4 à 6,5 en grandes cultures (Agreste, 2016 ; Agreste, 2018). Ceci soulève des craintes de la part des consommateurs en termes de présence de résidus de pesticides sur les fruits (Gil et al., 2000).

Face à cette problématique, les consommateurs adoptent trois types de comportement. Certains sont prêts à changer fortement leur mode de consommation pour acheter des produits issus de pratiques agricoles plus écologiques que le modèle conventionnel. En s'approvisionnant *via* des circuits plus courts, comme les AMAPs par exemple (Associations pour le Maintien d'une Agriculture Paysanne), ils peuvent établir une relation de confiance avec les producteurs et connaître leurs pratiques agricoles (Dumont et al., 2016). Ils sont prêts à payer un bonus économique pour ces produits. D'autres sont également prêts à payer plus pour des produits sains et respectueux de l'environnement mais souhaitent y avoir accès en grandes et moyennes surfaces. Dans ces circuits longs, les certifications environnementales se sont développées pour pouvoir assurer aux consommateurs que les produits sont issus de pratiques agricoles définies par un cahier des charges. Mais la majorité des consommateurs refuse l'augmentation du coût de l'alimentation tout en réclament une agriculture moins polluante. En réponse à cette demande, le gouvernement français a proposé de transformer l'agriculture française selon les concepts de l'agroécologie (Alim'agri, 2018).

1.2. *La flexibilité du concept de l'agroécologie*

Historiquement, le concept d'agroécologie a d'abord désigné l'ensemble des pratiques agricoles qui s'appuient sur les services écosystémiques, autrement dit les relations écologiques d'intérêt pour la production au sein des agroécosystèmes (Bensin, 1930; Klages, 1928). Plus précisément, les pratiques agroécologiques sont l'activation de la régulation naturelle pour contrôler les bioagresseurs (ex : associations d'espèces végétales, habitats pour les auxiliaires), le bouclage des cycles des nutriments (ex : associations animale-végétale, restitution des résidus de culture), et la préservation des ressources : eau, sol et biodiversité (ex : couverts végétaux, non-travail du sol, bandes fleuries pour les pollinisateurs) (Dumont et al., 2013; Gliessman, 2006; Ratnadass et al., 2012). En activant ces mécanismes, les agriculteurs fournissent à la société des services environnementaux, comme par exemple le maintien de la biodiversité (Dendoncker et al., 2018). La définition initiale ne précise pas si les intrants chimiques sont ou non exclus du mode de gestion agroécologique.

Le concept a ensuite été décliné en deux variantes : la « strong ecologization » ou agroécologie au sens strict, qui exclut l'utilisation de tout intrant extérieur ; et la « weak ecologization » ou agroécologie au sens large, qui désigne toutes les pratiques permettant la réduction des intrants de synthèse en incluant l'utilisation d'intrants externes moins polluants, par exemple la technologie du biocontrôle (Duru et al., 2015a; Horlings and Marsden, 2011). Le « biocontrôle » est un ensemble de méthodes de protection des végétaux basé sur l'utilisation de macroorganismes, microorganismes, médiateurs chimiques et substances naturelles qui prédatent ou perturbent les ravageurs, ou stimulent les défenses des plantes (Aulagnier and Goulet, 2017). Bien que basé sur des processus naturels, le biocontrôle introduit des intrants extérieurs au système plutôt que de s'appuyer sur le rééquilibrage naturel de l'agroécosystème.

Dans cette thèse, nous nous sommes limités au concept d'agroécologie appliqué à l'échelle des pratiques agricoles, mais le concept peut également être appliqué à d'autres objets du système alimentaire (Francis et al., 2003). Le système alimentaire correspond à l'ensemble des éléments et activités (intrants, personnes, procédés, infrastructures, institutions) en lien avec la production, la transformation, la distribution et la consommation de produits alimentaires et les conséquences de ces activités, incluant les conséquences socio-économiques et environnementales (Hlpe, 2014). Dans cette vision, un mode de commercialisation peut être considéré comme agroécologique.

Il existe de nombreuses « écoles » en agriculture qui partagent des principes de l'agroécologie,

telles que la permaculture, la biodynamie, la production intégrée ou l'agriculture biologique par exemple. L'agriculture biologique (AB) est la certification environnementale la plus développée mondialement. Son succès est dû notamment à son cahier des charges clair : tous les produits de synthèse sont interdits et certaines conditions du bien-être animal doivent être assurées. Cette certification officielle permet aux agriculteurs de toucher des bonus économiques *via* les consommateurs et des aides publiques spécifiques. Certains systèmes en AB peuvent être qualifiés d'agroécologiques au sens strict car les agriculteurs mettent en place des pratiques agroécologiques (ex : rotation des cultures) pour remplacer les intrants de synthèse. Mais la certification AB est de plus en plus critiquée car une forme de « conventionnalisation » de l'agriculture biologique est apparue, où les producteurs remplacent les intrants de synthèse par des intrants externes homologués par le cahier des charges AB sans développer les services écosystémiques dans leur système (Buck et al., 1997; Darnhofer et al., 2010).

La multiplicité des définitions de l'agroécologie fait que le concept reste confus pour de nombreux agriculteurs et consommateurs, alors qu'il s'agit d'un axe stratégique développé par le Ministère de l'Agriculture en France (Alim'agri, 2018). L'agroécologie est délicate à codifier dans un cahier des charges car les pratiques agroécologiques sont nombreuses et doivent être adaptées à chaque agrosystème (Migliorini and Wezel, 2017). A part dans les labels spécifiques comme l'AB, les démarches agroécologiques ne sont pas valorisées par des bonus économiques. L'absence de codification de l'agroécologie complique aussi l'éventuelle attribution d'aides.

L'expression « transition agroécologique » est couramment utilisée pour désigner l'évolution des systèmes agricoles de l'agriculture conventionnelle vers l'agroécologie. Mais le mot « transition » est également polysémique. On peut considérer que la transition est la conversion complète d'un système de l'état A à l'état B. Dans ce cas on ne parle de transition agroécologique que lorsque les principes de l'agroécologie au sens strict sont complètement appliqués (Duru et al., 2015b). Cette forme de transition complète est encore très rare comme l'ont mis en évidence des travaux sur les pratiques des agriculteurs aux Etats-Unis (Guthman, 2000a). De plus, il n'y a pas un unique point B dans le cas de la transition agroécologique mais une multitude, adaptée à chaque agroécosystème (Lamine, 2011). La transition peut aussi être considérée comme l'ensemble des étapes des trajectoires partant d'un point A et orientées vers un ou des points B, même si ceux-ci ne sont pas atteints. Le concept de transition agroécologique exploré dans cette thèse englobe l'ensemble des changements de pratiques orientés vers la réduction des intrants chimiques et/ou la mobilisation des services écosystémiques.

1.3. *Un manque de connaissances sur la transition agroécologique des agriculteurs*

De plus en plus de chercheurs travaillent sur l'agroécologie, portés par un contexte politique et sociétal favorable. La plupart des études portent sur l'échelle de la parcelle ou du système de culture (Sebillotte, 1990), et cherchent à évaluer les performances à un instant t d'une pratique ou d'un ensemble de pratiques agroécologiques (Darnaudery et al., 2016; Reckling et al., 2016). Des études à l'échelle exploitation ont montré que l'adoption de pratiques agroécologiques a des impacts et est impactée par de nombreux éléments transversaux dans l'exploitation tels que l'organisation du travail ou liés à son contexte technico-économique tels que les circuits de vente (Blazy et al., 2010; Pissonnier et al., 2016). La dynamique temporelle du processus de transition agroécologique a été analysée dans certains cas d'exploitations, en décomposant les trajectoires de changement de pratiques ou en identifiant les ressources mobilisées par les agriculteurs pour changer (Lamine, 2011; Smukler et al., 2008). Les agriculteurs sélectionnés dans ces études étaient des pionniers de la transition agroécologique dans leurs régions (Blesh and Wolf, 2014; Chantre et al., 2015). Les agriculteurs non-pionniers, regroupés dans la catégorie des « conventionnels », ont été beaucoup moins étudiés alors que beaucoup ont également changé leurs pratiques et ne pratiquent plus une agriculture intensive en intrants de synthèse (Sutherland, 2011). Ces agriculteurs développent des solutions pour réduire leur utilisation d'intrants de synthèse sans l'aide du bonus économique et des aides publiques pour l'AB.

Par ailleurs il n'y a pas eu, à notre connaissance, de comparaison des trajectoires de changement des différentes productions au sein des exploitations étudiées. Or il se peut que les changements de pratiques dans des exploitations diversifiées varient en fonction des productions présentes. L'agriculteur doit ainsi faire face à des décisions très complexes pour organiser la transition de son exploitation vers un système de production plus agroécologique.

1.4. *Des politiques agricoles encore hésitantes pour accompagner l'agroécologie*

Les décideurs politiques répondent à la demande des citoyens vers une réduction des pollutions sanitaires et environnementales liées à l'agriculture en concevant et mettant en place des politiques environnementales. Cela comprend des mesures pour le développement de l'AB car ce modèle permet d'indéniables améliorations environnementales et répond à un marché. Tous les pays de l'Union Européenne notamment ont mis en place des politiques de soutien à l'AB (Stolze and Lampkin, 2009). Par ailleurs des mesures visent à encourager l'écologisation des pratiques des agriculteurs qui ne se convertissent pas à l'AB. A l'échelle européenne, une partie du budget

de la Politique Agricole Commune est ainsi dédié au paiement de services environnementaux, c'est-à-dire à la rémunération directe des agriculteurs pour la mise en place d'actions en faveur de l'environnement comme le maintien de prairies permanentes (Engel et al., 2008). A l'échelle nationale, la France a spécifiquement développé un projet d'action pour l'agroécologie (Alim'agri, 2018). Le gouvernement propose notamment des Mesures Agro-Environnementales et Climatiques (MAEC) pour rémunérer à l'hectare la mise en place de pratiques agroécologiques par les agriculteurs (ex : semis de bandes fleuries pour attirer les insectes bénéfiques). Le plan ECOPHYTO s'inscrit également dans ce projet, mobilisant chercheurs, conseillers et agriculteurs pour diminuer l'utilisation des pesticides de synthèse. Le modèle de l'agroécologie au sens strict avait initialement été choisi pour ECOPHYTO en 2008, basé sur des changements profonds dans les exploitations pour développer les services écosystémiques. Mais ce modèle n'a pas été adopté massivement par les agriculteurs et en 2014 le gouvernement a réorienté le plan ECOPHYTO vers des solutions basées sur des intrants externes plus simples à mettre en place, comme le biocontrôle (Aulagnier and Goulet, 2017).

L'ensemble de ces mesures ont un impact mitigé sur l'évolution des pratiques des agriculteurs. La surface agricole en AB, bien que connaissant une augmentation annuelle de 12%, ne concerne que 6,6% de la surface agricole en France en 2017 (Agencebio, 2018). Cette surface est du même ordre de grandeur dans l'Union Européenne (Agencebio, 2016). Durant les cinq premières années du plan ECOPHYTO, une hausse de 5% des pesticides a été observée en France (Guichard et al., 2017). Les contrats agro-environnementaux français sont faiblement adoptés (22% des surfaces agricoles en 2013) en comparaison à ceux d'autres pays européens (ex : 93% en Finlande) (Eurostat, 2017). Et plus généralement, les surfaces sous contrats agro-environnementaux dans l'Union Européenne n'ont augmentées que de 4% ces huit dernières années, plafonnant à 25% des surfaces en 2017 (Recap, 2017).

2. Problématique de l'étude

Les consommateurs demandent aux producteurs de fruits, *via* leurs actes d'achat ou leurs représentants politiques, de produire autrement. De nombreuses formes d'évolutions sont possibles, impliquant des changements plus ou moins profonds dans les exploitations relevant de processus décisionnels plus ou moins complexes de la part des producteurs (Duru et al., 2015a; Hill and Macrae, 1995). En effet, l'adoption de pratiques agroécologiques peut modifier le fonctionnement de l'exploitation, comme une réorganisation du travail, et doit être adaptée au contexte de l'exploitation, par exemple aux exigences du circuit de vente (Navarrete et al., 2015).

Différents outils politiques ont été mis en place en Europe pour encourager les changements de pratiques des agriculteurs mais leurs effets sont peu visibles aujourd'hui.

Face à ces constats, notre étude s'est intéressée à l'analyse des dynamiques de transitions agroécologiques dans les exploitations fruitières et à leur accompagnement. Nous avons choisi de placer au cœur de notre travail les interactions entre trois acteurs centraux de la transition agroécologiques : les agriculteurs, les consommateurs et les décideurs politiques (Figure 1). Plutôt que de proposer un outil d'accompagnement directement aux agriculteurs, souvent fortement contraints et demandeurs de conseils d'ordre tactique ou opérationnel (Le Gal et al., 2010), nous avons choisi d'accompagner les questions stratégiques des décideurs politiques qui agissent *via* les aides pour orienter les pratiques des agriculteurs.

Le terrain choisi pour cette étude est l'île de La Réunion, un département français situé dans l'Océan Indien (2512 km² ; 21° 06' 52" Sud, 55° 31' 57" Est). La Réunion est reconnue comme un hot-spot de biodiversité, terrestre et marine, et certains de ses paysages sont inscrits au patrimoine mondial de l'UNESCO. Protéger cet environnement est un enjeu politique important mais d'autres enjeux sont également à prendre en compte. L'agriculture est une activité économique importante qui occupe 18% de la surface de l'île. Le secteur agricole emploie 6% de la population active, un atout stratégique dans ce département avec un taux de chômage de 25% (Outre-Mer, 2016). Les décideurs politiques réunionnais disposent pour développer leur agriculture de nombreuses aides de l'Union Européenne. En contrepartie, leur politique doit répondre aux directives européennes, de plus en plus strictes sur l'usage des intrants de synthèse. Les dispositifs nationaux sont également mis en place pour la production fruitière à La Réunion, notamment le plan ECOPHYTO et les mesures agro-environnementales et climatiques (MAEC). Et dans le cadre du projet agroécologique pour la France, la Réunion doit aussi présenter un plan d'action concernant l'agriculture biologique. Ce territoire d'enjeux affichant une volonté de développer l'agroécologie, avec une forte proximité entre décideurs politiques et agriculteurs, est apparu un terrain d'étude pertinent pour notre étude (Cg974, 2014).

A La Réunion au moment de la construction de notre problématique, les acteurs locaux souhaitaient relancer la filière agrumes, en difficulté face aux importations et aux impasses techniques concernant certains bioagresseurs. En réponse à cette demande, le CIRAD a mis en place un dispositif de recherche innovant basé sur le couplage de trois travaux de thèse relevant de disciplines et d'échelles différentes mais appliqués à la filière agrumes réunionnaise. Notre travail s'est intégré à ce dispositif en s'orientant sur l'étude des exploitations agrumicoles réunionnaises, particulièrement intéressantes du fait de leur fort niveau de diversification. Ainsi,

ce travail de thèse a démarré un an après la thèse de Marie Rothé portant sur les relations écologiques en verger d'agrumes selon les modalités de gestion de l'enherbement. Et la thèse en géographie de Luca Piccin a débuté un an après ce travail, s'intéressant aux circuits de vente capables de favoriser la transition agroécologique.

Nous avons construit le projet de thèse en deux phases : une première phase analytique permettant une deuxième phase opérationnelle d'accompagnement. La phase analytique a pour but de décrire la diversité des transitions agroécologiques au sein d'exploitations diversifiées et de les expliquer par les stratégies des agriculteurs. Pour cela, l'analyse est limitée dans un premier temps aux systèmes de culture des agrumes. Cette première analyse vise à comprendre les déterminants de choix des pratiques actuelles et des trajectoires de changement de pratiques, pour toute la diversité des agriculteurs (conventionnels et biologiques). Ensuite, l'analyse est étendue aux autres cultures de l'exploitation afin de comprendre les dynamiques de transition agroécologiques des différentes productions et leurs interactions au sein des exploitations diversifiées.

La phase opérationnelle a pour objectif d'aider les décideurs politiques dans la conception de politiques pour la transition agroécologique. Elle s'appuie sur la conception d'un outil d'aide à la réflexion permettant d'évaluer *ex-ante* des politiques d'aides dans un contexte de marché évolutif, à l'échelle des systèmes productifs¹ (Géoconfluences, 2018). L'outil mobilise les connaissances acquises lors de la phase analytique. Sa finalité est d'être utilisé de manière participative avec les décideurs politiques.

¹ Le système productif est un concept en géographie désignant un ensemble d'activités productives fonctionnant en système à vaste échelle (géoconfluences, 2018). Dans cette thèse, nous définissons un système productif comme la combinaison d'un bassin de production et de ses marchés (sur le même territoire ou à l'export). Le bassin de production correspond à l'ensemble des exploitations dans un espace donné qui produisent la production considérée.

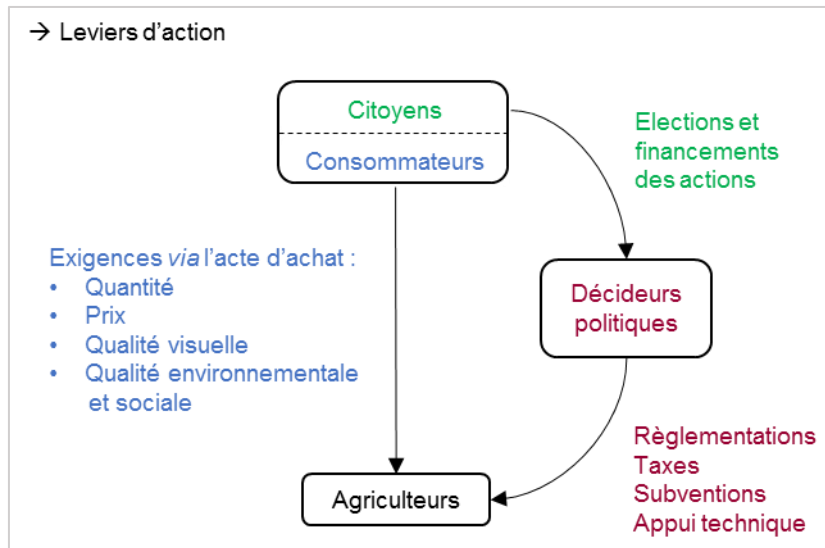


Figure 1 : Interactions entre agriculteurs, décideurs politiques et citoyens-consommateurs

3. Cadre théorique et méthodologique

3.1. Analyse du processus de transition agroécologique à l'échelle de l'exploitation

Relier les pratiques à l'échelle du système de culture avec des éléments contextuels à l'échelle de l'exploitation permet de comprendre la cohérence des choix des agriculteurs. En effet, l'agriculteur prend ses décisions en fonction de ses objectifs, de ses ressources en terre, main d'œuvre et capital et de ses opportunités, notamment de marché (Osty, 1978). Brodt et al. (2007) ont ainsi mis en évidence des stratégies d'exploitations différentes chez les producteurs d'amandes et de vigne aux Etats-Unis, expliquant de fortes différences dans l'adoption de pratiques agroécologiques en fonction de leurs objectifs personnels en terme de revenu, de protection de l'environnement et de mode de vie notamment.

Deux types de méthodes de sélection des exploitations à enquêter sont envisageables en fonction de l'objectif cognitif poursuivi. Dans un premier cas on cherche à obtenir une vue d'ensemble de la population étudiée *via* un échantillon représentatif. Des questionnaires directifs sont utilisés et appliqués à un nombre suffisant d'individus (Fairweather and Campbell, 2003). L'analyse des données recueillies est alors essentiellement quantitative et statistique, et son pouvoir explicatif est limité. Dans un deuxième cas on cherche à comprendre les mécanismes à l'origine des phénomènes que l'on étudie, dans toute leur diversité (Eisenhardt and Graebner, 2007). On peut alors enquêter un échantillon plus restreint d'exploitations sélectionnées pour couvrir toute la

diversité envisageable par rapport au contexte et à la question étudiée (Grover and Gruver, 2017). Les exploitations sélectionnées vont alors faire l'objet d'enquêtes plus approfondies combinant données quantitatives et qualitatives, dont l'analyse cherche à produire un modèle explicatif aussi générique que possible. Notre étude a fait appel à de deuxième cas de figure.

Il est intéressant d'analyser les dynamiques temporelles de changement de pratiques dans les exploitations car cela permet d'identifier les éléments déclencheurs et les conditions favorables au changement, ainsi que les conditions de « blocage » (Chantre et al., 2015; Sutherland et al., 2012). Les méthodologies développées pour décrire les dynamiques de changements de pratiques décomposent les trajectoires en enchainement de phases discontinues. La méthode qui a été la plus utilisée et adaptée est celle du cadre ESR (Hill and Macrae, 1995). Elle distingue trois phases après la phase d'utilisation intensive des intrants de synthèse : la phase « Efficiency » où les intrants de synthèse sont utilisés de manière plus efficace pour réduire leur utilisation, la phase « Substitution » où les intrants de synthèse sont remplacés par des intrants considérés comme moins dangereux pour l'environnement et la santé (ex : pièges à phéromones), et finalement la phase de « Redesign » où l'agriculteur repense son système de production pour ne plus utiliser d'intrants extérieurs. Cette méthode est très utile pour comparer les dynamiques de changement sur un seul aspect de l'itinéraire technique (ex : protection des cultures) pour une seule production mais plus limitée pour considérer un ensemble de pratiques et diverses productions au sein d'une exploitation car les différentes phases peuvent coexister (Lamine, 2011; Petit, 2013). C'est pourquoi nous avons développé dans cette thèse une méthode spécifique appelée « technical score », permettant de décrire les pratiques selon un continuum de changements pour chaque production.

La diversité des situations étudiées peut être simplifiée en « types » d'exploitations ayant des caractéristiques communes par rapport à la question étudiée (Girard et al., 2008; Kuivanen et al., 2016). Ces typologies sont des outils qui peuvent permettre (i) de modéliser la vision acquise par le chercheur de la cohérence des exploitations agricoles et (ii) décrire la diversité des agriculteurs auprès d'autres acteurs. Bohnet et al. (2011) ont ainsi décrit et modélisé une typologie d'éleveurs australiens pour mieux cibler les politiques de protection de la grande barrière de corail.

3.2. *Accompagnement des décideurs politiques à l'échelle des systèmes productifs*

La préoccupation des décideurs politiques est de choisir comment allouer au mieux les fonds dont ils disposent au regard de multiples objectifs tels que la création d'emplois, la protection de la

qualité de l'eau ou le maintien de prix alimentaires bas pour les consommateurs (Norton and Hazell, 1986). Ils ont donc besoin d'anticiper les conséquences économiques, environnementales et sociales des politiques qu'ils envisagent. S'ils disposent d'outils d'évaluation *ex-ante* et multicritères, ils peuvent réfléchir à une large gamme de politiques et sélectionner les options permettant un compromis satisfaisant entre leurs objectifs.

Une telle évaluation nécessite de considérer plusieurs échelles imbriquées (Ewert et al., 2011; Herrero et al., 2014). Le maillon minimum est l'exploitation car à cette échelle les agriculteurs ont leur propre problème décisionnel : ils décident comment répondre au mieux à la nouvelle politique mise en place en fonction de leurs objectifs, opportunités et contraintes. Mais considérer aussi l'échelle supérieure à laquelle les décisions politiques sont appliquées, filière ou territoire, permet de prendre en compte (i) les interactions entre agriculteurs, (ii) les relations entre production et demande et (iii) les conséquences environnementales sur les biens communs comme la qualité de l'eau (Payraudeau and Van Der Werf, 2005).

La modélisation a été utilisée dans de nombreux cas pour évaluer *ex-ante* des politiques agricoles (Arfini and Donati, 2013; Dolisca et al., 2009). Parmi ces modèles, les modèles mécanistes sont construits à partir de la vision des modélisateurs sur les processus ayant lieu dans la réalité. Par rapport aux modèles empiriques issus de relations identifiées dans des jeux de données, les modèles empiriques ont l'avantage de pouvoir simuler le comportement du système suite à l'introduction d'innovations ou à l'évolution du contexte. Notamment, les modèles d'optimisation sont des modèles mécanistes qui représentent le comportement d'un décideur en considérant qu'il a connaissance de toutes les options à sa disposition et dont il choisit la meilleure combinaison pour maximiser un ou plusieurs objectifs en respectant certaines contraintes. Appliquée à l'échelle de l'exploitation, l'optimisation permet de simuler le choix d'assolement d'un agriculteur qui cherche à maximiser ses objectifs (ex : son revenu) tout en étant limité par certaines contraintes (ex : sa main d'œuvre) (Janssen and Van Ittersum, 2007). De tels modèles sont dits "bioéconomiques" car ils combinent processus biotechniques (ex : rendement variable selon les conditions pédoclimatiques) et processus économiques (ex : marge brute variable selon le dispositif de subventions et de taxes).

Un des intérêts de l'optimisation est qu'une fois le système modélisé, on peut rapidement et sans prise de risque, tester de nombreux scénarios et obtenir des estimations quantitatives des indicateurs de résultats (Falconer and Hodge, 2001; Semaan et al., 2007). Un scénario correspond à la description d'un contexte externe (technique, politique et économique) pour lequel on simule la réaction du système. Les scénarios exploratoires ne visent pas à prédire le futur mais

à explorer les conséquences de possibles actions et évolutions du contexte (Börjeson et al., 2006). Ils peuvent ainsi être utilisés pour évaluer *ex-ante* les conséquences de différentes stratégies politiques (Janssen and Van Ittersum, 2007). Une des difficultés est la traduction des considérations politiques en scénarios quantitatives que peut simuler le modèle (Norton and Hazell, 1986; Therond et al., 2009).

Construire et évaluer les scénarios avec les porteurs d'enjeux de la problématique permet de s'assurer de la pertinence des scénarios et d'enrichir l'évaluation en intégrant des aspects non envisagés par les chercheurs mais importants pour les acteurs (Delmotte et al., 2016a; Hossard et al., 2013). Cette démarche participative est importante car l'apprentissage est plutôt lié aux discussions générées autour du modèle qu'aux solutions issues des simulations : « *the process rather than the product* » (Voinov and Bousquet, 2010). L'analyse participative de scénarios assistée par modèle a été mise en pratique sur des cas de gestion collective des ressources naturelles à l'échelle locale, par exemple en France dans les aires de captage d'eau (Chantre et al., 2016). Utiliser un modèle de manière participative constitue un défi, notamment pour construire un modèle simple afin qu'il soit compréhensible pour les acteurs mais assez complexe pour refléter leur réalité (Sempore et al., 2015; Voinov and Bousquet, 2010).

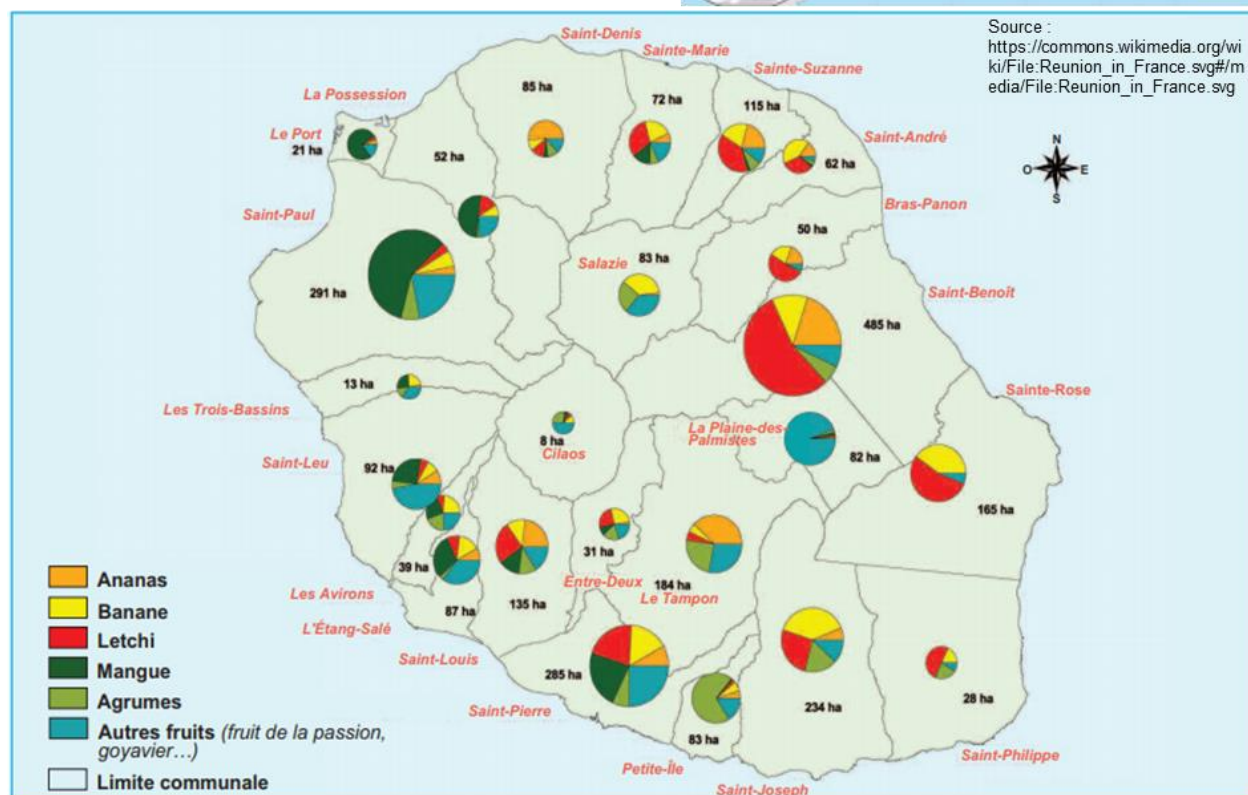
4. Contexte de l'étude

4.1. Les agrumes : des systèmes pérennes très sensibles aux ravageurs

Le terme « agrumes » désigne un ensemble de variétés fruitières pérennes pouvant s'hybrider facilement, caractérisés par des fruits divisés en quartiers composés de poils juteux et un épiderme renfermant des glandes à huiles essentielles (Jacquemond et al., 2013). Il regroupe les genres *Fortunella* (kumquats), *Poncirus* (porte-greffe *Poncirus trifoliata*), *Citrus* (cédrats, pomelos, oranges, bigarades, citrons, limes, pamplemousses, mandarines, combavas) et leurs hybrides (ex : clémentines, tangors).

A la Réunion, c'est une des cultures fruitières principales. Les agrumes sont cultivés dans de nombreuses zones de l'île, selon divers contextes bioclimatiques (Figure 2). En effet, l'île est marquée par une diversité de topographie (de 0 à 3000m d'altitude), de sols (27 types rencontrés) et de climats (de 500 mm/an et 24°C en moyenne sur la côte Ouest à 8000 mm/an et 12°C à 2000m d'altitude). La production d'agrumes est estimée à 8400 T/an sur 307 ha (Agreste, 2014 ; Chambre d'Agriculture de La Réunion, 2018).

Les fruits de La Réunion Surface par commune en hectares



Les vergers de litchis sont surtout présents dans l'Est et le Sud-est de l'île. La mangue est une culture de l'Ouest.
Source : Recensement agricole 2010

Figure 2 : Aires de production des agrumes et de l'ananas sur l'île de La Réunion

Les agrumes sont des plantes pérennes qui mettent plusieurs années avant d'atteindre le stade adulte et entrer en pleine production (ex : six ans pour le tangor *Citrus reticulata* Blanco x *Citrus sinensis* (L.) Osb.). Les vergers ne sont ensuite renouvelés que tous les 30 à 50 ans en moyenne à La Réunion. Si le caractère pérenne des agrumes limite la modification de la structure et de la génétique du verger, cette structure fixe permet l'aménagement d'habitats pérennes pour les auxiliaires : haies, bandes fleuries et enherbement des allées. A part pour quelques variétés de citrons, des limes et des combavas qui produisent toute l'année s'ils sont cultivés à basse altitude,

le cycle de production dure un an (Figure 3). La récolte et la taille post-récolte se déroulent de Juin à Septembre et peuvent générer de forts pics de travail. Les besoins de fertilisation, de gestion de l'enherbement et de protection contre les ravageurs et maladies peuvent être satisfaits par l'utilisation d'intrants de synthèse mais aussi par des pratiques alternatives (Table 1). La gestion des ravageurs et maladies, présents toute l'année en raison du climat subtropical, est particulièrement problématique car ils affectent fortement le rendement et la qualité visuelle des fruits. Même en conventionnel, les solutions chimiques autorisées sont insuffisantes pour gérer l'ensemble des bioagresseurs.

Table 1 : Pratiques conventionnelles et alternatives pour l'entretien des agrumes, inspiré de Bruchon et al. (2015).

Pratique conventionnelle		Pratiques alternatives
Fertilisation	Engrais de synthèse	Engrais organiques importés
		Fumiers / lisiers d'élevages locaux
		Composts locaux
		Engrais verts
		Restitution des résidus de culture
		Paillage plastique
Gestion de l'enherbement	Herbicides de synthèse	Cultures en intercalaire avec travail du sol
		Paillage naturel
		Fauche
		Plantes de couverture
		Pâturage par des animaux
		Pesticides homologués AB
Protection	Pesticides de synthèse	Pièges physiques ou chimiques
		Filets anti-insectes
		Lâchers d'auxiliaires
		Prophylaxie (confinement des fruits tombés)
		Plantes pièges ou répulsives
		Aménagement de haies ou bandes fleuries

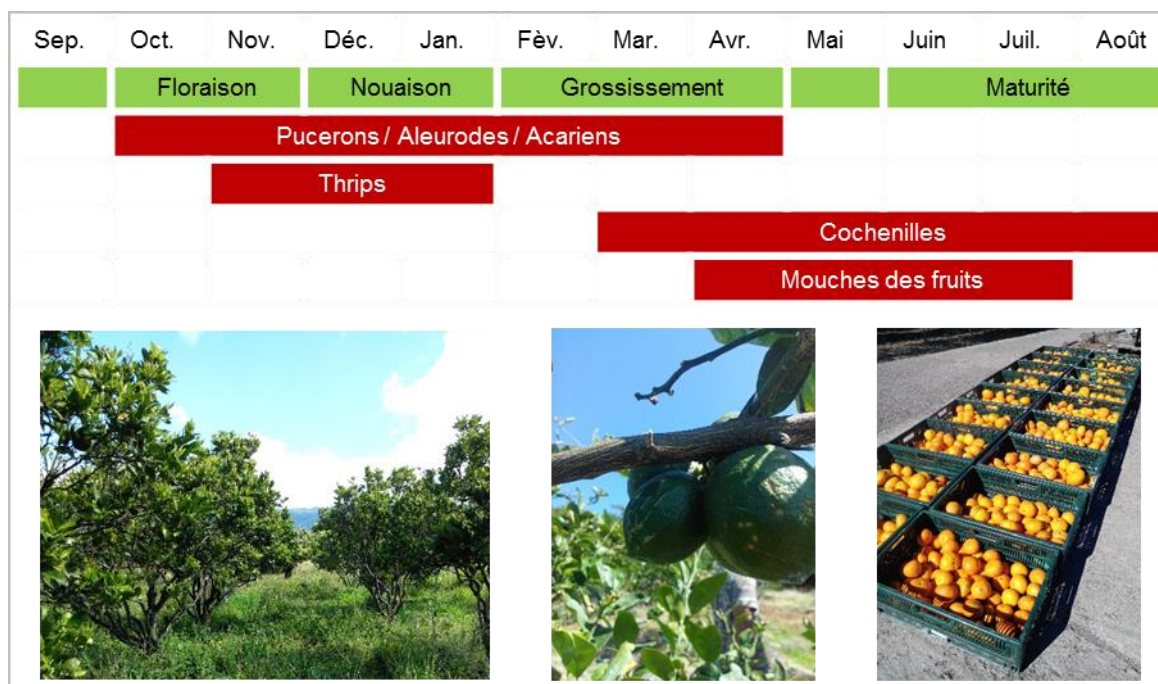


Figure 3 : Cycle de production des agrumes à La Réunion et périodes à risque concernant les principaux ravageurs.

4.2. Des exploitations agrumicoles petites et diversifiées

La production d'agrumes réunionnaise est assurée par une majorité d'exploitations de petite taille (moyenne régionale de 6 ha) et fortement diversifiées, notamment avec l'ananas Victoria (*Ananas comosus* (L.) Merr.) (Agreste, 2014; Agreste, 2015). Ce dernier est très rémunérateur, avec un marché porteur, notamment à l'export (Figure 4). Il s'agit également d'une des cultures fruitières principales de l'île cultivée dans de nombreuses zones (Figure 2). La production d'ananas est estimée à 6500 T/an (comm. pers. ARIFEL, 2018) sur 357 ha (Agreste, 2014). La durée de son cycle varie de 12 à 24 mois selon l'altitude. L'ananas a été particulièrement étudié par les chercheurs à La Réunion et c'est pourquoi il a été choisi dans cette thèse comme culture « modèle » de diversification dans les exploitations agrumicoles.



Figure 4 : L'ananas de La Réunion se vend à prix d'or sur les étals de la Métropole (Rouen, 2016).

4.3. Spécificités du marché réunionnais pour la production fruitière

La Réunion est caractérisée par une diversité des modes de mise en marché des fruits plus marquée qu'en France métropolitaine. Seulement 20% des fruits sont commercialisés *via* des coopératives pour les collectivités, les grandes et moyennes surfaces, l'export ou la transformation. Les 80% restants sont vendus soit directement par les agriculteurs soit *via* des petits revendeurs appelés « bazarriers ». Ils sont achetés sur les marchés, en bord de route ou dans des petits magasins de quartier.

La demande en fruits est en forte croissance, stimulée par l'augmentation régulière de la population de l'île mais aussi par les débouchés non saturés de la transformation et de l'export (en ananas, mangue et litchi). Il y a également des parts de marché à gagner sur l'import pour certaines productions, notamment en agrumes où 50% des volumes consommés sont importés (à part pour les agrumes spécifiques de La Réunion comme le tangor) (Table 2). La demande en produits certifiés est en augmentation, notamment celle pour des produits locaux car ils sont associés à l'image d'une agriculture réunionnaise peu intensive. Toutefois, les fruits AB ne représente encore que 6% des surfaces, dont la majorité est commercialisée en vente directe (Agreste, 2017).

Table 2 : Comparaison des variétés d'agrumes produites localement et importées

	Surface locale (ha en 2010)	Import (tonnes en 2015)
Oranges et ses hybrides	112	4000
- dont Tangor	67	0
Mandarines et ses hybrides	141	1684
Citrons	30	1319
Limes	1	
Combava	10	0
Pamplemousses, pomelos et hybrides	5	257
Autres agrumes	8	NA
	Production locale (tonnes en 2015)	Import (tonnes en 2015)
Total	8413	7260

5. Démarche de recherche

La première phase d'analyse du processus de transition agroécologique dans les exploitations est traitée dans les chapitres 2 et 3 du mémoire (Figure 5). La deuxième phase de conception et d'utilisation d'un outil d'aide à la réflexion à l'échelle du système productif pour les décideurs publics est traitée dans le chapitre 4. Chaque chapitre répond à une problématique indépendante sous la forme d'un article scientifique publié (chapitre 2), soumis (chapitre 3) et à soumettre (chapitre 4). Les *supplementary materials* sont présentés en annexes, regroupés par chapitre.

5.1. Chapitre 2 : Analyser la diversité des transitions agroécologiques en verger d'agrumes et leurs déterminants à l'échelle de l'exploitation

Notre première étape a cherché à mieux comprendre pourquoi les agriculteurs ne sont pas tous au même niveau d'avancement dans la transition agroécologique, en se basant sur le seul cas des agrumes.

L'objectif du chapitre 2 est d'analyser les déterminants de choix des pratiques actuelles et des trajectoires de changement de pratiques, pour toute la diversité des agriculteurs (conventionnels et biologiques).

Pour cela, 31 exploitations ont été enquêtées pour approfondir les liens entre la trajectoire de pratiques sur le système de culture agrumes et le contexte interne et externe de l'exploitation. Cet échantillon d'exploitations a été choisi pour couvrir une large gamme de contextes pédoclimatiques et technico-économiques afin de décrire et comprendre la diversité des dynamiques de transition existantes. L'analyse compréhensive des entretiens semi-directifs et l'analyse statistique des pratiques actuelles a permis de formaliser une typologie des gestions du verger reliée aux stratégies des agriculteurs. Pour décrire les trajectoires de changement de pratiques, un nouvel indicateur appelé « technical score » a été conçu. Basé sur le type d'intrants utilisé (de synthèse ou alternatif), il note les différentes dimensions de l'itinéraire technique (fertilisation, protection et gestion de l'enherbement) à partir de données qualitatives d'enquête. Il permet de représenter le niveau d'écologisation du mode de gestion à l'échelle d'un système de culture. Les trajectoires ainsi formalisées ne sont pas segmentées en phases mais décrites par l'évolution du « technical score ». Les résultats montrent que la transition agroécologique n'est pas un processus linéaire et homogène mais plutôt caractérisé par une forte diversité et une logique de remise en question pas-à-pas. Cette analyse débouche sur une proposition de typologie des dynamiques de transition agroécologique appliquée aux systèmes de culture agrumes, enrichie par l'analyse des moteurs et freins aux changements. Cette typologie explicative peut être mobilisée d'une part pour la conception de systèmes innovants et d'autre part par les décideurs politiques ou les conseillers agricoles pour adapter leur accompagnement.

L'article retraçant cette étude est publié dans la revue *European Journal of Agronomy*.

5.2. *Chapitre 3 : Comprendre l'organisation de la transition agroécologique dans les exploitations diversifiées*

Lors de cette première phase d'analyse, il est apparu que le mode de gestion des agrumes dépend fortement de leur place par rapport aux autres productions de l'exploitation. La deuxième étape a donc consisté à étudier les dynamiques de changement de pratiques sur l'ensemble du système de production à l'échelle de l'exploitation.

Le chapitre 3 vise à comprendre l'organisation de la transition agroécologique dans les exploitations diversifiées et les interactions entre les productions par rapport à cette transition.

Pour cela, nous avons comparé avec l'indicateur du « technical score » les dynamiques de plusieurs productions au sein de 28 exploitations précédemment enquêtées (3 exploitations

spécialisées ont été retirées de ce nouvel échantillon). En plus des agrumes, dix-huit productions végétales différentes ont été étudiées (pérennes, semi-pérennes ou annuelles). Une analyse statistique a permis d'explorer les corrélations entre pratiques agroécologiques et caractéristiques de la production (ex. durée de cycle, sensibilité aux bioagresseurs, appui technique) afin d'évaluer les spécificités des productions vis-à-vis de la transition agroécologique.

Puis une analyse des discours des agriculteurs a permis de catégoriser les interactions entre les productions freinant ou favorisant l'adoption de pratiques agroécologiques. Il apparaît que les productions sont en compétition pour les ressources de l'exploitation, notamment la main d'œuvre, mais il peut aussi y avoir des échanges synergiques de biomasse et de connaissances, et des mutualisations d'intrants et d'équipements. Six dynamiques de transition agroécologique à l'échelle de l'exploitation ont été mises en évidence, différant par la vitesse d'écologisation : progressive ou « de rupture », homogène ou hétérogène entre les différentes productions de l'exploitation. Cette typologie peut être utile pour repenser l'accompagnement de la transition des agriculteurs, s'appuyant sur les complémentarités entre productions au sein des exploitations.

Cette analyse est actuellement en évaluation sous forme d'article à la revue *Ecology and Society*.

5.3. *Chapitre 4 : Evaluer ex-ante l'effet des politiques d'aides et des marchés sur les changements de pratiques des agriculteurs*

Cette phase d'analyse à l'échelle des exploitations a fait émerger l'importance du circuit de commercialisation sur les opportunités de transition agroécologique, au travers des prix pratiqués et des exigences de qualité visuelle ou environnementales des consommateurs. L'analyse a également souligné le faible impact des aides dans les dynamiques de changement, alors que La Réunion dispose d'un budget conséquent pour mettre en place des aides agricoles et s'inscrit dans un projet agroécologique national. L'étape finale a donc été de proposer aux décideurs politiques un outil d'aide à la réflexion pour concevoir des aides plus efficaces pour accompagner la transition agroécologique.

L'objectif du chapitre 4 est la construction et le test d'un modèle à l'échelle du système productif pour évaluer *ex-ante* les politiques publiques en prenant explicitement en compte les demandes des consommateurs.

L'outil appelé ENTICIP, pour Evaluation Territoriale des Interactions entre Consommation, Interventions publiques et Production agricole, est basé sur un modèle bioéconomique

d'optimisation multi-échelles. La structure du modèle est générique et permet de représenter un système productif comme un bassin de production composé de différents types d'exploitations, relié par la demande à un bassin de consommation composé de différents segments de marché ayant des exigences et des prix d'achat variables. Nous avons testé le modèle en l'appliquant au cas de la production fruitière réunionnaise, simplifiée à la modélisation des systèmes productifs ananas et tangor. La base de données et la structure du modèle mobilisent les connaissances acquises lors de la phase analytique des chapitres 2 et 3 et des sources d'information complémentaires (experts et littérature). Le fonctionnement d'ENTICIP est illustré avec des scénarios exploratoires sur la conversion à l'AB dans un contexte de développement massif de la demande en AB pour des prix de vente peu supérieurs au conventionnel. Les scénarios testent différents montants d'aides et les résultats montrent que pour atteindre 15% de la surface totale en AB il faudrait quadrupler les aides actuelles. Ce dernier scénario serait encore insuffisant pour développer une gamme AB pour l'ensemble des segments de marché. ENTICIP met en évidence que l'effet des aides est très variable selon les types d'exploitations, notamment selon leurs productions et leurs circuits de vente. Son utilisation de manière participative ouvre des perspectives intéressantes pour l'échange de connaissances avec les décideurs politiques.

Ce chapitre se présente sous forme d'un article en français qui sera traduit et soumis très prochainement à *Agricultural Systems*.

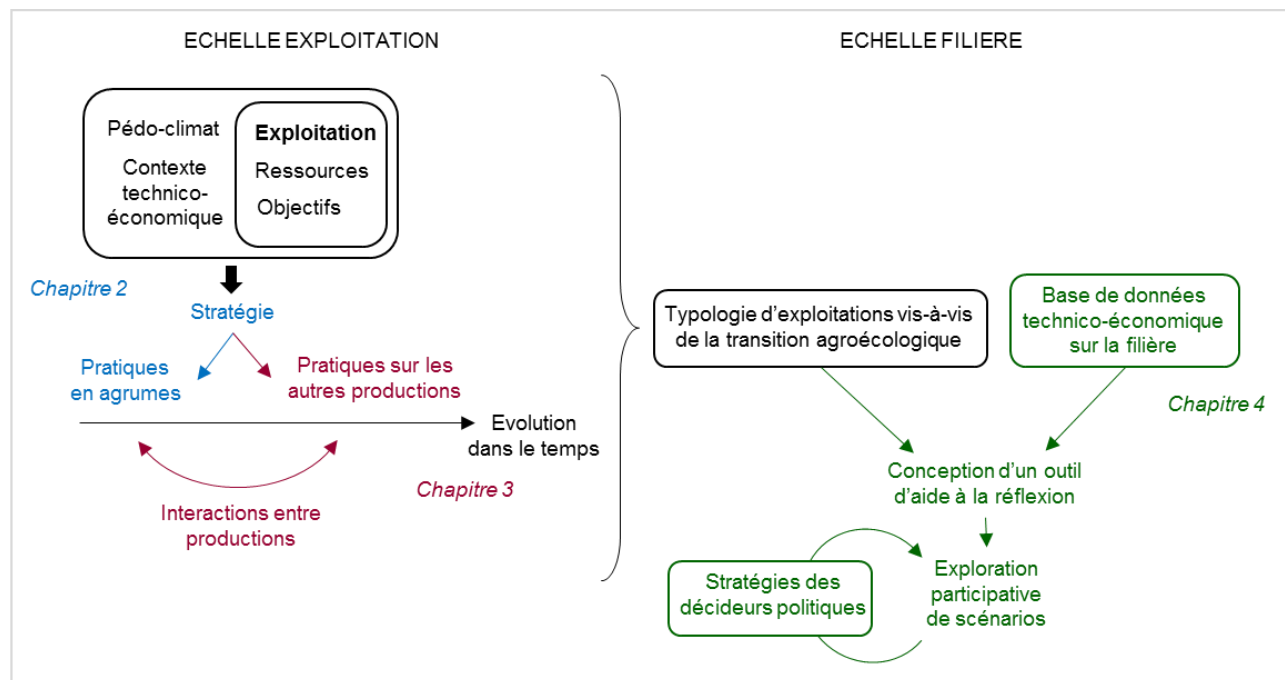


Figure 5 : Vue d'ensemble sur les échelles, objets d'étude et articulations des différents chapitres de la thèse

Chapitre II. Diverse dynamics in agroecological transitions on fruit tree farms

Cet article a été publié dans la revue European Journal of Agronomy (Annexe 7).

Dupré, M., Michels, T., Le Gal, P.-Y., 2017. Diverse dynamics in agroecological transitions on fruit tree farms. Eur. J. Agron. 90, 23-33. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.07.002>

Marie Dupré ^{a*}, Thierry Michels ^a, Pierre-Yves Le Gal ^b

^a CIRAD, UPR HORTSYS, 97455 Saint-Pierre Cedex, France

thierry.michels@cirad.fr

^b CIRAD, UMR Innovation, F-34398 Montpellier, France

pierre-yves.le_gal@cirad.fr

* Corresponding author: marie.dupre@cirad.fr

Abstract

Agroecological transition refers to the adoption by farmers of practices based on on-farm biological processes rather than imported or non-renewable inputs. Drawing from a comprehensive survey of 31 diversified farms cultivating citrus on Réunion Island (Indian Ocean, France), this study aims to understand the diverse dynamics in farmers' agroecological transitions and to identify the factors and processes driving farmers' choices. The analysis considers both the current protection, fertilization and weed control practices implemented by farmers in their orchards and the trajectories of change they have followed over the last thirty years. Orchard management was categorized according to the kind of inputs mobilized (i.e., "synthetic inputs", "alternative off-farm inputs" and "alternative on-farm inputs"). Diverse managements were observed, targeting security, autonomy, ecology or simplicity. The six types of practice trajectories identified illustrate the diverse and incremental nature of agroecological transition. Drawing from these results, drivers of alternative practice adoption and lock-in effects in synthetic input reliance were characterized. Internal drivers, depending directly on the farmer and his/her farm, included the characteristics of the orchard and its environment, the labor force, and the farmer's environmental concerns. External drivers included local citrus markets, public legislation, access to extension services, the organization of input supply and the social environment. The combination of these internal and external drivers at the farm level makes each farm relatively unique. However, three factors determine the main differences in practices: the marketing channel used, the farmer's environmental objectives, and the farmer's economic behavior, which is linked to the weight of the

crop activity in farm revenue. Understanding farmers' points of view and decisions regarding agroecological transition deserves the attention of scientists, agricultural advisors and policy makers when designing innovative cropping systems, new support methodologies and incentives to respond effectively to farmers' objectives and contexts of action.

Key words: farming practices; farm typology; drivers; lock-in effects; citrus; La Réunion

1. Introduction

A key challenge facing agricultural sciences is to identify ways to support farmers' efforts to reduce the negative impacts of agriculture on health and the environment while increasing global food security. Agroecology is increasingly proposed as a solution (De Schutter, 2012), but this complex concept remains difficult to translate into agricultural practices. A strict definition considers practices to be agroecological when they rely only on on-farm biological processes (Rosset and Altieri, 1997b). A broader definition also includes practices such as physical control or off-farm biological inputs (Wezel et al., 2014). Regardless of the definition used, agroecological practices are supposed to reduce the use and negative environmental impacts of synthetic inputs.

Many research studies have aimed to define and evaluate at the plot level the best practices based on agroecological principles (Reckling et al., 2016). Only a few have focused on understanding how farmers shift from conventional practices (i.e., based on synthetic inputs) to agroecological ones by taking into account the whole farm level, considered as a system (Le Gal et al., 2010). These studies have investigated either the diversity of farmers' current practices or their trajectories of practice changes. Analyses of current practices have sought to clarify the reasons alternative practices are adopted, based either on statistical analyses of quantitative questionnaires applied to large samples (Epule and Bryant, 2016; Fairweather and Campbell, 2003) or in-depth explorations of a few case studies (Brodt et al., 2007). Studies based on statistical analyses have highlighted interactions between socio-economic characteristics of farms/farmers and current practices (Pannell et al., 2006). Meanwhile, studies based on case studies have highlighted the drivers of current practices, such as marketing channels and farmers' social, economic and environmental goals (Pissonnier et al., 2016). Analyses of the trajectories of practice changes have focused on either all of the activities on a farm or specific farming activities. At the farm scale, increased agrobiodiversity and off-farm activities have been described as being part of the agroecological transition process (Blesh and Wolf, 2014). At the scale of the cropping system, multiple pathways of synthetic input reduction have been described, but disconnected

from explanative elements of farm context (Chantre et al., 2015; Lamine, 2011). These trajectories differ in terms of the timeline of intermediary steps classified with the “Efficiency-Substitution-Redesign” (ESR) framework (Hill and MacRae 1996). This framework assumes that farmers first move from an intensive use of synthetic inputs to a more rational use of synthetic inputs to improve “efficiency” (E). They then move to a “substitution” (S) of synthetic inputs by non-synthetic ones, used exactly in the same way and for the same purpose. Eventually, they “redesign” (R) the entire system as an agro-ecosystem based on ecological processes rather than external inputs (e.g., introduction of legumes in the crop sequence). Two weaknesses of the ESR framework limit understanding of farmers’ transitions: (i) the three steps may be implemented at the same time by a farmer at the scale of crop management (Chantre and Cardona 2014); and (ii) some practices are difficult to classify as either “substitution” or “redesign”. For instance, mechanical mowing may correspond to a simple substitution of equipment and inputs or may be part of a redesign strategy aiming to improve biological control.

Most studies of agroecological transition trajectories have focused on farmers who are deeply involved in the transition process. Knowledge is lacking on the trajectories of other farmers, although they remain in the majority. Moreover, to the best of the author’s knowledge, no study has jointly analyzed the drivers of farmers’ choices in both their current practices and their trajectories of practice changes, although these two areas could provide complementary findings. This paper aims to fill these gaps by describing the dynamics of the agroecological transitions of all of the diverse types of citrus farmers and farms on Réunion Island, and clarify the drivers of these transitions. Knowledge about the objectives and constraints of farmers and the progressiveness of change at the farm level should improve the way scientists design innovative cropping/livestock systems by including adoptability in the design process. Policy makers and agricultural extension services could also benefit from this knowledge by adjusting their support of agroecological transition to different farm situations.

The study is based on a comprehensive survey of 31 farms cultivating citrus combined with others crops and livestock on Réunion Island (Indian Ocean, France). This context presents particularly interesting characteristics for studying agroecological transition at the farm level. Firstly, fruit tree farms face high pressure from pests and diseases with constraints such as the absence of annual crop succession, but also enjoy opportunities to enhance conservation biological control, such as the permanence of habitats (Simon et al., 2017). Secondly, Réunion Island applies public regulations and objectives regarding pesticide usage both at European (e.g., the Pesticides Directive 2009/128/EC) and French levels (e.g., Ecophyto 2), which should encourage farmers’ dynamics of change. Thirdly, perennial citrus crops are traditionally grown in orchards in

contrasting environments with regard to altitude, crop combinations and marketing channels. This diversity enables a large range of situations to be explored within a small sample of farms. Three management dimensions (protection, fertilization and weed control) were jointly studied to evaluate the progressiveness of change within each farm. These management dimensions were chosen for their range of input use, from conventional synthetic ones to agroecological alternatives, following the broad definition of agroecology. The agronomic, political and economic context of citrus production on Réunion Island is first presented to ground the case study in its explanatory context. An alternative to the ESR framework is then developed in the case study. Current farmers' practices and trajectories of practice changes are described combining two approaches to construct farm typologies. The drivers behind and barriers to agroecological transition are formalized. Finally, the contributions of the study to research on sustainable farming transitions are discussed.

2. Materials and methods

2.1. Context

Réunion is a small island (2512 km²) in the southwestern part of the Indian Ocean (21°S, 55°E). Due to the mountainous relief, the citrus production area includes a range of altitudes (0 to 1200 m), average annual rainfall (from 500 to 3500 mm) and temperature conditions (from +15°C to +25°C). Compared to Mediterranean regions, citrus face high pest pressure which damages visual quality.

More than 25 species and varieties of citrus are grown on the island. The main cultivars grown are mandarins (*Citrus reticulata* Blanco), oranges (*Citrus sinensis* (L.) Osb.) and lemons (*Citrus limon* (L.) Burm), while combavas (*Citrus hystrix* DC.) and limes (*Citrus aurantiifolia* (Christm.) Swing. and *Citrus latifolia* Tanaka) correspond to niche markets with higher added-value. Most farms combine several citrus species and varieties in their orchards.

At the beginning of the 1960s, local citrus farmers were supported by a reliable network of public extension services. In the 1980s, mainstream orchard management was based on synthetic inputs (systematic synthetic pesticide applications, synthetic fertilizers and chemical weeding in ranks and alleys) (Grisoni et al., 1993). The first agri-environmental measures were proposed to farmers in the late 1990s, when the public extension services supported farmers to establish permanent grass cover in inter-rows controlled with mechanical weeding to reduce erosion. In the 2000s, the extension services began to provide information about the role of grass cover in biological control

and to test cover crops with legumes on farmers' plots. Farmers were also supported in the adoption of chemical traps, biopesticides and removal of fallen fruits. More recently, in the 2010s, support has been given to farmers to recycle wood from pruning instead of burning it to increase soil organic matter.

Since the 1960s, citrus have been sold by farmers to local retailers or directly on street markets. From the 2000s onwards, public policies have encouraged the formation of co-operatives to integrate farmers into the formal economy, which currently includes only 10% of the Island's total citrus area. By joining a cooperative, farmers gain access to public subsidies ranging from 195 to 375€/ton of citrus fruit; subsidies can be even higher if the farmer is part of a quality certification process such as organic farming (OF). Cooperative members benefit from technical support for some alternative practices such as mechanical weeding and inundative biological control. Cooperatives mainly sell to local supermarkets. The marketing of citrus thus uses various channels (see Table 3).

Table 3: Characteristics of the marketing channels used for the hybrid "Tangor" (source: own survey conducted in 2015)

Marketing channel	Selling price (€/kg)	Requirements
Juice producers	0.9	Small fruits
Local retailers	[0.8 - 1.8]	Large fruits with no visual damage
Cooperatives	[0.9 - 1.3]	Large fruits with no visual damage
Cooperatives with OF ¹ label	[1.8 - 2.2]	Large fruits with no visual damage - OF label
Direct selling	1.8	Large fruits with no visual damage
Direct selling with OF label	2.8	No biopesticide residues on fruits - OF label

¹Organic Farming

2.2. In-depth exploration of farm case studies

A case-study based methodology was chosen as the most relevant approach to tackling an issue as complex as farmers' agroecological transitions (Blesh and Wolf, 2014). This methodology consists in studying a limited number of cases but within their individual contexts to understand their historical and environmental specificities (Eisenhardt and Graebner, 2007). Since the study aimed to cover the diversity of current citrus-based farming systems, the sample included a wide range of farms and not only ones already involved in radical changes (Nave et al., 2013).

Due to the lack of an official list of citrus producers, farmers were contacted directly at open-air markets or through various stakeholders: public extension agents, private advisors, sellers of alternative inputs, consumers' organizations, certifying bodies and cooperatives. The final sample

was diversified by selecting farmers based on three easily available farm characteristics that potentially impact crop management choices (Bellon et al., 2001; Pissonnier et al., 2016): main marketing channel, OF certification and citrus orchard area. A minimum orchard area of 0.2 ha (i.e., about 80 citrus trees) was considered to avoid cases of subsistence production. The final sample comprised 31 farms and 83 ha of citrus orchards, corresponding to 6% of the farms cultivating citrus and 27% of the total estimated citrus area in La Réunion (Agreste, 2014).

Farmers were surveyed between December 2015 and September 2016. Face-to-face interviews were conducted during one to three hours and were combined with orchard observations. Some farmers were met twice to build trust and collect missing data. The objective of these semi-structured surveys was to understand each farmer's management strategy. They consequently were structured around an open discussion of the following four main points:

(i) Current and past practices implemented in the citrus orchard were listed, and farmers were directly asked to identify what drove their choices and changes. How practices evolved was assessed from the beginning of the citrus activity to the moment of the survey. This discussion explored farmers' awareness of the toxicity of inputs, biological processes, their interest in innovation and expectations regarding comfort at work. The choices of practices were grounded in the environmental context of pest pressure, climate, topography and soils.

(ii) Quantitative and qualitative data about farm structure (land, labor force and equipment) were collected to understand the context of the citrus activity. The budget and time dedicated to citrus can be deduced from these data.

(iii) Information on farm functioning also was collected: work organization, marketing channels and involvement in social networks. Marketing strategy was deduced from the choice of marketing channels, the selling prices of citrus, the volume of citrus produced and the yield and visual quality objectives.

(iv) Farmers' current satisfaction and their short and long-term projects were discussed. Satisfaction with current economic results, taking into account potential off-farm revenues and the number of persons living on the revenues generated by the farm, even family or employees, indicate the global economic objectives of a farmer. The rank of the citrus activity in income generation gives an indication of the economic objective of the citrus activity and the risks taken in this activity. The farmers' interactions with social networks clarify whether a pursuit of prestige is driving their farming choices.

2.3. *Designing typologies of farms and practice trajectories focused on agroecological transition*

Typologies are useful tools to assist in-depth farming analysis through the simplification of multiple diverse cases into typical groups (Kuivanen et al., 2016; Landais, 1998). Generic phenomena are easier to identify in these roughly homogeneous groups. In a first step, statistic tools were used to create management types following a methodology formalized in previous studies (Köbrich et al., 2003).

Potential practices in tropical orchards identified by Bruchon et al. (2015) were grouped into three management categories reflecting various degrees of change in relation to the nature and origins of inputs used

Table 4). The reference category was 'conventional management', grouping together the practices implemented before the 1990s: use of synthetic pesticides, synthetic fertilizers, copper and sulfur. The 'off-farm alternative management' category groups the practices where the nature of inputs was changed (no more agrochemicals) but not their origin (inputs are still imported). It includes the use of organic inputs and physical control based on fuel (mechanical weeding) or plastic (traps and nets). The 'on-farm alternative management' category includes conservation biological control, nutrients recycling and biological competition. It corresponds to a change both in the nature of inputs (only organic inputs) and their origin (on-farm). Each farmer's citrus management was described, for each of the management dimensions examined (protection, fertilization and weed control), by the use or not ("yes" or "no") of each input category. The management was thus coded with 9 qualitative variables with 2 modalities: "yes" or "no". Each variable was coded "yes" when the farmer implemented at least one of the practices of the category in 2015-2016 in his/her citrus orchard, "no" otherwise. The intensity and extent of use of a practice (quantity of inputs or percentage of the orchard treated) was not taken into account since few farmers recorded these figures. A similar choice has been made in previous works (Brodt et al., 2007).

Table 4 : Distribution of agricultural techniques regarding protection, fertilization and weed control in citrus orchards according to the degree of change in inputs

	Conventional management	Alternative management with off-farm inputs	Alternative management with on-farm processes
Protection	Synthetic pesticides Copper Sulfur	Biopesticides Release of natural enemies Traps Nets Removal of fallen fruits	Conservation biological control (e.g., flower strips, trap plants)
Fertilization	Synthetic fertilizers	Off-farm organic fertilizers	Nutrients recycling (e.g., green manure, livestock integration, restitution of crop residues)
Weed control	Herbicide	Plastic or natural mulch Mowing Tillage	Biological competition (e.g., cover crop, pasture)

A Multiple Correspondence Analysis (MCA) was conducted based on the nine binary variables. Farms were then grouped into farm types using an Agglomerative Hierarchical Clustering (AHC) algorithm using the results of the MCA as input variables. Analyses were executed in R (version 3.3.2) with the FactoMineR package (version 1.34) (Josse, 2008). The management types were then enriched with the description of the farmers' underlying strategy. The typology produced was finally proposed to local experts for validation.

The farm trajectories towards agroecology were then analyzed by considering the adoption of alternative practices and the ending of reliance on synthetic inputs. As information on past orchard management was less accurate, they were described more simply. For each farm, a “technical score” was calculated for four dates (1980, 1990, 2000 and 2010) to represent the use of alternative and synthetic inputs (see Figure 8 for its definition). Farmers with similar “technical score” sequences were grouped in the same trajectory group.

By comparing the actual practices adopted with the farmers' stated reasoning, it was possible to identify the factors driving the adoption of alternative practices and those locking farmers into the continued use of synthetic inputs. A driver was defined as “any natural or human induced factor that directly or indirectly brings about change in an agricultural production system” (Hazell and Wood, 2008). In contrast, a barrier effect prevents farmers from changing their systems.

3. Results

3.1. *A diversity of citrus management types explained by strategies at the farm level*

Four management types (MT) were identified based on the combination of MCA and CAH. Absence of conventional protection, fertilization and weed control, and presence of conventional fertilization are the modalities that contributed the most to the first MCA axis (Table 5), i.e., more than twice the mean contribution according to the criteria of Cibois (1997). This axis (Dim. 1) opposed farmers using conventional fertilization (MT1) on the left side to farmers banning all synthetic inputs on the right side (MT3) (Figure 6, Suppl. Mat. 1, appendix 1). Absence of alternative off-farm weed control and of alternative on-farm fertilization, and presence of alternative on-farm fertilization and weed control are the modalities that contributed the most to the second axis. This axis (Dim. 2) opposed farmers not implementing alternative off-farm weed control nor alternative on-farm fertilization on the top (MT4) to farmers implementing both alternative on-farm fertilization and weed control at the bottom (MT2). These two dimensions explain 49% of the data variance.

Table 5: The 18 modalities of the data set and their contributions (%) to the construction of the two first axes (Dim. 1 and Dim. 2) of the MCA. Each of the nine variables take two modalities: “yes” when the management is implemented, “no” otherwise.

N°	Modality	Name	Dim. 1	Dim. 2
1	Presence of conventional protection	CONV.PROT._yes	8.624	0.055
2	Absence of conventional protection	CONV.PROT._no	18.110	0.115
3	Presence of conventional fertilization	CONV.FERT._yes	12.241	0.225
4	Absence of conventional fertilization	CONV.FERT._no	16.949	0.311
5	Presence of conventional weed control	CONV.WEED._yes	8.145	0.187
6	Absence of conventional weed control	CONV.WEED._no	12.897	0.295
7	Presence of alternative off-farm protection	ALT.OFF.PROT._yes	5.724	2.930
8	Absence of alternative off-farm protection	ALT.OFF.PROT._no	9.063	4.639
9	Presence of alternative off-farm fertilization	ALT.OFF.FERT._yes	0.464	1.450
10	Absence of alternative off-farm fertilization	ALT.OFF.FERT._no	0.564	1.761
11	Presence of alternative off-farm weed control	ALT.OFF.FERT._yes	0.035	2.722
12	Absence of alternative off-farm weed control	ALT.OFF.FERT._no	0.329	25.403
13	Presence of alternative on-farm protection	ALT.ON.PROT._yes	5.031	3.669
14	Absence of alternative on-farm protection	ALT.ON.PROT._no	0.745	0.544
15	Presence of alternative on-farm fertilization	ALT.ON.FERT._yes	0.576	23.320
16	Absence of alternative on-farm fertilization	ALT.ON.FERT._no	0.274	11.105
17	Presence of alternative on-farm weed control	ALT.ON.WEED._yes	0.200	18.525
18	Absence of alternative on-farm weed control	ALT.ON.WEED._no	0.030	2.744

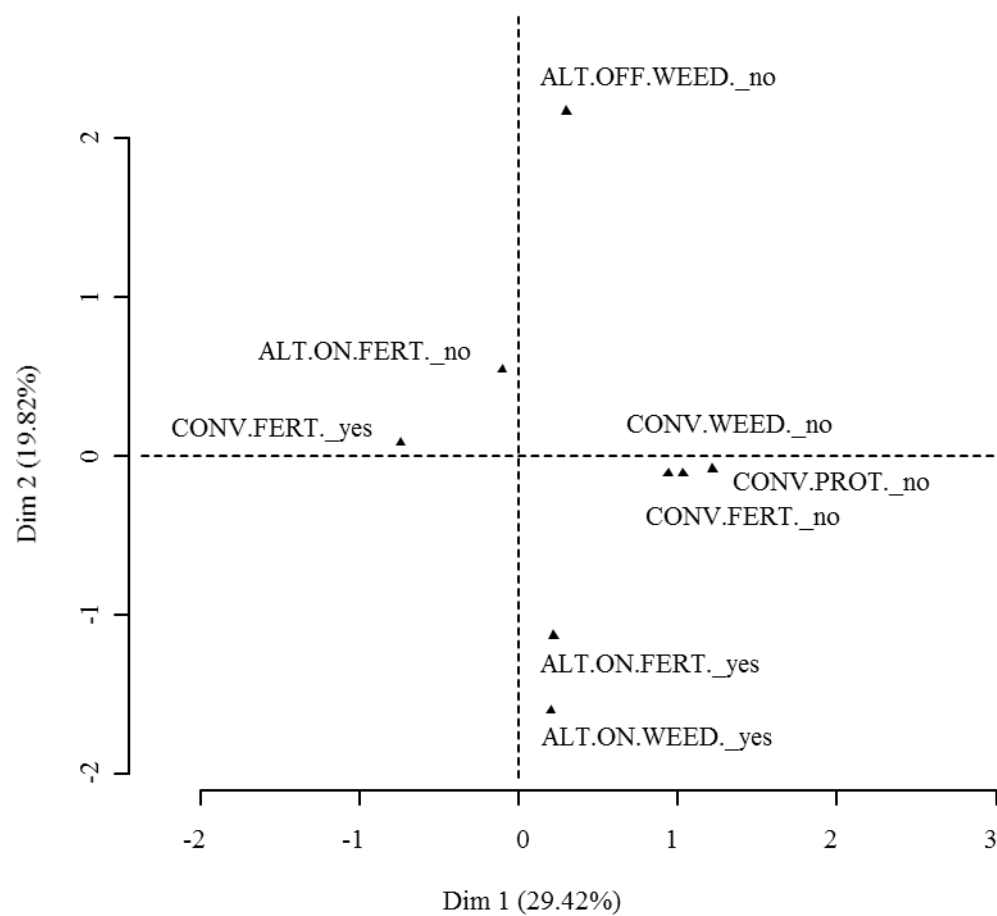


Figure 6: Representation of the modalities contributing more than twice the mean contribution on the first factorial plan

These four management types are analyzed below with the complementary data from the in-depth surveys: management practices

Table 6), farm characteristics (Figure 7), marketing strategy (Table 7) and farmer's objectives. Among farmers of the same management type, different strategies were identified, demonstrating that there are diverse reasons for implementing comparable practices.

MT1: "Security management"

MT1 is characterized by the farmer's reliance on synthetic pesticides and fertilizers combined with alternative practices such as bio-pesticides, chemical traps or preventive removal of fallen fruits in order to achieve high yields and perfect visual quality. Citrus is a major economic crop on their farms. This management type encompasses three types of strategies.

(S1) Business-oriented strategy: farmers seek to maximize revenues through high volumes of large and undamaged fruits to control a part of the local market and negotiate high prices directly with retailers. Located at low elevations (under 100m), they grow citrus with high added-value such as combavas and limes. They have large farms, large labor forces and young productive orchards (less than 15 years old).

(S2) Zero-risk strategy: farmers seek to obtain large and undamaged fruits to fulfill the demands of cooperatives or loyal local retailers. While these marketing channels are reliable and involve little work for farmers, their purchasing prices are medium to low. Farmers therefore aim to achieve high yields and reduce costs to maximize revenues while minimizing both economic and technical risks. To do so, they use cheap sources of nutriment such as wood pruning or blood and bone meal, and none employ hired labor.

(S3) Prestige strategy: farmers target high yields as a way to be considered "good farmers". Prestige is also based on farm size, number of employees and eco-friendly practices. With the exception of one farmer, who produces only one ton and sells to local retailers, farmers sell citrus to cooperatives in order to secure the commercialization of large fruit volumes. They consequently use synthetic inputs to protect fruit visual quality. They are more innovative and less risk averse than S2 farmers, and they implement some expensive alternative practices such as the release of natural enemies or fertilization with imported organic fertilizers to both reduce synthetic inputs and increase yields.

MT2: "Greater autonomy management"

MT2 is characterized by a reliance on mechanical weeding and cover crops with legumes. Farmers choose this management type because they aim to both minimize negative environmental impacts and maximize revenues by reducing the costs of labor and inputs. Like

MT1 farmers, citrus is a major economic crop on their farms. These objectives correspond to one strategy based on the reduction of off-farm inputs.

(S4) Greater autonomy strategy: farmers market their fruits through conventional channels (local retailers, cooperatives, street markets) in the absence of organic farming certification and of niche markets for agroecological products. While protection practices are similar to those of MT1, aiming to secure large and undamaged fruits to fulfill the demands of their marketing channels, other practices try to conciliate low costs and low environmental impacts. For this, cover crops with legumes are adopted to reduce mowing frequency and to provide a free source of nitrogen. Fertilization and weeding are based on inexpensive practices requiring little labor, such as synthetic fertilizers and herbicides, concentrated organic fertilizers, pigs or poultry directly grazing in the inter-rows, or mulch.

MT3: “Eco-friendly management”

MT3 is characterized by a limited use of synthetic inputs, reliance on mechanical weeding and a massive adoption of organic fertilization. Farmers choose this management type because they aim to minimize negative environmental impacts and they are prepared to produce low yields and fruits with low visual quality. This type encompasses two different strategies.

(S5) Innovation strategy: farmers seek to reduce the environmental impacts of citrus production, a complementary crop which does not contribute significantly to their revenues. Indeed, these large farms produce small volumes of citrus on young orchards (less than 7 years old) where farmers are keen to experiment eco-friendly practices while accepting low yields and low visual fruit quality. Although they have a large labor force, they use it primarily on their main income generating crops rather than on citrus, where they wish to minimize interventions. Weeding is based on low-frequency mowing or pluri-annual plastic mulch on the rank. They do not protect their trees since they benefit from low pest pressure due to the location of their orchards at high elevations (above 850 m). Citrus are sold through the same conventional marketing channels as their main productions (cooperative or street market).

(S6) Organic farming strategy: farmers are willing to accept low yields and low visual quality as they sell citrus at high prices, even damaged, thanks to OF certification and/or direct selling. Agriculture represents for them a second job, a retirement activity or a reconversion, and they work on small farms producing small volumes of citrus with a small labor force. They do not only respect OF specifications and protect trees with biopesticides, chemical traps and preventive removal of fallen fruits, but also like to implement aesthetic practices such as flower strips or trap

plants. They fertilize with manure, compost or imported organic fertilizers even if it is expensive or labor-intensive, and they control weeds entirely with mechanical weeding.

MT4: “Simplicity management”

MT4 is characterized by extremely simplified management corresponding to two contrasting strategies: (S7) an extensive agroforestry system with harvest as the unique intervention and (S8) mono-cultivar orchards managed exclusively with minimal quantities of synthetic inputs. Citrus is a minor income-generating crop on these farms.

(S7) Patrimonial strategy: observed in one case of a farmer with an agritourism activity based on a botanical garden. The farmer focuses on environment conservation and minimizes citrus interventions. He sells his small OF certified production at high prices in the garden shop, where he informs visitors about his traditional farming practices. Such a positive economic environment allows him to accept low yields and low visual fruit quality. This type of management can also be seen as a subtype of “eco-friendly management” MT3 because it corresponds to a mature agroecological transition, one that is completely self-sufficient and generating more income than conventional production.

(S8) Withdrawal strategy: farmers intervene little on their orchards to minimize labor and input costs with the intention of eventually ceasing their citrus activity. The visual quality of fruits is low, since they rely exclusively on small amounts of synthetic inputs for protection, fertilization and weed control. Citrus are sold at low prices to local retailers for processing.

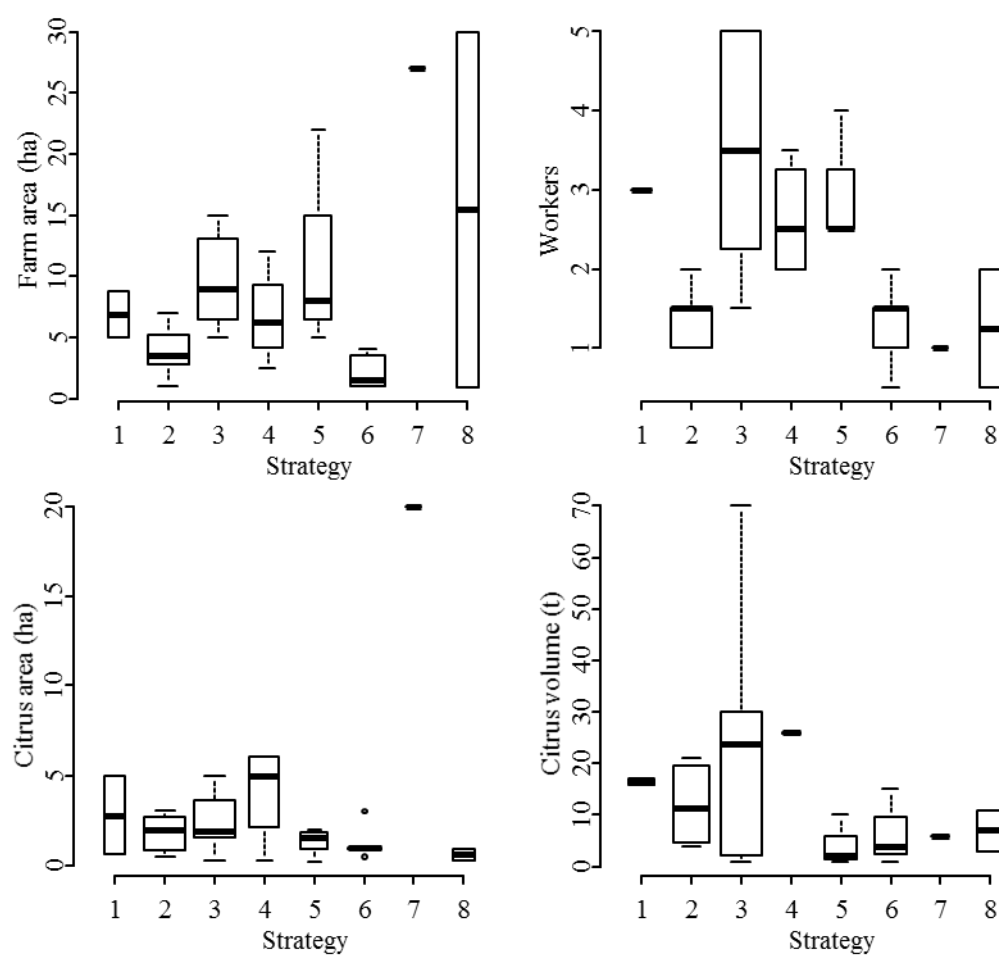


Figure 7 : Farm characteristics of the eight strategy types. Variability of farm size and labor force, citrus area and estimated volumes of citrus production. Bars width is proportional to the number of farms represented.

Table 6 : Adoption of management practices according to the management type [MT_i] and the farmer's strategy [S_j] (% of farms adopting a given practice per S_j)

	MT1			MT2	MT3		MT4		Total
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	
Number of farms	2	7	7	4	3	5	1	2	31
Protection practices									
Synthetic pesticides / Copper / Sulfur	100	100	86	50	33	20	-	100	68
Chemical traps	50	71	57	50	-	40	-	-	45
Biopesticides	50	71	57	20	-	40	-	-	42
Preventive removal of fallen fruits	-	57	28	25	-	20	-	-	26
Insect-proof nets / Micro-soaking	-	-	14	-	-	20	-	-	6
Release of natural enemies	-	-	14	-	-	-	-	-	3
Trap plants / Flower strips	-	-	-	-	-	60	-	-	10
Fertilization practices									
Synthetic fertilizers	100	71	100	50	-	-	-	100	58
Manure / Compost	50	14	28	-	66	80	-	-	32
Processed animal wastes (e.g., meals)	-	28	28	25	-	-	-	-	16
Imported organic fertilizers	-	-	43	-	-	40	-	-	16
Restitution of chipped wood pruning	-	28	-	25	-	20	-	-	13
Weeding practices									
Total herbicide	50	-	14	-	-	-	-	100	13
Partial herbicide	50	71	86	75	-	-	-	-	48
Mechanical Weeding	-	100	86	100	66	100	-	-	87
Plastic mulching	-	-	-	-	33	-	-	-	3
Natural mulching	50	-	14	75	-	-	-	-	16
Cover crops	-	-	0	100	-	-	-	-	13
Animal pasture	-	-	-	25	-	-	-	-	3

Table 7: Marketing characteristics of the eight strategy types

	MT1			MT2	MT3		MT4		Total
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	
Main market channel (% of farms concerned)									
Local retailers	100	71	14	50	-	20	-	100	42
Cooperatives	-	29	86	25	66	20	-	-	39
Direct selling	-	-	-	25	33	60	100	-	19
Certification (% of farms concerned)									
None	100	100	100	75	100	20	-	100	82
OF conversion	-	-	-	25	-	60	-	-	12
OF	-	-	-	-	-	20	100	-	6
Average selling price (€/kg)									
Tangor	1.75	1.08	1.23	1.00	1.55	1.40	-	-	1.33
Combava	12	-	16	-	-	-	-	6	11

3.2. *Five dynamics of change towards or away from agroecological practices*

Thirty-two percent of the farmers surveyed have pursued the same practices since the beginning of their citrus activity ("No change" category in Table 8). Farmers with this trajectory of stability are represented in every strategy type except S1. Most of them started their citrus activity during the last six years. The remaining 68% of the farmers surveyed have changed their citrus management practices significantly since beginning this activity. Although they have followed specific pathways shaped by their own action context and history, five types of trajectories have been identified based on the adoption of alternative practices and reliance on synthetic inputs for protection, fertilization and weed control (Figure 8).

Trajectory 1, "Addition", regroups 14 farmers who started out following conventional management practices with no or rare alternative practices in the 1980s and the 1990s. They then gradually adopted alternative practices in the 2000s and the 2010s, but continued to use synthetic inputs for protection, fertilization and weed control. Farmers state two reasons for these combinations: (i) synthetic inputs are a back-up option to be used selectively, for example, on highly resistant weeds which are difficult to mow; and (ii) alternative practices are additional means to boost the performance of synthetic inputs, like organic fertilizers to complete synthetic fertilization by increasing organic soil matter.

Farmers following trajectory 2, "OF conversion", started out in the same way as "Addition" farmers up to the 2010s. They then adopted alternative practices for all aspects of management over a short period of time while the use of synthetic inputs was stopped completely because of a conversion to OF.

The three other trajectories start later in the 2000s, already with a partial or complete independence from synthetic inputs. In trajectory 3, "Simplification", farmers started directly with mechanical weeding. They then progressively stopped using all synthetic pesticides and fertilizers in the 2010s, without replacing them with alternative practices. Indeed, this move corresponds to a reduction of interventions in the orchard. Farmers following trajectory 4, "Complexification", started directly from organic farming with certification. Their evolution in the 2010s was the adoption of alternative protection practices such as plant traps which require new knowledge. In trajectory 5, "Reversion", farmers also start with complete independence from synthetic inputs, but are not OF-certified. In the 2010s, there is a quick return to synthetic input use to secure yields or to partially substitute expensive/labor-intensive alternative practices, which have been nevertheless kept after reversion.

All of the trajectories of practice changes thus consist of incremental modifications with the exception of the conversion to organic farming (T2). The security management (MT1) and greater

autonomy management (MT2) observed at present result from two different trajectories (Table 8): Addition (T1) and Reversion (T5). Farmers implementing the OF strategy have followed three different pathways: OF conversion (T2), Simplification (T3) and Complexification (T4). This diversity highlights the farmers' various backgrounds and motivations regarding organic farming. Most of the farmers implementing strategies S5 and S7 started their citrus activity recently and directly with low interventions systems. They did not change their systems by adding new practices, as did S8 farmers who are reluctant to change before stopping their citrus activity.

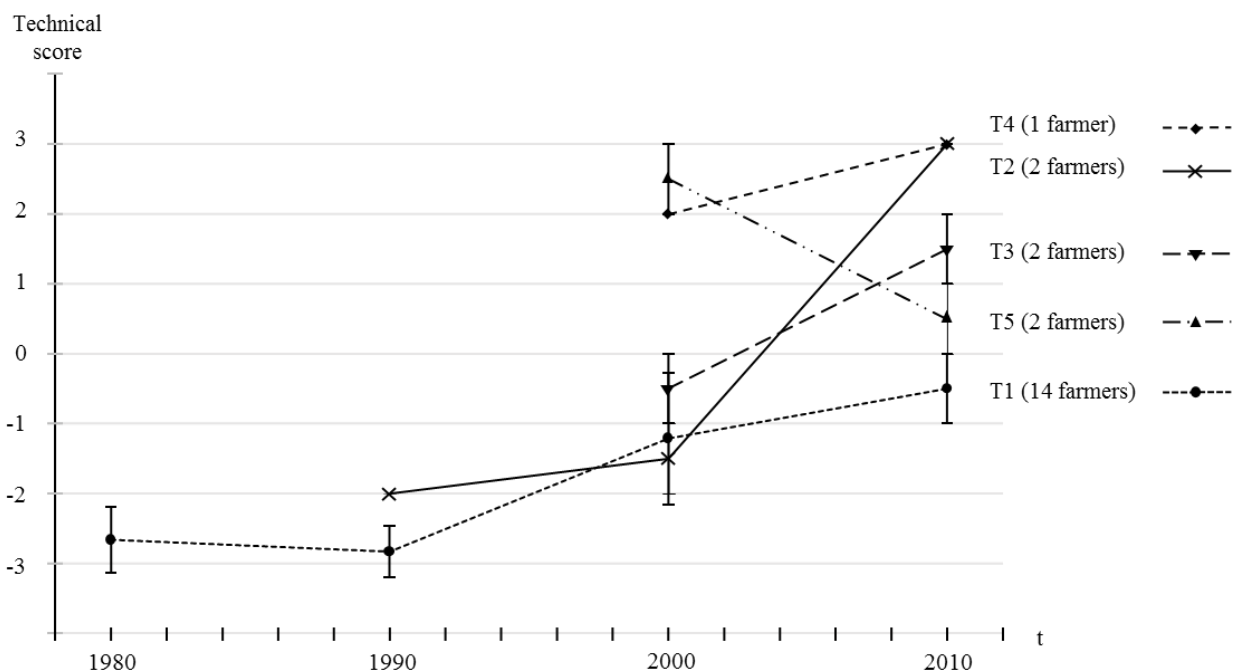


Figure 8: Evolution of the “technical score” per trajectory of practice change from 1980 to 2010: T1 “Addition”; T2 “OF conversion”; T3 “Simplification”; T4 “Complexification”; T5 “Reversion”. Time is on the X-axis. The Y-axis represents the average value of the “technical score” of the farmers belonging to a same type of trajectory.

$$\text{Eq. 1: } \text{Technical_Score} = \sum_{i=1}^3 (A_i - C_i)$$

i = index of technical component (Protection; Fertilization; Weed control)

$A_i = 1$ if at least one alternative technique is implemented for component i ; 0 otherwise

$C_i = 1$ if at least one synthetic input is used for component i ; 0 otherwise

Bars indicate standard deviations.

Table 8: Distribution of the 31 citrus farms according to their trajectory for the different management types (MT1 to MT4) and strategies (S1 to S8)

	MT1			MT2	MT3		MT4		Total
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	
No change		1	1	2	2	1	1	2	10
T1	2	5	5	2					14
T2						2			2
T3					1	1			2
T4						1			1
T5		1	1						2
Total	2	7	7	4	3	5	1	2	31

T1 “Addition”; T2 “OF conversion”; T3 “Simplification”; T4 “Complexification”; T5 “Reversion”.

3.3. *Drivers and barriers to adopting alternative practices*

The comparison of the different types of management, strategies and trajectories shows that a range of common drivers and barriers have contributed significantly to encouraging or restraining farmers from changing their citrus production agricultural practices. They can be differentiated into two groups according to their position outside (external factors) or within (internal factors) the farm.

External factors

The external drivers pushing farmers towards or away from alternative practices include local citrus markets, public legislation, access to extension services, the organization of input supply, and the social environment. The main marketing channels, i.e., local retailers and cooperatives, require large and zero-fault fruits that they purchase at low to medium prices to fulfill local consumer demand. Farmers involved in these marketing channels must maximize their yields by using the practices considered to be the most efficient, even if they are based on costly synthetic pesticides and fertilizers. These constraints affect all farmers selling to cooperatives and/or local retailers, especially if the citrus activity is highly contributing to farmers’ revenues (S1, S2, S3 and S4). The reversion trajectory illustrates that non-certified organic farming is not economically viable through these marketing channels.

Consequently, the emergence of new marketing channels for eco-friendly production, with higher prices and lower constraints on visual quality, is a major driver of change towards alternative practices. These channels include organic street markets, tourist shops or communities adopting organic food for schools. Lower constraints on visual quality provide an opportunity to stop using synthetic pesticides, while higher selling prices allow the adoption of expensive alternative inputs

such as insect-proof nets, bio-pesticides and imported organic fertilizers, and also allow an eventual decrease in yields. This driver is significant for farmers implementing an organic farming strategy (S6) and explains the OF conversion trajectory.

French public legislation increasingly forbids the use of synthetic molecules. Synthetic input prices also are increasing while alternative inputs are more efficient, easily available and, for some, cheaper than synthetics. This combination explains the adoption of bio-pesticides, chemical traps, cheap organic fertilizers and mechanical weeding to save on herbicide costs. This evolving context is one of the drivers of change in the addition trajectory. Although agri-environmental measures have been proposed to farmers since the 1990s, and in 2016 supported the adoption of chemical traps, mechanical weeding and organic farming, they did not appear to be a factor in the adoption of alternative practices, except for one farmer using no herbicides to receive subsidies. This could be explained by the specific orientation of public subsidies on Réunion Island, which primarily aim to encourage farmers to join organized marketing channels.

Public and private advisors are also significant promoters of these alternative practices. They provide knowledge on some alternative practices which do not rely on purchased inputs, such as the preventive removal of fallen fruits and restitution of chipped wood pruning. They also may provide alternative inputs such as purchased natural enemies and cover crop seeds. Agricultural extension advisors are major drivers of change for farmers in addition and complexification trajectories.

Social factors also influence farmers' management decisions, especially on a small island such as La Réunion. Recognition of performance by peers is still based on high yields, green trees with large fruits and the absence of pests and uncontrolled weeds in the orchard. To fulfill these standards, farmers use synthetic pesticides to eradicate pests, synthetic fertilizers to control fruit size and implement high frequency mechanical weeding and herbicide if needed. This barrier effect is particularly significant for farmers implementing the prestige strategy (S3).

Internal factors

Shifting from synthetic-based practices to alternative ones also relies on factors that depend directly on the farmer and his/her farm, including the characteristics of the orchard and its environment, the labor force, the weight of the citrus activity in farm revenue and the farmer's environmental concerns. Certain environmental features play a role in relation to specific practices. For instance, orchard sensitivity to erosion was a major driver behind the adoption of mechanical weeding in addition and OF conversion trajectories because the preservation of perennial ground cover reduces soil run-off in sloping orchards. High elevations favored the

reduction of synthetic pesticides for protection in the simplification trajectory due to lower pest pressure. Yet surprisingly, aside from these two exceptions, local environmental conditions did not appear to be a major factor driving farmers' choices, probably because they are overshadowed by other factors.

In some cases without organic farming constraints, the continued use of synthetic inputs can also be due to the presence of young orchards. Citrus orchards are unproductive during their first 3-4 years and some farmers implement vegetable alley cropping to earn some revenue during this period. Mechanization is then more constrained and some farmers use herbicides in these young orchards rather than mechanical weed control. Moreover, young trees are more affected by weed competition and farmers are more reluctant to preserve a permanent grass cover.

The combination of labor force availability, the weight of citrus in farm revenue and environmental concerns push farmers towards contrasting positions regarding the adoption of alternative practices. Environmental concerns explain the adoption of alternative practices such as bio-pesticides, chemical traps, plant traps, flower strips, insect-proof nets, micro-soaking against pests, preventive removal of fallen fruits, organic fertilization, green manure and mechanical mowing. They explain why farmers aiming to reduce negative environmental impacts (S3, S4, S5, S6 and S7) followed addition, OF conversion or simplification trajectories. However, some farmers make trade-offs between reducing environmental impacts, production risks and the workforce needed. Farmers who rely on citrus revenues but cannot obtain higher prices for fruit cultivated with environmentally-friendly practices (S3 and S4) have to cut labor costs. When labor constraints are combined with mechanization constraints (e.g., sloping orchards), they continue to fall back on synthetic fertilizers and herbicides which enable them to fertilize orchards and control weeds more quickly compared to respectively manure or mowing. Farmers who do not rely on citrus revenues because citrus is not a major income generating crop on their farm (S5) also face labor constraints, but they can accept more production risks and use low frequency fertilization and mowing rather than synthetic inputs.

In contrast, some alternative practices such as mulching improve work organization. They were adopted by farmers facing labor shortages due to competition from other crops. Indeed, mulching with straw, on the rank or on the whole orchard, requires only one intervention a year (spreading it), whereas herbicides or mechanical mowing require an intervention once a month or every two months. This was a driver of change in the addition trajectories of two farmers, one growing vegetables, the other bananas, which are both labor-intensive crops grown throughout the year.

4. Discussion

4.1. *Agroecological transition as a diversified and incremental process*

Despite their geographic proximity and shared agricultural policy context, and despite their small number, the farms in this study were diverse in terms of their adoption of alternative practices and use of synthetic inputs to manage their citrus crops. Three generic factors were identified to explain this diversity: marketing channels, farmers' environmental objectives and farmers' economic behavior, linked to the weight of the citrus crop activity in farm revenue.

Marketing channels impact crop management because selling prices and specifications requested by retailers and processors determine yield objectives and the quality attributes of raw material. These downstream requirements explain why farmers with similar environmental concerns, such as S4 ("greater autonomy") and S6 ("organic farming"), did or did not adopt alternative practices according to their marketing channels (respectively conventional ones for S4 and alternative ones for S6). This mechanism was also observed in arable crops, for instance when downstream requirements regarding high-protein wheat impact farmers' fertilization choices (Magrini et al., 2016).

The priority given to environmental objectives strongly determines farmers' technical choices, even when they rely on similar marketing channels, as illustrated by comparing S2 ("zero-risk") and S4 farmers. Both sold their fruits to conventional marketing channels and aimed to ensure sufficient income for their families, but S4 adopted alternative practices due to his higher environmental and health awareness. These differences of awareness among farmers may be based on psycho-social factors, such as having experienced health problems from use of chemicals (Fairweather, 1999). The impacts on technical choices were recently demonstrated with the adoption of biological control in American and European orchards (Goldberger and Lehrer, 2016; Pisonnier et al., 2016).

Farmers' economic behavior and objectives also strongly determine their choices regarding these practices. Indeed, farmers who do not expect high revenues from a given production are ready to take more risks. For instance, S5 ("innovative strategy") and S3 farmers ("prestige strategy") had similar farm structures, environmental concerns and economic objectives. However, as citrus was a secondary activity for S5 farmers, they were ready to switch from synthetic to alternative inputs since the potential effects on yields would not significantly affect their farm revenue. This lower risk aversion was also observed for part-time farmers compared to full-time farmers, as off-farm income secures their revenue (Lien et al., 2006). Personal aversion to risk is also a key factor for

not adopting alternative practices, as illustrated by S2 farmers. Organic farmers seem to have lower risk aversion, as was demonstrated among arable crop farmers in the Netherlands (Gardebroek, 2006) and hazelnut farmers in Turkey (Demiryürek et al., 2012).

The combinations of these three factors on each farm explain the main farmers' positions regarding change toward agroecology. This study furthermore confirms that whatever the position of the farmer, most of the change trajectories are progressive (Chantre and Cardona, 2014). The findings point out three reasons which potentially are combined on each farm: step-by-step learning processes, risk minimization and lack of confidence in alternative practices. Most of the farmers studied are conducting personal experiments on their farms, generally by varying a single practice at a time, validated with observations after a complete crop cycle. This learning process is thus very slow and progressive. For instance, a T3 farmer first stopped using herbicides, then synthetic fertilizers, and finally synthetic pesticides. At each step, he checked whether the trees' vigor, the visual quality of fruit, and the yield were affected. Farmers adopt this "trial and error" approach because small changes imply low risk (Lyon, 1996). When farmers lack confidence in new alternative practices they may implement incremental changes by first combining these alternative practices with the synthetic inputs they are accustomed to using, as illustrated by T1 farmers who preferred adding alternative practices to their conventional management rather than substituting synthetic inputs. Farmers' confidence in new inputs and practices may grow gradually, as illustrated by the adoption of pheromones to protect apple trees (Goldberger et al., 2013).

Efforts to support farmers' transitions must cope with this constraint of progressivity linked to farmers' learning and risk management processes. However, some authors claim that research should explore solutions which break away from existing systems, such as permaculture, to address sustainability challenges (Weiner, 2003). Due to their complex, holistic nature, implementing these solutions may imply re-designing production systems within farms. Scientists currently are developing various tools and methods to support this re-design process, especially when it involves multiple stakeholders, such as participatory modeling and game-based approaches (Berthet et al., 2016). This involvement of farmers and extension agents in the re-design process should improve both their own learning processes and that of researchers. For instance, Brazilian farmers involved in a partnership to design agroforestry systems were able to argue with scientists about the systems' agronomic performances (Cardoso et al., 2001). Such participatory approaches have already been tested to design agro-ecological weed managements in citrus orchards on the French island of Guadeloupe (Le Bellec et al., 2012). However, these experiments continue to focus on the plot level and do not sufficiently consider farm, supply chain

and public policy levels which impact the dynamics of agro-ecological transition. Our results are a reminder that agroecology does not only require changes in farming practices, but also in agro-industries and consumers' requirements. For instance, agro-industries should adapt to wheat with lower protein rates and consumers should accept fruit with low visual quality. Moreover, the risks taken by farmers adopting alternative practices should be shared. It could be supported by public policies, such as European agri-environmental schemes (Defrancesco et al., 2008), or supported directly by consumers, like solidarity-based marketing channels helping farmers involved in alternative farming systems (Dumont et al., 2016). Thus, farming, processing and consumption practices should evolve together to share the efforts and benefits of agro-ecological transition (Meynard et al., 2017).

4.2. *Is agroecological transition crop specific?*

Citrus, as a fresh product with medium added-value, grown in perennial orchards vulnerable to pests, presents four crop specificities for agroecological transition. Agricultural practices involving non-processed agricultural products such as fruits and vegetables are easier to explain to consumers. Indeed, these products can be marketed directly and farmers can directly inform consumers about their “good practices” even when they do not hold a quality certification, such as one S6 farmer was doing. Alternatively, the products can be sold on marketing channels which are long but with better traceability than those for processed products. These two options are more difficult to implement for arable crops (Lamine, 2011).

The level of added value specific to each agricultural product influences the capacity to invest cash or labor in costly alternative practices. In the case of citrus, a product with medium added value, only one farmer out of 31 considered the adoption of insect-proof nets. These economic considerations have to be combined with the pest sensitivity and visual quality expectations of each product. In La Réunion, with the exception of those located at high elevations, all of the farmers had to implement robust protection practices to control fruit flies. In California, wine grape farmers were particularly dynamic in adopting agroecology due to their high profit margins and the absence of visual grape quality specifications (Brodt et al., 2007; Guthman, 2000b; Warner, 2007). Perennial crops also present specificities linked to the unproductive stage of young orchards with accompanying economic and agronomic constraints, and to their spatial design limiting changes in plant material and orchard structure. These latter aspects were not developed in this study but should be further investigated for orchard agroecological redesign (Simon et al., 2017).

4.3. *Methodological perspectives*

Management decisions regarding agroecological transition have been categorized in this study according to the kind of inputs used for crop protection, fertilization and weed control, namely “synthetic inputs”, “alternative off-farm inputs” and “alternative on-farm inputs”. Compared to the ESR classification (Hill and Macrae, 1995), these categories offer the following three advantages:

- (i) Unlike the ESR framework, in which some practices could be classified differently by different scientists, the categories are clearly defined. For instance, one farmer in the study relied mainly on substitution practices but grew trap plants along the borders of the citrus plots, a combination that is difficult to classify as either substitution or redesign.
- (ii) The classification developed in this study provides a detailed view of the complexity of agroecological transition. It can differentiate types of management according to the combination of different types of inputs. To evaluate the Redesign paradigm, scientists using the ESR framework must consider the whole cropping system. At this scale, no difference would have been noticed between “security” and “greater autonomy” types of management because Efficiency, Substitution and even Redesign paradigms (e.g., cover crops or restitution of wood pruning) were mobilized in both cases.
- (iii) This classification leads to the identification of more steps in farmers’ trajectories compared to the ESR framework. It described for instance how farmers had progressively increased the number of substitution practices implemented in the Addition trajectory, a dynamic difficult to identify with the ESR framework since it combines both Efficiency and Substitution decisions.

5. Conclusion

Although based on a limited sample of farms, this study shows that agroecological transition is not a linear and homogenous process leading to the reduced use of synthetic inputs, but is rather characterized by its diversity and step-by-step dynamic. Numerous internal and external drivers push or prevent farmers from adopting alternative practices, and their combination on each farm makes each one more or less unique. However, farmers can be grouped according to their strategies regarding the adoption process based on four distinct objectives: security, autonomy, ecology and simplicity. This complex interaction between farmers’ objectives, strategies, and contexts explains why the Redesign component included in the ESR framework is barely found at

the farm level in our sample except for organic farming conversion. Indeed, economic constraints, risk aversion and implementation difficulties lead farmers to prefer incremental change dynamics with easy ways to turn back in case of failure.

This result calls for a better consideration of farmers' points of view, objectives, opportunities and constraints when designing research and policy strategies regarding agroecological transitions. Efforts to design eco-friendly cropping systems remain crucial to expand the range of technical solutions, but they must be carried out within a broader perspective including both farmers', processors' and consumers' considerations. Similarly, public policies encouraging farmers to adopt these agroecological solutions must take into account the diversity of farming contexts observed in a given area. This diversity is also a key issue for extension agencies, which should combine technical advice at the plot level with strategic support at the farm level. Agroecological transition is thus emblematic of the challenges and developments that researchers, politics and civil society must tackle to make agriculture and food production more sustainable in the future.

Acknowledgements

We are very grateful to the citrus growers and all of the stakeholders we met for the valuable data they provided and the rich discussions we shared with them. We thank Grace Delobel for editing the paper in English and the anonymous reviewer for providing valuable comments to improve the paper. This work was supported by the French Agricultural Research Centre for International Development (CIRAD) and the European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD).

De l'analyse des trajectoires de pratiques à l'échelle du système de culture à la vision d'ensemble de la transition à l'échelle de l'exploitation.

Le second chapitre s'est intéressé aux trajectoires de pratiques pour le système de culture « agrumes » dans les exploitations. Parmi les stratégies des agriculteurs expliquant le niveau d'écologisation de ce système, la place des agrumes au sein de l'exploitation est apparue comme un élément déterminant. Ce résultat indique que les agriculteurs pensent la cohérence de leur transition agroécologique à l'échelle de leur exploitation. C'est pourquoi nous nous sommes intéressés à cette échelle plus intégrative dans le chapitre 3, où la transition de l'ensemble de l'exploitation est considérée, en analysant les trajectoires de pratiques des différentes productions et leurs interactions. En étudiant 18 autres productions végétales, ce chapitre permet également d'évaluer la généricité des déterminants et des trajectoires identifiés sur agrumes.

Chapitre III. Agroecological transitions within diversified horticultural farms: a manifold process

Cet article a été soumis à la revue *Ecology & Society*, en révision depuis le 2 Février 2018.

Marie Dupré ^{a*}, Thierry Michels ^a, Pierre-Yves Le Gal ^b

^a (1) CIRAD, UPR HORTSYS, 97455 Saint-Pierre Cedex, La Réunion, France

(2) HORTSYS, Univ Montpellier, CIRAD, Montpellier, France

thierry.michels@cirad.fr

^b (1) CIRAD, UMR Innovation, F-34398 Montpellier, France

(2) Innovation, Univ Montpellier, CIRAD, INRA, Montpellier SupAgro, Montpellier, France

pierre-yves.le_gal@cirad.fr

* Corresponding author: marie.dupre@cirad.fr

Key words: crop management; diversified farming systems; dynamics of change; ecologization; farm level; Reunion Island.

Abstract:

Agroecological transition on a farm consists of moving from a set of practices based on synthetic inputs intended to control the environment towards a production system which relies on natural inputs and promotes biological interactions beneficial to agricultural production. This study aims to understand how farmers manage this transition towards agroecological practices on diversified horticultural farms. Practice change dynamics were analyzed through in-depth surveys on 28 diversified horticultural farms on La Réunion Island (France). The adoption of alternative practices involves a set of interacting factors which depends on (i) the biological, technical and economic characteristics of each crop, (ii) the characteristics specific to each farm, particularly the available labor force and capital, (iii) the farm environment, notably in terms of input availability, marketing channels and type of technical support provided, (iv) the characteristics of the alternative practices proposed, including their cost, associated workload and the technical complexity of their implementation, and (v) the farmers' own perceptions, such as their sensitivity to the environmental impacts of their practices and their income objectives. Interactions between crops within a farm take the form of competition for farm resources or, conversely, exchanges of

biomass, inputs, equipment and knowledge. The combination of these different factors within each farm explains the diversity of the dynamics observed, which are grouped into six types depending on the direction (decrease or increase of synthetic inputs) and speed of change (progressive or radical). These results provide an analytical framework for designing innovative agroecological systems that meet farmers' needs while helping agricultural advisors and public authorities to better support these developments in all their diversity.

1. Introduction

The implementation of agroecological practices in production systems which are initially based on synthetic inputs requires transformations at the level of territories, marketing channels and farms (Duru et al., 2014; Iles and Marsh, 2012). At the farm level, agroecological transition consists of moving from a production system that is highly dependent on external synthetic inputs to a production system that recycles natural resources which come from within or close to the farm (Blesh and Wolf, 2014; Guthman, 2000a). It also involves a shift in perspective. From striving to independently control and manipulate all elements of an agroecosystem to eliminate disturbances, the farmer seeks instead to mobilize all of the agroecosystem's ecological interactions to promote ones that are beneficial to agricultural production (Brodt et al., 2007; Duru et al., 2015b). This transition thus leads to diversified production systems (Kremen et al., 2012).

Numerous studies have sought to understand what drives the adoption of certain alternative practices to synthetic inputs such as conservation agriculture (Knowler and Bradshaw, 2007) and cover crops (Roesch-Mcnally et al., 2017). These studies have shown that adoption is affected by diverse factors related to the characteristics of the farm, farmer, and innovations studied. However, these studies, which focused on one type of innovation, do not consider all of the decisions that a farmer must make at the level of his or her farm and their underlying rationales. Other studies have focused on all of the innovations adopted by farmers (Ouédraogo et al., 2017; Probst et al., 2012). They have confirmed that multiple, interacting factors influence changes in practices, including climate, economic, technological, social and political factors. These studies generally have analyzed adoption in a static manner, ignoring the way that changes in practices are articulated and interact over time in the trajectory of a farmer.

Sociologists and agronomists have described these trajectories of changes in practices over a farmer's entire career (Chantre et al., 2015; Lamine, 2011). Diverse dynamics have been brought to light, from very slow changes involving multiple steps to very rapid conversions to models far removed from the farmer's initial management practices, such as organic agriculture. With the

exception of a return to the use of synthetic inputs, these dynamics correspond to a diminished use of such inputs and lead to more or less advanced levels of ecologization. Most authors distinguish between (i) a “substitution” ecologization level, where synthetic inputs are replaced by certified organic inputs that come from outside the farm, and (ii) a “redesign” ecologization level, where the farmer rethinks the entire production system to use beneficial interactions between agroecosystem components, relying on resources from within the farm (Hill and Macrae, 1995). However, these analyses do not systematically explain the types of dynamics observed. Furthermore, they pay little attention to the way that a farmer adapts these dynamics to the different productions on a diversified farm (Coquil et al., 2013).

Based on 28 comprehensive surveys conducted on diversified horticultural farms on the island of La Réunion (France), this study aims to understand how farmers manage changes in their practices and the drivers behind these changes involving weed control, fertilization and crop protection. After presenting the survey and analysis protocol, based on an indicator that enables an analysis of farmers' practices that is both static and dynamic, we show how the ecologization of practices depends on the characteristics of each crop and on interactions between crops within a farm. We then propose a typology of agroecological transition dynamics at the farm level before proceeding to a discussion of the method's adaptation to other cases and the operational contributions of these results.

2. Methods

2.1. *Context of the study and sample*

A small island in the Indian Ocean (2512 km²; 21° 06' 52" South, 55° 31' 57" East), La Réunion is a French department integrated into the European Union. It produces diverse agricultural crops including sugar cane, forage crops, fruits and vegetables (respectively 58, 26, 7 and 6% of the utilized agricultural area), and secondary crops such as spices. This diversity of output is related to the island's varied topography (altitudes of 0 to 3000 m), soils (27 types) and climate (from 500 mm/year and 24°C on average on the west coast to 8000 mm/year and 12°C at altitudes of 2000 m). Farms are small with an average size of 6 ha. Farms which do not grow sugar cane (61% of the total) are highly diversified. In the 1980s, synthetic inputs were adopted on a massive scale in line with the European agricultural policy (CAP) of the time. However, CAP is currently

encouraging farmers to reduce these synthetic inputs through bans on active substances and subsidies to adopt alternative agroecological practices.

This study's explanatory objective and focus on farmers' decision-making processes led to a research methodology based on case studies (Eisenhardt and Graebner, 2007). A limited number of farms (28) were studied in detail, taking into account their individual contexts. The choice of these farms aimed to cover a wide range of situations rather than a statistically representative sample of the island's farming population. The selection was based on three criteria potentially related to crop management for which data could be easily obtained (Bellon et al., 2001; Pissonnier et al., 2016): main marketing channel, organic certification and farm size. The farms all cultivate citrus because the same sample was used to understand the diversity of agroecological practices in citrus orchards (Dupré et al., 2017). The sample included 6 holdings certified as organic farms and 22 non-certified farms (Suppl. Mat. 1, appendix 2). Production is sold through cooperatives, direct sales, small resellers or directly to processors. Farmers' contact information was obtained from different sources: agricultural technicians, cooperatives, agricultural input dealers, certification bodies and consumer associations.

2.2. Surveys

The farmers were surveyed between December 2015 and September 2016. The surveys consisted of one or two semi-structured interviews lasting one to three hours with the farm head, combined with a visit of the farm. The discussion was organized around four points:

- (i) Crops were identified, with their surface area, amount of labor and revenue.
- (ii) For each crop that had been cultivated on the farm for at least two years, the farming practices implemented on them were described with the history of how these practices had changed since the farmer first started his or her activity or since the crop first appeared on the farm. Three components of the crop management sequence, common to all of the crops produced and which could involve the use of synthetic inputs, were investigated more precisely: crop protection, fertilization and weed control. The reasons behind farmers' choices were discussed with them.
- (iii) The technical and economic context of each crop was defined in more detail in terms of interactions with agricultural advisers, researchers or other farmers, and choice of marketing

channels. The products' selling prices, the time spent on marketing and buyers' requirements were noted for each channel.

(iv) The farmer's overarching strategy was approached through discussions concerning his or her environmental awareness, risk aversion, income objective and relationship with employees and neighbors. Two to six crops were described per farm for a total of 93 cases, each case corresponding to one crop on one farm (Suppl. Mat. 1, appendix 2). They included six perennial fruit species, six semi-perennial species (sugar cane, christophine and fruit) and seven short cycle vegetable species.

2.3. *Choice of an ecologization indicator: the "technical score"*

The ecologization of practices comprises both the reduction of synthetic inputs and the adoption of alternative practices to these inputs. The Technical Score (TS) was created to easily assess this dual process (Dupré et al., 2017). In this study, the only synthetic inputs considered are synthetic pesticides and fertilizers. Insect-proof nets, plastic mulching and traps with attractants and chemical insecticides are considered to be alternative practices even though they are non-renewable resources. Calculated per crop, the TS enables all of the crops to be compared. It cannot, however, be applied directly to animal production because the technical components taken into account (crop protection, fertilization and weed control) are specific to crop production. Animal production, present on 18% of the farms surveyed, was therefore excluded from the analysis of the TS.

The TS only considers the nature of the input used (synthetic or not) and not the quantity (Eq. 1). It consequently is possible to conduct the analysis without quantitative data on the inputs. This degree of detail is thus adapted to the study of practice trajectories that may not be accompanied by written records. For each technical component (crop protection, fertilization and weed control), the score can be -1, 0 or 1. The accumulation of alternative practices for the same technical component is not counted. As a result, the sum of the scores of each component makes the TS vary from -3 (management based on synthetic inputs alone) to +3 (management with no synthetic inputs). Values between -2 and +2 correspond to many combinations of synthetic inputs and alternative practices.

$$(Eq. 1) \quad TS^j = \sum_{i=1}^3 (A_i^j - C_i^j)$$

TS^j = Technical Score of crop j

i = index of technical component (Protection; Fertilization; Weed control)

A_i = 1 if at least one alternative technique is implemented for component i ; 0 otherwise

C_i = 1 if at least one synthetic input is used for component i ; 0 otherwise

2.4. *Analysis of the practices implemented at the time of the survey*

Alternative practices were characterized by the type of adoption at the farm level: none; incomplete, if the practice has been adopted only on certain crops; or complete, if it has been adopted on all crops. The practices implemented by the farmers at the time of the survey were regrouped by category to avoid going into the details of each input. For example, treatments were divided into two categories: synthetic or certified organic.

The TS per crop was calculated based on the current practices for the 93 cases identified on the 28 farms. The TS of crops on the same farm were compared with each other and an average TS per farm was calculated to compare farms.

Relationships between the biological, technical and economic characteristics of crops and the adoption or non-adoption of alternative practices were statistically tested for all relationships reported at least once by a farmer (Table 9). The Fisher test was used for occurrences that were poorly represented (number <5) or had unbalanced marginal sums in the contingency table; the Chi-2 test was used for the other cases.

A multivariate statistical analysis combining a Multiple Correspondence Analysis (MCA) with an Ascending Hierarchical Classification (AHC) (Cortez-Arriola et al., 2015, Kuivanen et al., 2016) was then performed to regroup the 93 cases into homogeneous clusters with regard to their TS values divided into three classes: Low (<-1), Intermediate (-1 to 1) and High (>1). The analyses were performed on R (version 3.3.2) with the FactoMineR package (version 1.34) (Josse, 2008).

2.5. *Analysis of change dynamics*

For each farm, all interactions between crops impacting the adoption or non-adoption of alternative practices since the beginning of the farmer's activity were listed, covering periods of 2 to 37 years.

Changes in practices were analyzed for all of the crops since the beginning of the farmer's activity. Ecologization dynamics at the farm level were grouped by type using two criteria:

(i) The direction of change renders it possible to distinguish dynamics leading towards agroecology from those without change or returning to the use of synthetic inputs. This orientation was estimated by the sign of the average speed of ecologization, v . This speed v was calculated over the entire period studied based on the initial and current TS of the farm (Eq. 2). (ii) The speed of changes on different crops makes it possible to distinguish several types of dynamics among those oriented towards agroecology. At the level of a crop, the speed of change was defined as "radical" if the TS evolved by at least 3 units in less than 2 years, and as "progressive" otherwise.

$$(Eq. 2) \quad v = \frac{\text{current TS} - \text{initial TS}}{\text{studied period}}$$

v = ecologization speed (units of TS/year)

current TS = farm TS based on the practices in 2016 (mean of the n crop current TS)

initial TS = farm TS based on the practices at the beginning of the farmer's activity (mean of the n crop initial TS)

studied period = number of years since the beginning of the farmer's activity

3. Results

3.1. *The current adoption of alternative practices*

The current systems were studied with regard to the agroecological practices adopted and the diversity of ecologization levels. Twenty alternative practices were observed on the farms surveyed (Figure 9). The most frequently adopted are mowing, weeding with tillage, spot application of herbicides, use of manure or compost, biopesticides and chemical traps. The rarest are agro-pastoralism, insect-proof nets and sprinkler irrigation for the control of certain pests.

Plastic mulching, restitution of crop residues, release of natural enemies, cover crops and agro-pastoralism remain specific to certain crops. The fifteen other practices are most often partially adopted by farms, but sometimes are adopted on all of the crops.

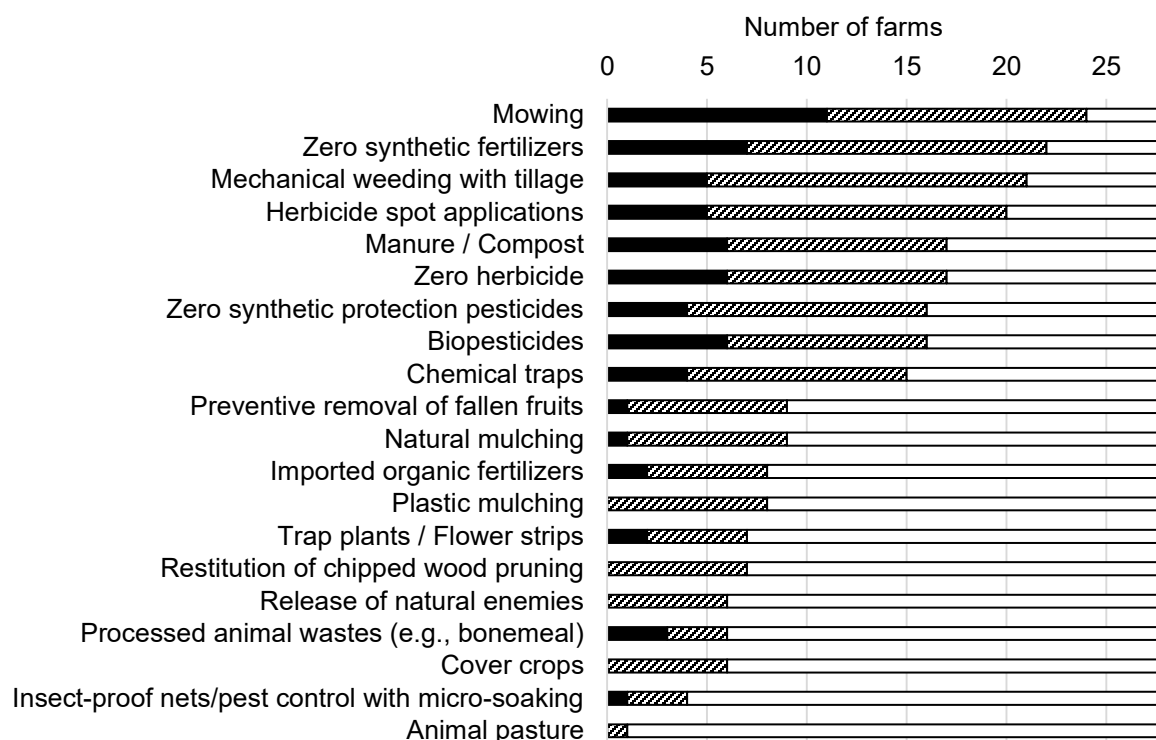


Figure 9: Extent of adoption of 20 agroecological practices on the 28 farms surveyed: in black farms in which the practice is adopted on all the crops; in hatched farms in which the practice is adopted only on some crops; and in white farms in which the practice is not adopted at all.

The mean TS of the 93 cases was 0.31. While positive, this average is far from the maximum score (+3), and results from the fact that the agroecological transition is ongoing for most of the crops identified. The range of variation in the average TS per farm, ranging from -2.25 to +3, shows that the farmers are at different levels of ecologizing their practices. Two contrasting situations appear (Figure 10): while 29% of farmers manage all of their crops with the same level of ecologization (high or low), 71% of farmers do not apply the same level of ecologization to all of their crops (the TS varies depending on the crop). This phenomenon is independent of the number of crops cultivated on the farm.

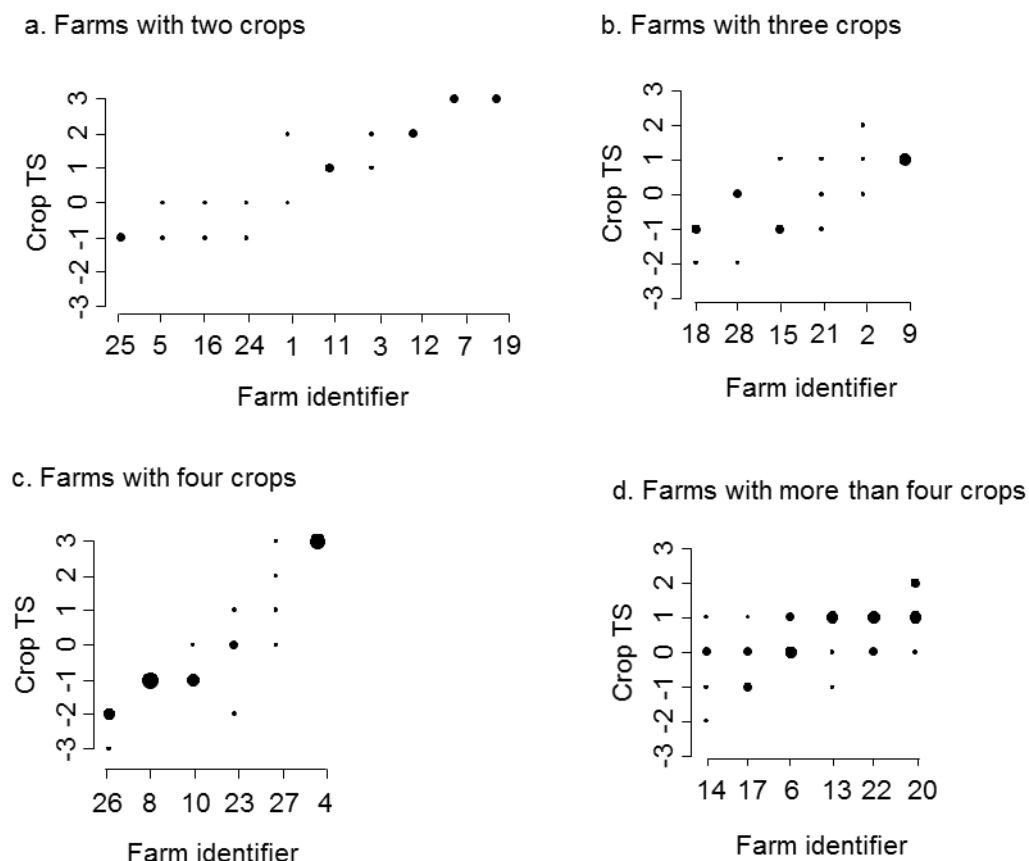


Figure 10: Variability of crop TS within and between farms. The size of the dots is proportional to the number of crops with the same TS.

3.2. Effects of crop characteristics on the adoption of alternative practices

The links between the diversity of ecologization levels and crop characteristics were first explored. Each crop effectively has its own characteristics in terms of biology (Suppl. Mat. 2, appendix 2), technical support and marketing which the farmer integrates into his or her choices of farming practices, including alternative practices to the use of synthetic inputs. The relationships between crop characteristics and practices are statistically significant in most of the cases (Table 9). Crops that are not sensitive to fruit and vegetable flies do not need chemical traps or preventive actions involving the destruction of fruits damaged by flies. A high sensitivity to competition from weeds leads to a high adoption of mulching and a low adoption of a permanent ground cover to mow. Plastic mulch, which degrades in a few months, is mainly used on short cycle crops.

The crops also are part of specific economic contexts. Technical support for the adoption of alternative practices is available for certain crops. For example, the adoption of the release of natural enemies is closely linked to the existence of strong technical support promoting this type of practice on certain crops (strawberries) and not on others (citrus fruits). The specific demands of buyers also influence farmers' choices of practices. Sales through channels with low visual quality requirements (direct sales or processing) lead to the absence of protective pesticides, whether or not organic certified (Table 9).

Table 9: Effects of crop biological and economic features on adoption of agroecological practices

Crop features	Practices		Test p-value
Biological			
Sensitivity to fruit flies	Traps/prophylaxis	No traps/prophylaxis	Chi-2
Low	7	27	4.00e-02*
High	26	33	
Nutrient needs	Zero synthetic fertilizers	Synthetic fertilizers	Fisher
Low	5	7	3.51e-01
High	48	33	
Cycle duration	Mulching	No mulching	Chi-2
Short	15	7	5.05e-05*
Medium	13	13	
Long	7	38	
Sensitivity to weed competition	Mulching	No mulching	Chi-2
Low	12	46	3.77e-05*
High	23	12	
	Mowing	No mowing	Chi-2
Low	46	12	3.01e-04*
High	14	21	
	Zero herbicide	Herbicide	Chi-2
Low	24	34	8.53e-01
High	13	22	
Economic context			
Certification	Imported fertilizers	organic No imported organic fertilizers	Fisher
Organic	5	9	1.52e-01
None	14	65	
Technical support	Release of natural enemies	No release of natural enemies	Fisher
Low	3	77	1.09e-03*
High	5	8	
Marketing constraints on visual quality	Zero protection treatments	Organic or synthetic protection treatments	Chi-2
Low	13	11	3.11e-04*
High	10	59	

*P = 0.05

Based on the TS and crop characteristics of the 93 cases, the multivariate analysis made it possible to constitute five clusters (Figure 11, Suppl. Mat. 3, Suppl. Mat. 4, appendix 2).

The “Low requirement markets” (21 cases) have the highest average TS. This cluster mainly includes crops for which effective alternative practices exist which are inexpensive and do not require specific technical support. These are perennial species that are not very susceptible to competition from weeds, which favors the adoption of mechanical mowing. They are also species which are highly susceptible to fruit flies, leading to the adoption of the preventive removal of fallen fruit and chemical traps (see Suppl. Mat. 5, appendix 2). Moreover, these crops are mostly integrated into marketing channels accepting low visual quality (direct sales, processing or sales under the AB label), which enables limited use of protective treatments.

The “Technical support” cluster (12 cases) has an intermediate average TS. It groups annual crops (strawberry, tomato) and semi-perennial crops (passion fruit, christophine) mainly grown under shelters and accompanied by strong technical support recommending the release of natural enemies. As weeds are highly competitive with these crops, plastic or natural mulching is heavily adopted and no herbicide is used under shelter. However, the reliance on sales channels with highly demanding visual quality requirements limits the margins of reduction of the protective treatments.

The cluster “Agroecological profit” (23 cases) also has an intermediate average TS. It mainly contains perennial crops identical to the “Low requirement markets” cluster, which are susceptible to fruit flies and for which mowing, chemical traps and the preventive removal of fallen fruit are strongly adopted because they are effective and inexpensive. But in this case, the produce are marketed in sales channels with very demanding visual quality requirements which limits the reduction of the protective treatments.

The cluster “Agroecological risk” (29 cases) also has an intermediate average TS. It includes annual or semi-perennial crops that are not very susceptible to fruit flies but face high competition from weeds and for which alternative practices are currently more risky or expensive than synthetic inputs. Farmers growing these crops have a high environmental sensitivity, which leads them to combine organic and synthetic fertilization on the one hand, and mowing and herbicide on the other. However, the absence of specific technical support for these crops and their very

demanding sales channels with regard to visual quality are hindering the adoption of more alternative practices.

The "High constraints" cluster (8 cases) has a very negative average TS, reflecting a heavy reliance on synthetic inputs. It mainly contains semi-perennial crops identical to the "Agroecological risk" cluster, but the farmers cultivating them are facing constraints with regard to labor or input availability. This explains the lack of adoption of mowing and organic fertilization, while the technical support for these field crops has yet to focus much on the release of natural enemies or chemical traps. The reduction of synthetic inputs is also limited by the requirements of the sales channels in terms of yield (sugar cane) or visual quality (pineapple and passion fruit for export).

Of the 19 species identified in the sample, 53% belong to only one cluster

Table 10, Suppl. Mat. 5, appendix 2). The rest are distributed between two and more rarely three clusters. This distribution is independent of the length of the crop cycle. The results demonstrate that crop characteristics alone are not enough to explain farmers' choices with regard to a transition to more agroecological practices.

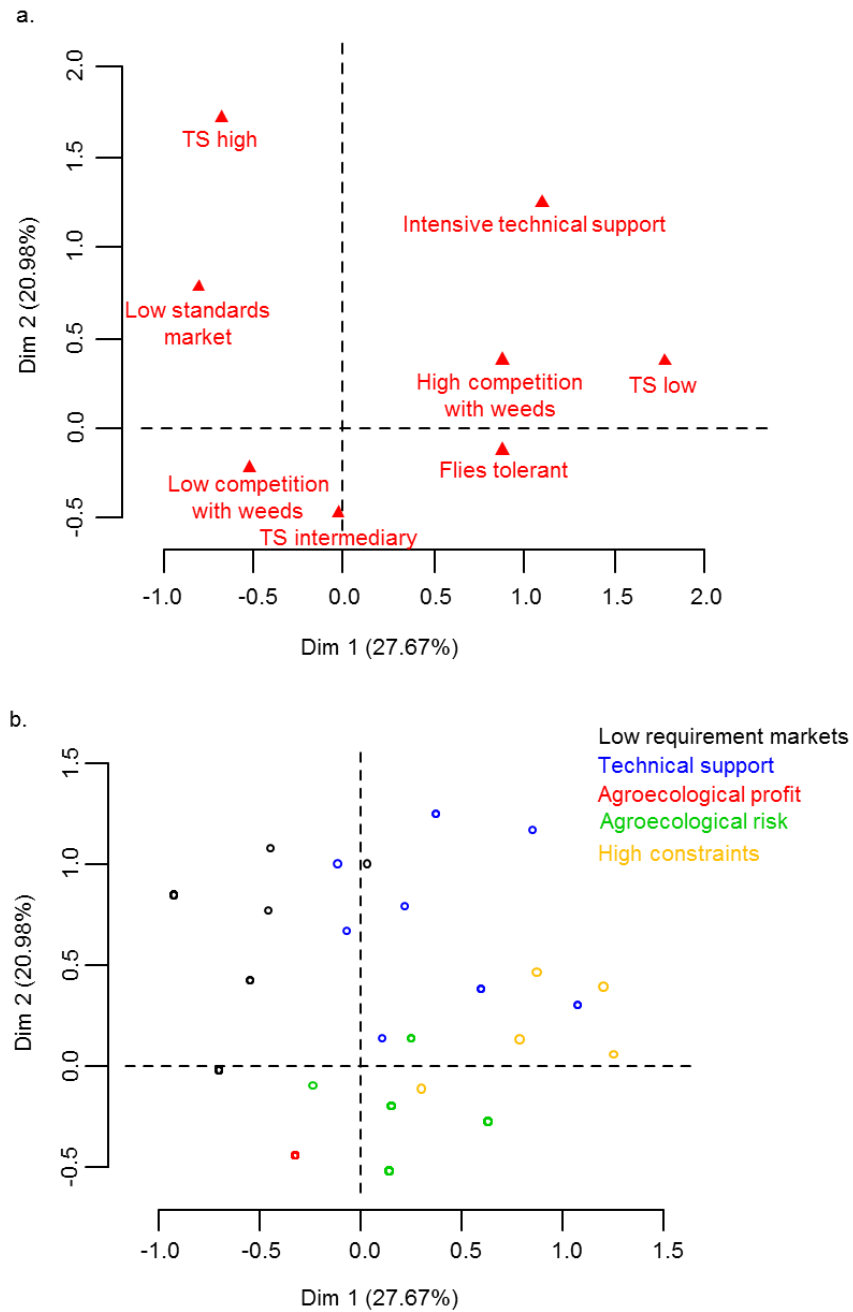


Figure 11: a. Representation of modalities contributing more than twice the mean contribution on the first factorial plan of the MCA. b. Representation of the clusters of cases on the first factorial plan of the MCA.

Table 10: Species distribution (number of species) according to their type (annual, semi-perennial, perennial) and the number of clusters of appearance

	Species distribution in the clusters			Total
	1 cluster	2 clusters	3 clusters	
Annual	4	2	1	7
Semi-perennial	3	2	1	6
Perennial	3	2	1	6
Total	10	5	3	19

3.3. *Effects of interactions between crops on the adoption of alternative practices*

Given the diversification of the farms studied, interactions between crops and animal production were analyzed to understand their roles, positive or negative, in the adoption of alternative practices. Three main types of interactions were identified: (i) ripple effect when the adoption of an alternative practice on one production triggers its adoption on another production; (ii) flow of materials between productions that enables the adoption of an alternative practice; (iii) compensation when the adoption of an alternative practice on one production is conditional on its non-adoption on other productions, particularly in cases where limited labor or cash flows are constraints.

Observed 20 times, the ripple effect process covers two types of situations: (i) the farmer, having tested a new practice on one crop with satisfactory results, then adopts the practice on another. This thus consists of dissemination of knowledge within the farm; (ii) the farmer changes equipment or inputs which are then pooled for use over several crops to simplify management and achieve economies of scale. The dissemination of knowledge is observed particularly in farms with at least one crop that has strong technical support ("Technical Support" cluster) which is the "gateway" to innovation. The practices disseminated are chemical traps, organic fertilization, natural mulching and mowing. For example, farmer n° 1 receives considerable technical support for his strawberry crop. In 2010, he is advised to stop using herbicides and to leave a permanent, mowed grass cover between rows. Satisfied with the effects of this cover on reducing mite pressure and the number of acaricide treatments, he began practicing mowing on citrus fruits in 2012 without having received technical advice for this crop. The pooling of inputs and alternative equipment is observed between all clusters except for the "High constraints" cluster, which has a low level of ecologization. Pooled inputs are organic fertilizers, chemical traps and biopesticides. Pooled equipment consists of rotary cutters for mowing and grinding branches to recycle crop

residues and natural mulching. For example, farmer n° 9 only cultivates perennial fruits which are all sold through the same sales channel. In 2014, he replaced synthetic fertilizers with an organic fertilizer (feather meal and poultry blood) on all of his crops so that he only had to buy and transport one type of fertilizer. Farmer n° 7 bought a piece of equipment he could use both for shredding citrus branches after pruning and for mulching with Ramial Chipped Wood on vegetables.

The existence of flows of material between productions was observed 13 times. Farmers put them in place to reduce their purchases of external inputs and manage their 'waste', i.e., crop residues or livestock manure. These interactions were observed on the farms with mean TSs that were intermediate to high. Seven types of inputs are involved in these flows of material: seeds of flower strips and natural enemies that are initially purchased, multiplied on one crop, and then transferred to other crops; natural mulch produced on the farm and used on some crops; the residues of soil-less crops and their substrate that are transferred to fertilize soil-grown crops; manure/slurry from animals on the farm that is transferred to fertilize crops; and finally hay produced from spontaneous ground cover.

Observed 12 times, compensations in the allocation of farm resources are linked to two constraints which are sometimes combined: (i) a limited labor force which forces the farmer to choose less time-consuming practices for certain crops to prioritize the management of other crops; (ii) a limited cash flow which forces the farmer to concentrate investments in inputs or equipment on certain crops to the detriment of others. Crops that are major contributors to farm income or have higher economic margins are considered to be the "priority" for labor and cash flow. This includes the crops of the "Technical support" cluster. These compensation mechanisms lead to the only partial adoption of alternative practices that are more time-consuming or expensive: organic fertilization compared to synthetic fertilizers, mowing compared to herbicides, natural cane-based mulching which is expensive (€1,600/ha to renew once a year), the preventive removal of fallen fruit and flower strips that require additional time. For example, farmer n° 22 has practiced the preventive removal of fallen fruit for citrus since 2006. This takes time during the harvest, which is already a peak period of work. Despite the effectiveness of the practice, his labor force constraints led him to decide not to adopt it on christophine because it is a secondary crop on the farm. Farmer n° 1 has been using organic fertilizers on his strawberries since 2006, but not on his citrus trees because he considers that only strawberries allow him to generate a profit while using this expensive fertilizer.

3.4. *A diversity of agroecological dynamics at the farm level*

The analysis of changes in farmers' choices and their consistency over time at the farm level revealed six practice change dynamics (Table 11): "Backward step", "No change", "Partly & Progressive", "Total & Progressive", "Progressive & Radical", and "Radical".

"Backward step" is the only dynamic showing a general return to conventional practices, resulting in a decrease in the TS ($v = -0.50$ TS/year). It was observed on two farms that were established as organic farms in the 2010s on land that had not previously been farmed organically. As they consequently had to pass through a conversion stage while getting set up, they did not benefit from the high sales prices of produce certified as organic. One farm suffered very low yields due to a poor grasp of organic practices. The other suffered from an excessive workload related to the organic practices chosen. The farmers therefore chose to use synthetic inputs to secure yields and reduce workloads. The crops are currently managed with an intermediate level of ecologization ("Agroecological profit" and "Agroecological risk" clusters, mean TS = 0.7).

"No change" is a dynamic at zero v . The five farmers representing this case have not changed their ecologization level since they began their activities in the 2010s. This dynamic groups three situations that differ in terms of their ecologization levels and justifications. Two farmers are urban transplants whose crops are grown organically in coherence with their high environmental sensitivity ("Low requirement markets" cluster). Two other farmers cultivate crops with intermediate ecologization levels ("Agroecological Profit" and "Agroecological Risk" clusters) because they want to minimize synthetic inputs. The absence of change is because they only recently started their activity, but will evolve *a priori* towards a greater ecologization of their practices. In contrast, the last farmer manages his crops with a very low level of ecologization ("High constraints" cluster). He does not believe in the effectiveness of alternative practices and wishes to secure his cash flow, which was reduced by installation costs.

"Partly & Progressive" is a dynamic grouping six farmers who are evolving towards more agroecology for only some of their crops, with a low average speed ($v = 0.04$ TS/year) and low levels of ecologization at present (average TS = - 0.7). Two farmers changed their practices in response to consumer requests for products that were less treated. They only made changes on their direct sales crops (e.g., citrus) and not on others (e.g., sugar cane). Two other farmers gradually changed their practices under the influence of agricultural advisers. The changes were limited to the crops monitored ("Technical support" cluster) without dissemination of the innovations because the techniques involved are ones effective under shelter (releases of natural

enemies, chemical traps) but are less suitable for field crops. The last two farmers changed their practices only to adapt to regulatory requirements and rising prices for synthetic inputs. For example, farmer n° 25 (Figure 12a) adopted chemical traps and biopesticides for citrus because of synthetic pesticide bans. However, he already was not using any protective treatment for thyme, which had no health problems.

The "Total & Progressive" dynamic brings together eight farmers who are progressively ecologizing all of their crops, with an intermediate speed and ecologization level at present ($v = 0.11$ TS/year, mean TS = +0.5). Seven farmers chose this dynamic because they want to reduce their use of synthetic inputs for environmental and health reasons. Five of them thus adopted a local organic fertilizer (feather meal and blood, manure or compost), bought in large quantities and used on all crops (pooling phenomenon). However, since their agricultural activity is their main source of income, they seek to safeguard their technical and economic performance by making gradual changes, which are less risky than radical changes (Figure 12b). On the eighth farm, this dynamic is motivated by the adoption of inputs considered to be more efficient (biopesticides, organic fertilization) while continuing to purchase external inputs in an ongoing effort to achieve perfect control of the production system.

"Progressive & Radical" is characterized by a combination on four farms of progressive changes on some crops and radical changes on others, leading to an intermediate speed and level of ecologization comparable to those of the "Total & Progressive dynamic ($v = 0.15$ TS/year, mean TS = +0.8). Four farms display this type of dynamic. Two farmers have made radical changes on crops that are monitored by a technical advisor and offer attractive economic margins ("Technical Support" cluster). The two others gave a "pilot crop" role to their citrus orchards in terms of ecologization ("Low requirement markets" cluster), while gradually changing their market gardening practices to secure their income. These "mixed" dynamic farms have many ripple effect phenomena, from the most ecologized crops ("Low requirement markets" and "Technical support" clusters) towards the others ("Agroecological profit" and "Agroecological risk" clusters). Farmer n° 27 (Figure 12c) thus converted his christophine and tomato crops to organic farming, but not his citrus fruits. This conversion involved several rapid changes: the discontinuation of herbicide, the total substitution of synthetic protection treatments with biopesticides and synthetic fertilizers with organic-certified fertilization. The farmer was supported by his cooperative which had established a well developed organic market for christophine and tomato. For citrus, this organic market has not yet been developed and the farmer had made only gradual changes which were cheaper and less risky, such as reducing herbicides by combining them with mowing and reducing synthetic

fertilizers by combining them with feather meal and poultry blood. He also adopted chemical traps and prophylactic techniques one year after adopting them on christophine.

"Radical" brings together three farms that have opted for radical changes on all of their crops, leading to a high speed and current level of ecologization ($v = 0.26$ TS/year; "Low requirement markets" and "Agroecological profit" clusters, mean TS = +2.3). In two cases, the agricultural activity is a hobby providing supplementary income to the farmers. They are therefore willing to take technical and economic risks to reduce synthetic inputs as quickly as possible, for example by converting to organic farming. For the third farm (n° 7) the farmer lives off his agricultural activity. He sought an innovative production model that would allow him to obtain sufficient income from an agroecological management of his farm. To do so, he left his cooperative, converted to organic farming on all of his crops and opened a sales stall on an organic market. In the same year, this farmer stopped using synthetic inputs on citrus and tomato and adopted organic fertilization (Figure 12d). The yields and visual quality of his products dropped but he benefited from the higher selling prices of the organic market, even for products with poor visual quality.

Table 11: Characteristics of the six farm dynamics towards agroecology

Name	Backward step	No change	Partly & Progressive	Total & Progressive	Progressive & Disruptive	Disruptive
Number of farms	2	5	6	8	4	3
Farms with one crop cluster	1	4	3	3	0	3
Farms with multiple crop clusters	1	1	3	5	4	0
% cluster						
Low requirement markets	12.5	38.5	11.8	22.9	7.1	66.7
Technical support		7.7	11.8	11.4	35.7	
Agroecological profit	50	15.4	23.5	25.7	21.5	33.3
Agroecological risk	37.5	7.7	41.1	34.3	35.7	
High constraints		30.7	11.8	5.7		
Interactions						
Diffusion				2	5	
Mutualisation				6	1	6
Synergy		3	2	5	1	2
Compensation			3	4	5	
Mean duration since farm installation (year)	5.0	4.2	21	21	19	18
TS						
Initial	+2.2	+0.20	-1.6	-1.8	-2.1	-2.3
Final	+0.70	+0.20	-0.70	+0.50	+0.80	+2.3
Δ TS	-1.5	0.0	+0.90	+2.3	+2.9	+4.6
Δ TS/year	-0.50	0.0	+0.040	+0.11	+0.15	+0.26

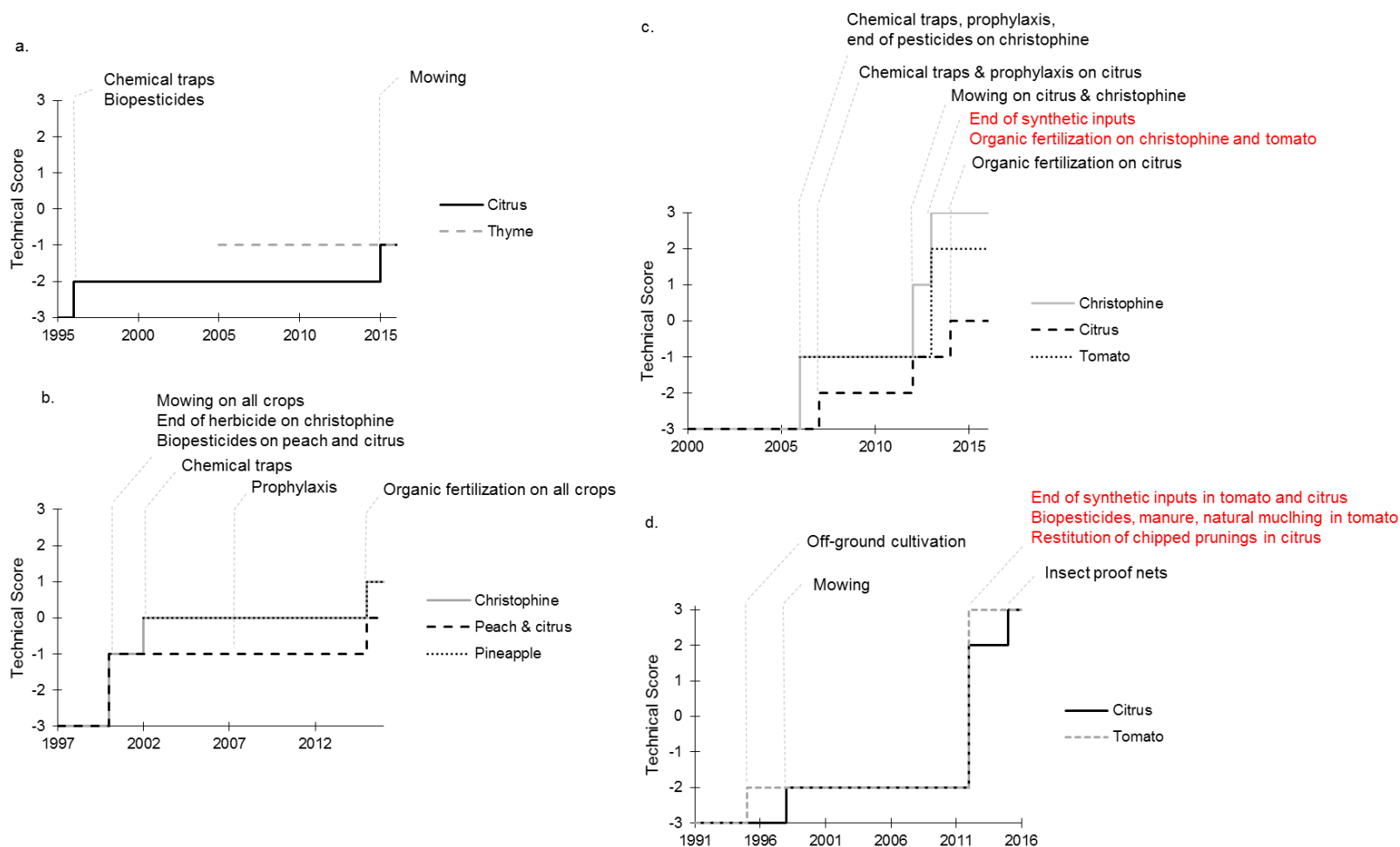


Figure 12: a. "Partly & Progressive" (Farm 25): progressive changes on citrus and no changes on thyme because it is a low input crop. b. "Total & Progressive" (Farm 22): progressive changes on all the crops because of similar marketing conditions. c. "Progressive & Disruptive" (Farm 27): progressive changes on citrus and radical changes on tomato and christophine due to an organic market opportunity. d. "Disruptive" (Farm 7): radical changes on all the crops in 2012 due to a new marketing channel. Radical changes are distinguished with red letters.

4. Discussion

4.1. *Farmer's choices towards agroecological practices are driven by a complex set of interacting factors*

Although based on a small sample of diversified farms, this study has shown that the determinants and dynamics of farmers' choices regarding agroecological transition involve many interacting factors within each farm (Figure 13). These factors can be classified into five categories pertaining to: (i) the specific characteristics of crops, integrated into the farm's soil-climate context, including sensitivity to pests, (ii) the farm's specific characteristics, particularly its labor and capital resources, (iii) the farm's environment regarding the availability of inputs, sales channels and the type of technical advice provided, (iv) the existence and the specific characteristics of the alternative practices proposed, such as their cost, workload and the technical complexity of their implementation, and (v) the farmer's own perceptions such as his or her sensitivity to the environmental impacts of practices and income objectives.

The combination of these different categories of factors within a farm explains why a farmer may decide to ecologize his practices on one crop, for example one that is not very sensitive to pests or sold directly to consumers, and not on another crop whose specifications seem too restrictive to do so. On more specialized farms, these differences can also exist between cultivars or between plots (Dupré et al., 2017; Pisonnier et al., 2016).

This study also emphasizes the impact on the change of interactions between agricultural activities within the farm. The dissemination of new knowledge, required for the technical mastery of alternative practices (Merot and Wery, 2017; Toffolini et al., 2015), is a key factor in advanced ecologization dynamics. Similarly, the pooling of inputs and equipment to reduce costs, or to the contrary, the concentration of these on the most lucrative activity, enables certain economic barriers to be overcome. Herrero et al. (2010) also show that biomass exchanges, especially on mixed crop-livestock farms, are particularly favorable to agroecological transition. Changes in the farmer's environment, such as the banning of certain products, incentives through technical advice and public support, as well as new consumer demands, are also important triggers for explaining the dynamics towards greater agroecology (Chantre and Cardona, 2014).

Although generic, this framework of analysis has to be adapted to the context in which the farm evolves (Grover and Gruver, 2017). For example, a specificity of La Réunion is its isolation as an

island that complicates access to alternative inputs, both in terms of physical availability and higher costs. Accompanying the agroecological transition of a territory thus leads to identifying its specific regional features (Fairweather and Campbell, 2003). Beyond the diagnosis of the situations encountered, this analytical framework can guide the modeling work aimed at designing new crop (Pardo et al., 2010) and production systems (Dogliotti et al., 2006), to support farmers in thinking about the future evolution of their farms towards more agroecological production systems (Le Gal et al., 2011), or to think about new agricultural policies (Morgan-Davies et al., 2017).

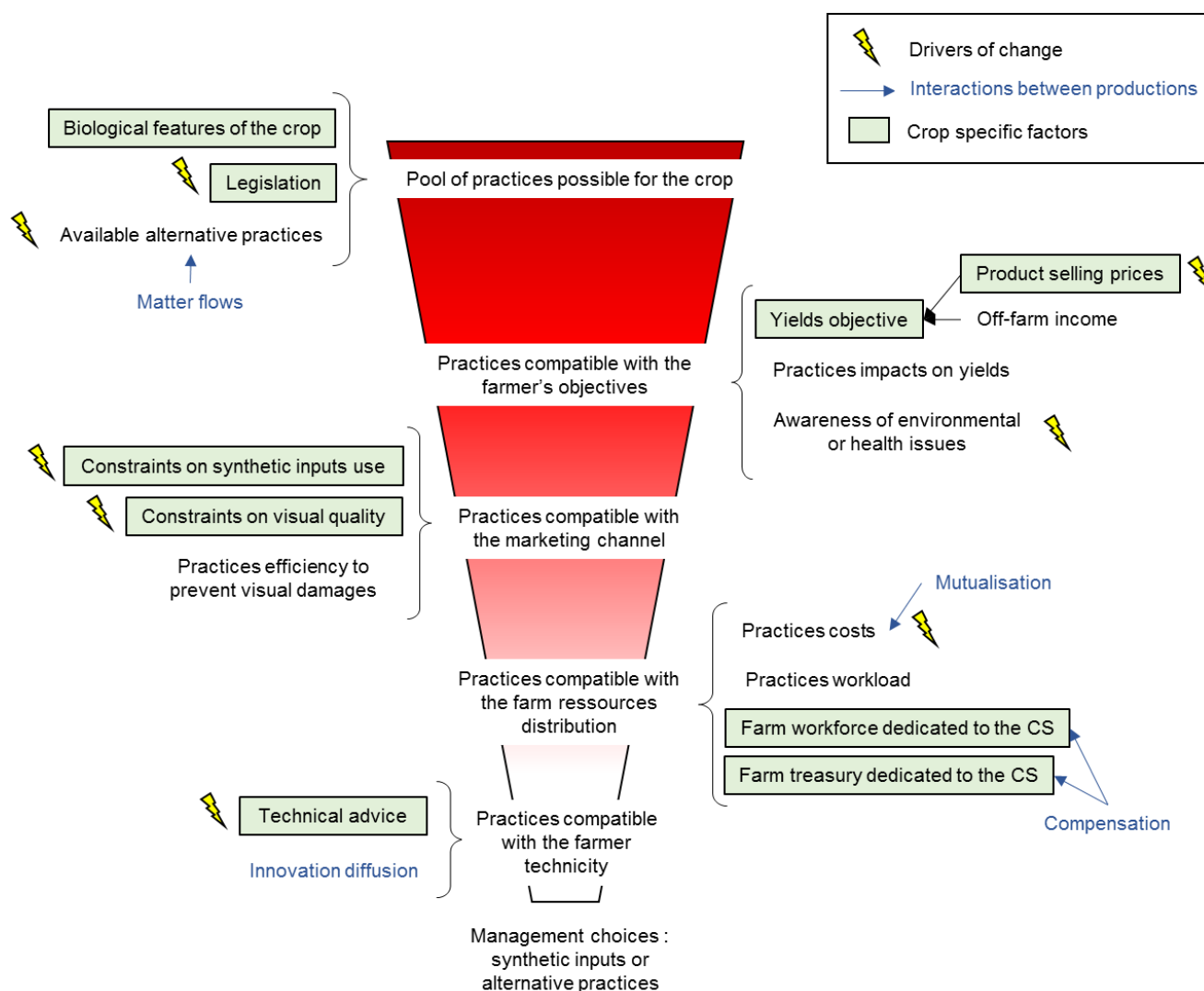


Figure 13: Farmer's decision-making processes for switching from conventional to agroecological crop practices

4.2. *Progressive or radical changes: lessons for agroecological transition*

By distinguishing substitution and redesign as pathways of change towards more sustainable farming systems, Hill and MacRae (1996) opened a debate about agroecological transition that remains lively and timely. Redesign advocates argue that substitution has the potential, through a "lock-in" effect (Wagner et al., 2016) to block farmers at a low level of ecologization that is insufficient to meet current social and environmental challenges (Rosset and Altieri, 1997a). Redesign is thus advocated by many researchers and was initially chosen as a strategy by the French Ministry of Agriculture to achieve a 50% reduction in pesticide consumption in ten years as part of its EcoPhyto1 plan (Aulagnier and Goulet, 2017). However, this objective has not been achieved.

Indeed, some actors, including farmers' unions, highlight the economic, organizational and technical difficulties posed by redesign on farms. These difficulties force farmers to take risks while facing markets, as consumers may not be "ready" to accept agricultural products with visual defects that are sold at higher prices. This social-technical "lock-in" effect (Guichard et al., 2017) refers to the observation that agroecological transition must take place at all levels of the food system (Francis et al., 2003) and not rest solely on the shoulders of farmers who prefer, under current conditions, progressive transitions with minor changes (Chantre et al., 2016; Ouédraogo et al., 2017). The uncertainty and short-term constraints of redesign thus led the French Ministry of Agriculture to reorient its policy towards a substitution strategy based on biocontrol (Aulagnier and Goulet, 2017).

Our study shows that the two strategies coexist in the transition dynamic of certain diversified farms (the "Progressive & Radical" dynamic). Partial redesign is reflected in the simultaneous adoption of several practices using on-farm inputs on one or more crops. Substitution is the adoption of individual practices based on inputs which are alternative but come from outside the farm. This coexistence provides advantages to farmers. They experiment and learn about crops managed under a redesign strategy while securing their income on crops where they use substitution. In doing so, they adapt to markets by redesigning crops with less demanding niche markets and by using substitution on crops whose conventional markets are very demanding. Finally, redesign is more difficult to implement on perennial crops when certain choices (e.g., disease tolerant varieties) can only be made at the time of planting (Simon et al., 2017). Farmers sometimes combine the two approaches without pitting one against the other, making trade-offs

between their objectives, in particular income and respect for the environment, and their environmental, technical, regulatory and economic constraints and opportunities.

4.3. *Operational consequences for the agroecological transition*

Given the diversity of individual situations, the approach used here, one based on the TS indicator, makes it possible to diagnose each farm and compare farms with each other while revealing the consistency of farmers' choices in the face of agroecological transition. This step is important to consider with farmers possible changes in their production systems. Through its flexibility, the TS indicator makes it possible to take into account all types of practices, conventional and agroecological, in plant production. Its adaptation to animal production seems conceivable, integrating the practices of feeding, sanitary management and effluent management, according to the agroecological principles described by Dumont et al. (2013). The TS could then provide a tool to assess the agroecologisation of mixed crop-livestock farms. However, this indicator, which can be used for static and dynamic studies, remains purely descriptive. It should be coupled with approaches such as Life Cycle Assessment (Hellweg and Milà I Canals, 2014) to go further in assessing the effects of changes in practices on the environmental, economic and social performance of farms.

These tools could be integrated into on-farm extension services which are still largely lacking in contexts such as La Réunion, where technical support remains very sector specific (Rebuffel et al., 2015). This support to small diversified farms, aimed at defining the pathways to a successful agroecological transition, could be based on discussion groups and experiments between farmers (Warner, 2006) with contexts of action and convergent objectives for greater effectiveness (Oerlemans and Assouline, 2004). The analytical framework formalized in this study provides a basis for forming such groups.

Based on what was certainly a small but diverse sample of situations, this study has also highlighted the pioneering practices of farmers who are very advanced in the agroecological transition. This point, which is similar to results obtained by tracking on-farm innovations (Feike et al., 2010; Salembier et al., 2015), is a source of inspiration for farmers, but also for researchers who design innovative systems and for political actors proposing policies to support these innovations.

5. Conclusion

Following the public health, food and environment challenges posed by a production-focused agricultural model, agroecological transition is a concept that has moved from the scientific sphere to political and social spheres. Through their farming practices, farmers are at the forefront of the debate, yet the reasoning behind their choices are not always clearly laid out. This study provides new insights by showing that on diverse farms, crops interact in relation to the inputs, labor, and knowledge required to adopt agroecological practices. These interactions, as well as the farms' internal and external constraints and opportunities, explain why the agroecological transition process can take such complex and diversified forms. Practice change dynamics which have received scant attention are described in this article, including "mixed" dynamics where substitution and redesign coexist on the farm level. The diversity of the cases observed, both in terms of past and present dynamics, highlights the gap between the entrenched positions encountered far too often in political and social debates, and the reality experienced by farmers. Furthermore, barriers to change also depend heavily on actors outside the production sector, especially consumers, because their quality and price requirements may be incompatible with farmers' technical and economic room to manoeuvre. The study and accompaniment of agroecological transition must therefore go beyond these ideological debates to propose to farmers trajectories of change which are adapted to their individual context and involve all of society in this transition.

Acknowledgments

We are very grateful to the farmers and all of the stakeholders we met for the valuable data they provided and the rich discussions we shared with them. This work was supported by the French Agricultural Research Centre for International Development (CIRAD) and the European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD).

De l'analyse des stratégies des agriculteurs à l'accompagnement des politiques de transitions à l'échelle du système productif.

Les deux chapitres précédents ont abouti à une meilleure compréhension du processus de transition agroécologique dans les exploitations. Ils ont permis notamment d'identifier les marges de manœuvre des agriculteurs pour adopter des pratiques agroécologiques. Cette marge de manœuvre dépend fortement du ratio main d'œuvre/surface dans l'exploitation et du circuit de vente. La sensibilité environnementale forte de certains agriculteurs explique aussi certains choix, notamment les conversions radicales à l'AB. Selon leur marge de manœuvre, les agriculteurs vont réagir différemment à une évolution du marché ou des aides agricoles. Mais les décideurs politiques ne disposent pas d'outil pour prendre en compte cette diversité des agriculteurs et explorer différentes options dans la conception de leurs politiques d'aides à l'échelle des systèmes productifs. Suite à ce constat, nous avons conçu et testé un modèle de simulation pour évaluer *ex-ante* l'effet des politiques d'aides et du marché sur les pratiques de différents types d'agriculteurs. Dans ce quatrième chapitre, nous élargissons notre étude de la transition agroécologique à l'échelle des systèmes productifs où coexistent et interagissent une diversité de productions, d'agriculteurs et de circuits de vente, chacun présentant des contraintes et des opportunités spécifiques pour la transition agroécologique.

Chapitre IV. Evaluer les effets croisés des politiques publiques et des demandes du marché sur les choix des agriculteurs vis-à-vis de l'agriculture biologique à l'aide d'un modèle bioéconomique à deux échelles.

Ce chapitre fera l'objet d'une soumission à la revue *Agricultural Systems*.

Marie Dupré ^{a*}, Thierry Michels ^a, Pierre-Yves Le Gal ^b

^a (1) CIRAD, UPR HORTSYS, 97455 Saint-Pierre Cedex, La Réunion, France

(2) HORTSYS, Univ Montpellier, CIRAD, Montpellier, France

thierry.michels@cirad.fr

^b (1) CIRAD, UMR Innovation, F-34398 Montpellier, France

(2) Innovation, Univ Montpellier, CIRAD, INRA, Montpellier SupAgro, Montpellier, France

pierre-yves.le_gal@cirad.fr

* Corresponding author: marie.dupre@cirad.fr

Mots clés : décideurs politiques; circuits de vente; typologie d'exploitations; ananas; agrumes; île de La Réunion.

Résumé

Les décideurs chargés du développement des filières agricoles cherchent à faire correspondre au mieux production et demande des consommateurs, en influençant les choix des producteurs grâce à l'attribution d'aides financières. Mais la demande des consommateurs évolue très vite, que ce soit pour des raisons démographiques et de développement, ou pour des préoccupations environnementales et de santé humaine. L'objectif de cette étude est de construire un modèle permettant d'évaluer *ex-ante* des politiques d'aides en prenant en compte l'évolution du marché. Pour cela, le modèle décrit la complexité des interactions entre producteurs, intermédiaires commerciaux et consommateurs au sein d'un système productif. Il est basé sur la méthode de modélisation d'optimisation réalisée à deux niveaux consécutivement. Dans un premier temps il

simule le choix d'activités agricoles de différents types de producteurs à l'échelle de l'exploitation. Les résultats sont ensuite utilisés pour calculer à l'échelle du système productif la meilleure combinaison d'exploitations pour satisfaire la demande de tous les segments de marchés. Le modèle a été appliqué à l'île de La Réunion (France) sur les systèmes productifs ananas (*Ananas comosus* (L.) Merr.) et tangor (*Citrus reticulata* Blanco x *Citrus sinensis* (L.) Osb.). Les scénarios développés testent différents montants d'aides pour les surfaces en AB dans l'hypothèse d'un marché AB développé dans tous les segments de marché. Les résultats montrent que les aides actuelles sont insuffisantes : pour atteindre 15% de la surface totale en AB il faudrait multiplier les aides actuelles par quatre. Et ce scénario serait encore insuffisant pour développer une gamme AB dans l'ensemble des circuits de vente car dans certains circuits de vente les produits conventionnels sont très bien valorisés. Dans ce cas d'étude le modèle a été utilisé dans une démarche participative. Les résultats montrent que ce modèle simple pourrait être un outil de partage de connaissances entre les acteurs d'une filière, échelle à laquelle les connaissances sont souvent segmentées. Les décideurs bénéficieraient alors d'une meilleure compréhension du fonctionnement des systèmes productifs pour concevoir leurs politiques d'aides.

1. Introduction

Les pouvoirs publics disposent de différents instruments incitatifs pour orienter le comportement des acteurs privés ou des citoyens, qu'ils soient positifs comme des subventions, ou contraignants comme des taxes ou des réglementations (Stiglitz, 1987). Outre leur coût de mise en œuvre, ces instruments peuvent être source de tensions entre les acteurs. Leur conception nécessite donc d'être bien réfléchie, particulièrement dans le domaine agricole où le contexte évolue très rapidement, que ce soit à travers les innovations techniques, la concurrence des marchés extérieurs, les crises sanitaires ou la demande croissante des consommateurs pour des pratiques agricoles plus respectueuses de l'environnement. Les outils permettant aux décideurs d'évaluer *ex-ante* les effets possibles de leurs politiques agricoles sont alors utiles pour leur permettre de s'adapter rapidement et efficacement aux défis posés par ces évolutions (Norton and Hazell, 1986). La modélisation a été utilisée à cet effet pour évaluer les conséquences possibles de politiques publiques sur des territoires, par exemple les modifications de la Politique Agricole Commune en Europe (Louhichi et al., 2010; Pacini et al., 2004a; Veyssset et al., 2005). La modélisation a également été utilisée pour aider à la conception de nouvelles aides agricoles (Falconer and Hodge, 2001; Semaan et al., 2007), parfois de manière participative avec les décideurs publics locaux (Chantre et al., 2016; Walz et al., 2007).

Parmi les techniques de modélisation, l'optimisation permet de reproduire le comportement probable de décideurs dans des contextes futurs, en considérant que chacun a la connaissance de toutes les options à sa disposition et choisit la meilleure combinaison d'options maximisant un ou plusieurs objectifs en respectant certaines contraintes (Janssen and Van Ittersum, 2007). Les solutions issues de l'optimisation peuvent être des supports de discussion dans des démarches d'évaluation participative de scénarios avec les décideurs publics (Van Ittersum et al., 1998). Cette méthode permet de faire émerger de nouvelles problématiques, d'améliorer la compréhension des systèmes de production étudiés et de créer des dynamiques d'échange entre acteurs propices à la conception de plans d'action (Patel et al., 2007).

Dans une économie de marché, les choix des producteurs ne sont pas seulement influencés par les politiques publiques mais aussi par les dynamiques d'équilibre entre l'offre en produits agricoles et agroalimentaires et la demande des consommateurs (Kanellopoulos et al., 2014). Certains outils comme la chaîne de modèle SEAMLESS-IF, développée pour l'Union Européenne, permettent de prendre en compte l'équilibre des marchés en couplant de manière itérative un modèle bioéconomique d'occupation des sols à un modèle économique d'équilibre du marché (Ewert et al., 2011). D'autres modèles sont basés sur une optimisation intégrant des contraintes régionales en terme de volumes pour des marchés limités (Chopin et al., 2015). Mais dans la plupart des cas, les résultats obtenus à l'échelle exploitation sont agrégés à l'échelle régionale sans prendre en compte les variations possibles des prix ni la concurrence entre producteurs pour les marchés limités (Schmid et al., 2007).

Cette étude vise à évaluer *ex-ante* les conséquences de politiques publiques en interaction avec des dynamiques de marché sur les choix des producteurs en termes d'activités agricoles. Elle se base sur la conception et l'utilisation d'un modèle d'optimisation dénommé ENTICIP (EvaluationN at Territory scale of the Interactions between Consumption, public Interventions and farming Production). Le modèle proposé représente l'échelle du système productif et intègre les contraintes d'un marché limité. Il prend en compte trois types d'acteurs : les producteurs et leurs exploitations agricoles dont il modélise les choix en termes de pratiques agricoles à partir de connaissances acquises précédemment sur leurs stratégies de production (Dupré et al., 2017) ; les acteurs des filières au sein d'un territoire, afin de prendre en compte la diversité des circuits de vente coexistant et les choix des consommateurs ; les acteurs publics et leurs instruments d'intervention, des aides à la production dans le cas présent.

ENTICIP est appliqué à la conception d'aides pour le développement de l'Agriculture Biologique (AB) à La Réunion (France). L'AB est en effet un exemple intéressant de modèle agricole concerné à la fois par des politiques publiques (Plan Ambition Bio 2022) et par une dynamique de marché spécifique (Smith and Marsden, 2004). Les systèmes productifs étudiés sont les systèmes productifs de l'ananas (*Ananas comosus* (L.) Merr.) et du tangor (*Citrus reticulata* Blanco x *Citrus sinensis* (L.) Osb.). Le contexte insulaire de La Réunion permet de délimiter précisément les bassins de production et de consommation de ces deux produits non importés. La production locale approvisionne l'ensemble des marchés locaux et un marché export pour l'ananas.

La structure générique du modèle est d'abord présentée, puis son exemple d'application. Les politiques de développement de l'AB sont discutées à partir de ces résultats, ainsi que les atouts et limites d'ENTICIP pour d'autres utilisations, notamment dans un cadre participatif.

2. Le modèle d'optimisation

2.1. Représentation du système productif

ENTICIP vise à aider les acteurs publics dans leurs réflexions sur l'accompagnement des changements de pratiques agricoles au sein des systèmes productifs. Un système productif est un ensemble d'activités productives fonctionnant en système à large échelle. Il correspond à l'ensemble des exploitations agricoles produisant la production considérée sur le territoire d'étude et l'ensemble de leurs marchés. Dans ENTICIP, un système productif est représenté par un bassin de production, composé d'un ensemble d'unités de production (UP), en relation *via* différents circuits de vente à un bassin de consommation, composé d'un ensemble de segments de marchés (Figure 14).

L'UP représente l'exploitation agricole de façon simplifiée, en considérant qu'elle n'a pas d'autres activités agricoles ou para-agricoles que les productions étudiées. Elle est caractérisée par des ressources internes limitées (capital, terre, main d'œuvre), un contexte externe influençant les productions agricoles possibles et leurs performances (sols, climat, circuits de vente) et les objectifs spécifiques du producteur. La segmentation du bassin de production en plusieurs types d'UP permet de représenter la diversité des exploitations relevant des systèmes productifs étudiés.

Un segment de marché correspond à un type de produit et son lieu de vente. Il est caractérisé par un volume total commercialisable à l'échelle du territoire considéré et un prix d'achat au producteur selon la qualité du produit. Cette segmentation du bassin de consommation permet de faire varier dans les scénarios ces variables volume et prix par segment de marché, et ainsi de simuler différents contextes de marché.

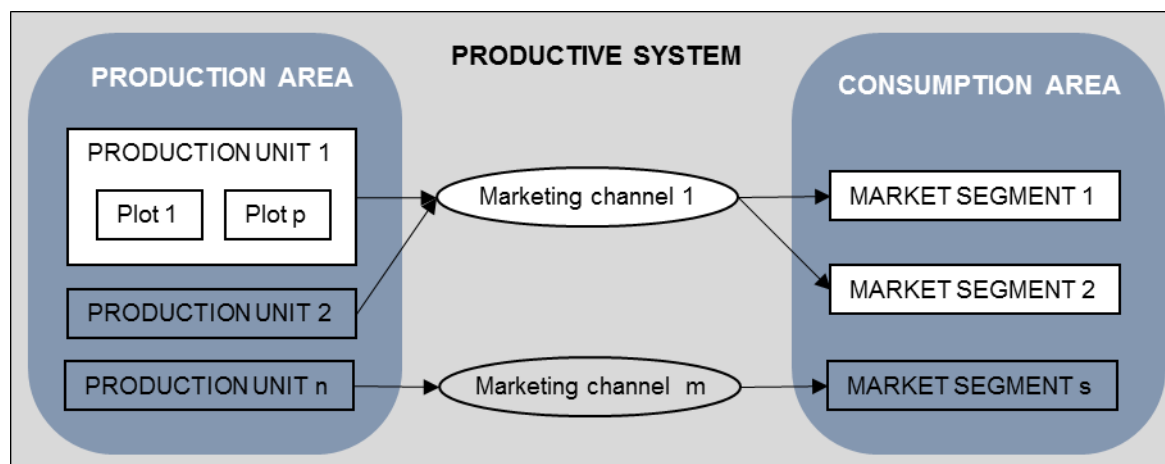


Figure 14 : Représentation conceptuelle d'un système productif dans le modèle ENTICIP

2.2. Un modèle d'optimisation à deux niveaux

ENTICIP intègre deux niveaux d'organisation de la production couplés manuellement, i.e. l'UP et le bassin de production des systèmes productifs considérés en lien avec un bassin consommation. Le modèle calcule d'abord les choix optimaux d'activités permettant de maximiser la marge brute obtenue par chaque type d'UP en affectant une surface à chaque activité en fonction des ressources et contraintes de l'UP (Figure 15). Une activité désigne une production, son mode de gestion et son circuit de vente. Elle est caractérisée par des coefficients techniques traduisant par hectare la charge de travail par mois, les coûts en intrants, des indicateurs environnementaux adaptés à la problématique, et le rendement, décomposé en un rendement en produits de qualité premium et un rendement en produits avec défauts. Lorsque ces rendements sont affectés par le contexte naturel, chaque activité est associée à une zone géographique pour laquelle ces rendements sont considérés comme homogènes. L'activité est également définie par son circuit de vente car il détermine la qualité exigée, le prix de vente et peut conditionner les aides perçues. Les éventuelles activités d'élevage sont prises en compte en termes de surface allouée aux

cultures fourragères et aux prairies, combinée sans lien mécaniste à un troupeau consommant des ressources et produisant des produits commercialisés. Le modèle est statique et simule une période totale d'un an, divisée en douze mois pour les calculs liés à l'équilibre entre offre et demande en main d'œuvre. Le modèle peut être utilisé sur des cultures annuelles, semi-pérennes et pérennes en adaptant les coefficients techniques. Le détail des équations est présenté dans le Supplementary Material 1 (Annexe 3).

Ces combinaisons optimales d'activités par type d'UP sont ensuite réinjectées au niveau du bassin de production. Le modèle détermine alors à ce niveau la combinaison optimale des types d'UP maximisant la somme des marges brutes des producteurs en respectant les contraintes de volumes maximum commercialisés dans chaque segment de marché au sein du bassin de consommation considéré (Suppl. Mat. 2, Suppl. Mat. 3, annexe 3). Le modèle est codé sous le langage GAMS (General Algebraic Modeling System) à l'aide du logiciel GAMS (Base Module, version 24.8.3). Afin de gérer les éléments non linéaires liés au plafonnement de certaines aides et au temps de commercialisation, un solveur de Mixed Integer Non Linear Programming a été choisi (Solveur Bonmin).

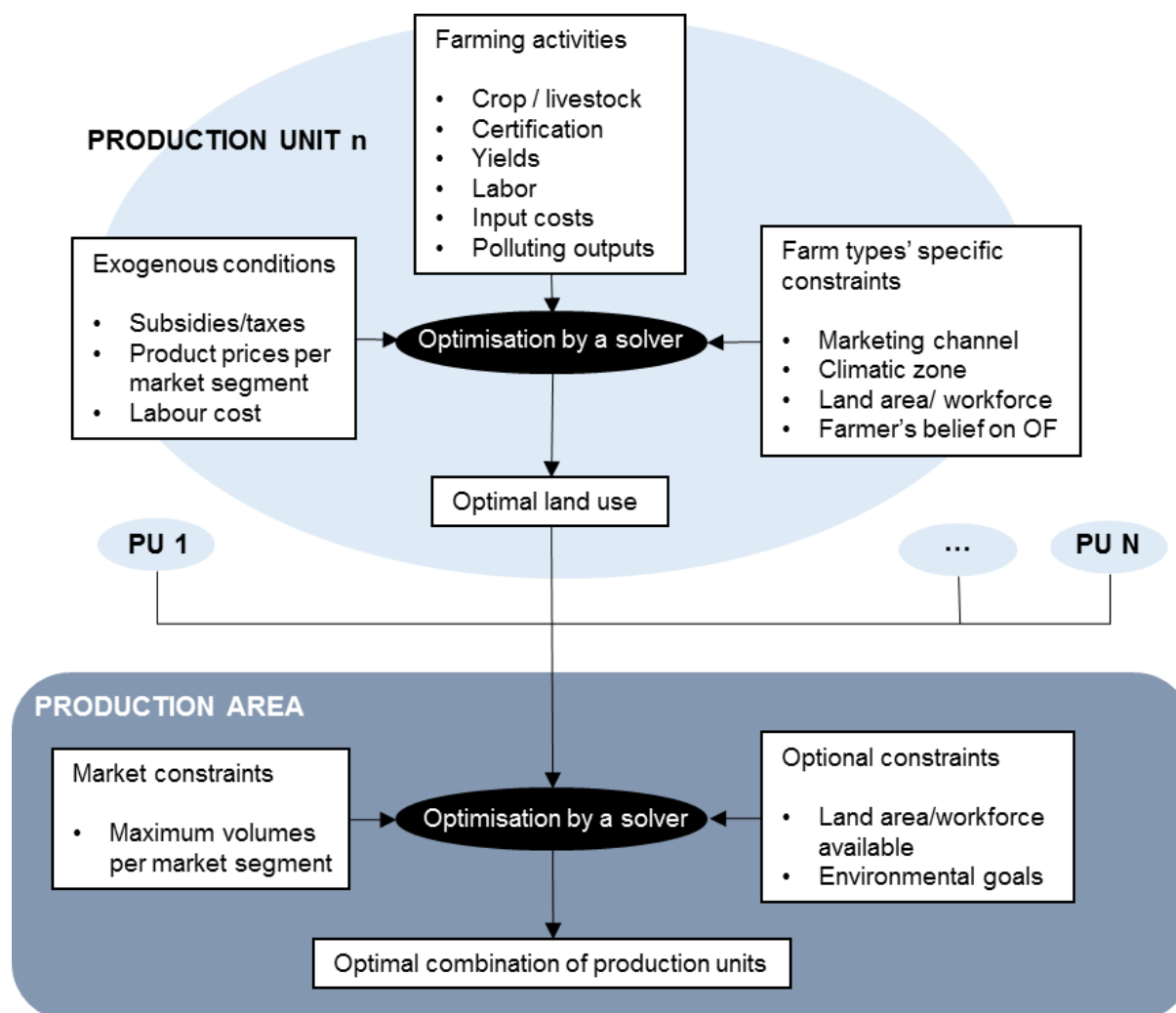


Figure 15: Two-level structure, inputs and outputs of the ENTICIP model. PU = Production Unit; OF = Organic Farming.

3. Application à la conversion à l'AB dans des systèmes productifs fruitiers

3.1. Le cas de l'ananas et du tanger à La Réunion

Le modèle est appliqué aux systèmes productifs ananas et tanger sur l'île de la Réunion (2512 km² ; 21° 06' 52" Sud, 55° 31' 57" Est). L'ananas est majoritairement cultivé avec la variété Victoria, très appréciée localement et à l'export pour son goût parfumé et sucré. Le tanger est une variété d'agrumes peu cultivée à l'échelle mondiale mais très appréciée localement pour son jus acidulé. Alors que 58% de la surface agricole utile (SAU) de l'île est cultivée en canne à sucre, ces deux cultures de diversification sont considérées comme stratégiques par les décideurs

publics locaux pour contribuer au développement économique et à l'autonomie alimentaire de l'île en produits frais (Cg974, 2014). Ces cultures peuvent être cultivées sur une grande partie de l'île, dans des climats très différents en raison notamment d'une gamme altitudinale de 0 à 1000m. On peut distinguer deux zones très différentes : dans la zone 1, située au-dessous de 400m d'altitude, le cycle de l'ananas dure en moyenne 12 mois. Il y a très peu de floraison naturelle et elle doit être induite chimiquement. Dans la zone 2, située au-dessus de 400m d'altitude, le cycle de l'ananas est plus long mais l'ananas fleurit naturellement en hiver grâce aux températures basses (Dorey et al., 2018). Les températures plus fraîches réduisent aussi la pression en bioagresseurs du tangor et déclenchent sa coloration, expliquant une meilleure qualité visuelle des fruits (Grisoni et al., 1993).

La production agricole du territoire est assurée par de nombreuses exploitations de petite taille, i.e. 7600 exploitations de 6 hectares en moyenne (Agreste, 2015). Les 915 exploitations spécialisées en cultures fruitières ont une surface moyenne en fruits de 2 hectares (Agreste, 2014). Elles commercialisent l'ananas et le tangor *via* cinq types potentiels de circuit de vente : les organisations formelles de producteurs, représentées par une dizaine de coopératives, ne traitent que 17% des volumes totaux. Elles peuvent être spécialisées (i) dans la transformation, où tous les fruits sont utilisés pour faire des jus ou de la pulpe de fruits, (ii) dans la vente sur le marché local avec transfert des tangors hors norme vers la transformation, ou (iii) dans l'exportation d'ananas de qualité premium, avec revente sur la marché local des fruits hors norme. (iv) La vente directe, principalement dans des marchés de plein vent, ne permet d'écouler que de petits volumes et demande beaucoup de temps de travail pour assurer au moins un marché par semaine toute l'année. (v) La vente à des grossistes qui commercialisent les produits en bord de route ou dans des magasins primeurs est majoritaire. Ce circuit ne permet pas de vendre de gros volumes car la plupart d'entre eux achètent des petits volumes à plusieurs producteurs différents. Mais il peut être sécurisant pour le producteur s'il est engagé dans une relation de fidélité avec un grossiste.

3.2. *Un dispositif d'aides diversifiées*

En tant que région ultra-périphérique de l'Union européenne, La Réunion bénéficie de fonds qui constituent le levier privilégié d'action des politiques agricoles locales *via* la mise en place d'un ensemble d'aides. Celles-ci répondent à cinq objectifs principaux dans les filières fruitières : (i) soutenir la compétitivité des produits locaux par rapport aux produits importés ; (ii) aider l'export

et la transformation pour créer de nouveaux débouchés et développer l'emploi ; (iii) encourager les pratiques agricoles compatibles avec la protection de l'environnement et du climat ; (iv) amplifier la dynamique de conversion à l'AB ; et (v) inciter les producteurs à se regrouper en coopératives afin d'assurer une meilleure structuration des filières qui permettrait de fournir un conseil technique performant, des équipements de stockage mutualisés, une offre compatible avec la restauration hors foyer, des campagnes de communication sur les produits locaux, et l'organisation de la traçabilité et de la transparence économique.

Le Programme d'Options Spécifiques à l'Eloignement et à l'Insularité (POSEI) repose sur un dispositif d'aides visant à atteindre ces cinq objectifs. Les producteurs adhérents d'une coopérative touchent des aides directes par tonne de fruit livrée quel que soit le type de débouchés (frais local, export, transformation), afin d'encourager la diversité des débouchés en lissant la variabilité des coûts de production (Table 15, scénario « business as usual »). Le montant de ces aides est plus élevé pour les produits concurrencés par l'import tels que les agrumes, afin de soutenir la compétitivité des produits locaux. Leur montant est également majoré pour les exploitations répondant à une certification française favorisant les pratiques respectueuses de l'environnement. Dans cet esprit, une majoration est aussi accordée aux productions AB.

Quel que soit leur circuit de vente, les agriculteurs peuvent s'engager dans des contrats européens appelés Mesures Agro-Environnementales et Climatiques (MAEC). Ils reçoivent des paiements directs à l'hectare s'ils s'engagent à mettre en place certaines pratiques plus respectueuses de l'environnement pour les cultures éligibles au contrat.

Les aides à la Conversion ou au Maintien de l'Agriculture Biologique (MAB) sont des contrats d'engagement volontaire proposés par le gouvernement français. Ces paiements directs à l'hectare en conversion ou certifié AB ne sont pas cumulables avec les aides POSEI. Les MAB s'adressent donc plutôt aux producteurs non adhérents à des coopératives. Leur montant est théoriquement calculé pour compenser les surcoûts liés à la gestion AB.

Bien que sa dynamique de croissance soit forte (augmentation des surfaces de 25% par an), l'AB représente actuellement moins de 2% de la SAU de l'île. Malgré les aides mises en place, l'ananas AB est extrêmement rare (17t sur 6500t) notamment à cause de difficultés techniques pour gérer la floraison et la fertilisation. Le tangor AB est également rare (34t sur 1300t) principalement à cause de défauts visuels freinant la commercialisation. Pourtant, le plan Ambition Bio 2022 conçu au niveau national fixe un objectif ambitieux de 15% des surfaces en AB d'ici 2022. Nous avons

utilisé ENTICIP pour tester l'impact de scénarios ayant cet objectif pour les systèmes productifs réunionnais d'ananas et de tangor.

3.3. *Description du système modélisé*

Le système modélisé est formé de l'ensemble des unités de production cultivant du tangor et/ou de l'ananas à La Réunion. Le bassin de production correspondant est segmenté en deux zones, situées respectivement sous et au-dessus de 400m et présentant des performances agronomiques différentes. La surface du bassin de production n'a pas été limitée dans les simulations, considérant que de nouvelles unités de production pouvaient apparaître par installation ou reconversion sur des terres agricoles existantes sans atteindre pour autant la limite maximale de l'île, sachant que les volumes absorbables par les différents segments de marché, correspondant au bassin de consommation de l'île plus l'export, représentent le facteur limitant majeur.

Description des activités

Quatre systèmes de cultures ont été décrits pour traiter la question de la croissance de l'AB sur l'île : ananas conventionnel, ananas AB, tangor conventionnel et le tangor AB (Table 12, Suppl. Mat. 4, annexe 3). Les activités tangor sont basées sur la production annuelle d'un verger en pleine production. En ananas le cycle de culture et le temps de retour dans la rotation peuvent être supérieurs à un an. La floraison peut survenir tout au long de l'année en conventionnel grâce à l'induction florale chimique et la majorité des producteurs répartissent les pics de travail en choisissant plusieurs dates de plantation décalées dans le temps (Dorey et al., 2018). Chaque activité ananas est déclinée en deux variantes selon la localisation de la parcelle. En zone 1, le cycle est de 12 mois. Il ne peut pas y avoir d'activité ananas AB car l'induction florale n'est pas autorisée en AB. En zone 2, le cycle est de 18 mois. La floraison naturelle à cette altitude permet la gestion en AB. La floraison naturelle n'ayant lieu que durant l'hiver austral, les dates de plantation en AB sont moins bien réparties sur l'année qu'en conventionnel et génèrent des pics de travail (Suppl. Mat. 5, annexe 3). Dans le modèle, les coefficients techniques considérés par hectare d'ananas moyennent la production, le travail et les coûts mensuels pour un an.

L'impact environnemental des activités est décrit avec sept indicateurs d'intensité des pratiques à risque pour l'environnement et des pratiques alternatives (Table 12). Les pratiques à risques

considérées sont l'utilisation de pesticides de synthèse, d'engrais de synthèse, de travail du sol profond et de paillage avec des plastiques non biodégradables. Les pratiques alternatives suivies sont l'utilisation de pesticides homologués AB et de fertilisants organiques.

La description des itinéraires techniques et la quantification des coefficients techniques par activité est issue de sources de natures différentes : des données d'enquêtes, des dires d'experts recueillis par entretien individuel ou lors d'ateliers collectifs, des résultats d'essais, des documents techniques et des articles scientifiques (Suppl. Mat. 6, annexe 3). Les variations de rendements et de prix au cours de l'année ou interannuelles n'ont pas été prises en compte par manque de données.

Table 12 : Coefficients techniques principaux des activités modélisées

Cropping system	Conventional pineapple		OF pineapple	Conventional tangor		OF tangor	
Zone	<400m	>400m	>400m	<400m	>400m	<400m	>400m
Yields (t/year/ha)	27.4	18.3	10.1	15	15	8.25	8.25
Premium quality (%)	90	80	80	70	100	50	100
Workload (h/year/ha)	1036	703	402	299	299	269	269
Inputs cost (€/year/ha)	5802	3893	2383	2446	2446	2831	2831
Synthetic protection treatments (nbr/year/ha)	1.67	1.11	0	8	8	0	0
Organic protection treatments (nbr/year/ha)	1.67	1.11	1.29	4	4	9	9
Synthetic herbicides (nbr/year/ha)	3.33	2.78	0	1	1	0	0
Synthetic nitrogen units (NU/year/ha)	253	168	0	100	100	0	0
Organic nitrogen units (NU/year/ha)	0	0	86	80	80	164	164
Area covered with plastic mulch (ha)	0.42	0.42	0.32	0	0	0	0
Area with intensive tillage (ha)	1	1	0	0	0	0	0

Description des unités de production

Des travaux précédents ont permis de caractériser la diversité des exploitations fruitières à La Réunion (Dorey et al., 2018; Dupré et al., 2017). Le choix du circuit de vente, la sensibilité environnementale du producteur ainsi que les contraintes de surface, de travail et de climat ont

été choisis pour distinguer différents types d'UPs dans le modèle. Ces critères sont en lien avec les choix techniques et les performances économiques des exploitations (Fairweather, 1999). Neuf combinaisons de ces critères, représentés sous forme de contraintes dans le modèle, ont été observés parmi les exploitations fruitières réunionnaises, chacune pouvant se situer en zone 1 et en zone 2 (Table 13).

Les UPs « alternatives » correspondent à des producteurs innovants cultivant toute leur surface en AB. Etant souvent des doubles actifs ou des retraités, ils disposent de peu de main d'œuvre et ne cultivent que de petites surfaces. Ils commercialisent exclusivement en vente directe pour valoriser leur certification AB. Pour les autres unités, l'AB est seulement une option, envisageable si elle devenait économiquement intéressante. Les UPs « traditionnelles » ne disposent que d'une très petite surface et se sont orientées vers la vente directe car leurs producteurs doivent en vivre et disposent du temps nécessaire. Les unités « standards » représentent la majorité des cas des exploitations fruitières. Elles sont limitées par leur main d'œuvre car leur surface, correspondant à la moyenne régionale, ne permet pas de maintenir plusieurs employés permanents. De plus il est difficile de trouver des employés agricoles bien formés sur l'île. Cette contrainte de main d'œuvre les amène à vendre aux grossistes et coopératives plutôt qu'en vente directe. Les grandes UPs disposent de grandes surfaces et d'une main d'œuvre permanente conséquente mais elles doivent assurer une bonne répartition du travail toute l'année pour occuper cette main-d'œuvre. Elles sont contraintes de commercialiser en coopérative pour écouler leurs volumes importants.

Table 13 : Caractérisation des types d'unités de production représentés dans le modèle

UP code ¹	Resources type	Land area (ha)	Workforce (h/month)	OF label	Marketing channel
DA ₁ / DA ₂	Alternative	1	Max : 100	Yes	Direct selling
DT ₁ / DT ₂	Traditional	1	Max : 125	No	Direct selling
RS ₁ / RS ₂					Retailers
CS ₁ / CS ₂	Standard	2	Max : 200	Optional	Cooperative (local market)
PS ₁ / PS ₂					Processing
ES ₁ / ES ₂					Export
CL ₁ / CL ₂	Large	4	Min : 85	Optional	Cooperative (local market)
PL ₁ / PL ₂					Processing
EL ₁ / EL ₂					Export

¹ ₁ : localisation en zone 1 ₂ : localisation en zone 2

Validation du modèle sur la situation initiale

La structure et le fonctionnement du modèle sont validés en comparant la situation actuelle des deux productions sur l'île avec une simulation avec le modèle du même contexte d'aides (Table 15) et de marchés (Table 14, Suppl. Mat. 7, annexe 3). Les estimations de prix et de volumes commercialisés sont issues d'enquêtes de l'équipe de recherche et de données officielles. Le pourcentage de déviation absolue (PAD) a été utilisé pour vérifier la correspondance entre les résultats simulés et les estimations de la réalité (Janssen and Van Ittersum, 2007; Kanellopoulos et al., 2010). Le PAD est calculé en comparant les volumes vendus simulés et estimés sur chaque segment (Eq. 3). Avec un PAD inférieur à 20% pour tous les segments de marché (Table 14), le modèle est estimé satisfaisant (Chopin et al., 2015; Ridier et al., 2013)

$$(Eq. 3) \quad PAD(MARKET) = \frac{100 * (VOL_OBS(MARKET) - \sum_u (N_u * VOL_u(MARKET)))}{VOL_OBS(MARKET)}$$

$VOL_OBS(MARKET)$: volume vendu estimé par segment de marché

N_u : nombre d'unités de production de chaque type d'UP u

$VOL_u(MARKET)$: volume vendu par l'unité de production de type u dans le segment de marché $MARKET$ après simulation

Table 14 : Validation du modèle avec le pourcentage de déviation absolue (PAD) entre la production simulée et les estimations de volumes par segment de marché

Market			Estimated volume (t)	Simulated volume (t)	PAD (%)
Tangor	Direct selling	Conventional	100	94	5.8
		Organic	34	30	12.6
	Retailers		900	879	2.3
	Cooperative (local market)		118	99	16.5
	Processing		150	133	11.2
Pineapple	Direct selling	Conventional	325	321	1.2
		Organic	17	14	18
	Retailers		2925	2890	1.2
	Cooperative (local market)		550	547	0.5
	Processing		600	559	6.8
	Export		2100	2082	0.9

3.4. Construction de scénarios de transition vers l'agriculture biologique

Les scénarios ont été conçus par l'équipe de recherche pour identifier les conditions sous lesquelles le marché de l'AB pourrait devenir un marché de masse, i.e. acheté par de nombreux consommateurs dans la majorité des circuits de vente. Il s'agit d'identifier les politiques d'aides

qui inciteraient les producteurs à se convertir à la production d'ananas et de tangor AB malgré des prix de vente peu supérieurs aux produits conventionnels. L'horizon de temps des scénarios est 7 ans, période minimum nécessaire à l'entrée en pleine production de nouvelles plantations de tangor.

Dans tous les scénarios les hypothèses de marché sont un développement des débouchés export et transformation avec maintien des prix actuels, et un développement du marché AB (Suppl. Mat. 4, annexe 3). L'hypothèse est faite que 50% des consommateurs sont prêts à acheter des fruits AB, quel que soit le circuit de vente, si le prix ne dépasse pas un surcoût respectivement de 25% et 15% par rapport au conventionnel pour les fruits premium et avec défaut (Graciot et al., 2015).

Nous avons réalisé une analyse de sensibilité de la conversion à l'AB des UPs à une augmentation des aides à l'AB (montant à l'hectare des aides MAB). C'est-à-dire que nous avons réalisé plusieurs simulations avec une augmentation progressive des aides MAB. L'analyse de sensibilité a permis de décrire quantitativement trois scénarios.

Le scénario « Business as Usual » (BaU) conserve le dispositif d'aide actuel, les aides MAB ne sont pas augmentées (Table 15).

Le scénario « Price Support » (PS) diffère du scénario BaU par une augmentation des aides MAB pour atteindre 15% des surfaces en AB dans le bassin de production (objectif visé par le Ministère de l'Agriculture français).

Le scénario « Price Support Plus » (PS+) correspond à une augmentation des aides MAB permettant de déclencher la production d'ananas et de tangor AB pour l'ensemble des segments de marché.

Table 15 : Nature des aides prises en compte dans chaque scénario

Scenario/aids	POSEI (€/t)	MAEC (€/ha)	MAB (€/ha)
Business as Usual (BaU)	Pineapple: 240 Tangor: 480 Export: 125 OF: 500	Chemical fly traps: 442 Grass cover 75%: 500 Grass cover 100%: 700	900 ¹
Price Support (PS)	Idem BaU	Idem BaU	3600 ¹
Price Support Plus (PS+)	Idem BaU	Idem BaU	11700 ¹

¹Non cumulable POSEI AB

3.5. Résultats de simulation

Analyse de sensibilité des exploitations aux aides à l'agriculture biologique

Le montant actuel des aides pour soutenir l'AB (900 €/ha) n'est pas suffisamment incitatif pour déclencher des conversions, qui n'apparaissent qu'à partir d'un montant de 3600 €/ha (Figure 16). Ce montant de 3600 €/ha permet d'atteindre le seuil de 15% des surfaces en AB à l'échelle de l'Ile. Il a donc été retenu comme valeur de l'aide dans le scénario PS (Table 15). Ce montant est particulièrement incitatif pour les UP RS₂ situées au-dessus de 400m d'altitude et commercialisant avec des grossistes, qui convertissent alors toute leur surface en AB en remplaçant le tangor conventionnel par de l'ananas AB, plus attractif économiquement que le tangor AB (Suppl. Mat. 8, annexe 3).

Les autres UP sont moins réactives à l'augmentation des aides MAB pour diverses raisons. Certaines, comme les UP RS₁, ne peuvent pas faire d'ananas AB pour des raisons agronomiques car elles sont localisées en-dessous de 400m d'altitude. Elles ne se convertissent à l'AB (en tangor) qu'à partir d'une MAB égale à 6300 €/ha. La demande en travail très irrégulière sur l'année en ananas AB rend difficile le maintien de leurs employés permanents par les grandes UP. Elles ne se convertissent à cette culture qu'avec des MAB élevées : 9900 €/ha pour PS₂ (taille standard), 11700 €/ha pour son équivalent de grande taille PL₂.

Les UP en coopératives bénéficient d'aides pour les productions en conventionnel (POSEI), accentuant l'attractivité économique du conventionnel par rapport à l'AB. Ceci explique que les UP en coopérative se convertissent à l'AB seulement pour des montants élevés des aides MAB. Les UP en coopérative les plus sensibles à l'augmentation des aides MAB, les UP ES₂, se convertissent pour une valeur de 6300 €/ha.

A partir de 9900 €/ha de MAB, de l'ananas AB est produit et commercialisé dans tous les circuits de vente, et à partir de 11700 €/ha c'est également le cas pour le tangor AB. Cette valeur seuil a donc été retenue pour le scénario PS+ (Figure 16). Dans ce scénario PS+ l'ananas AB et le tangor AB se développent conjointement, alors que dans le scénario PS la MAB plus faible conduit à un développement du seul ananas AB (Figure 17).

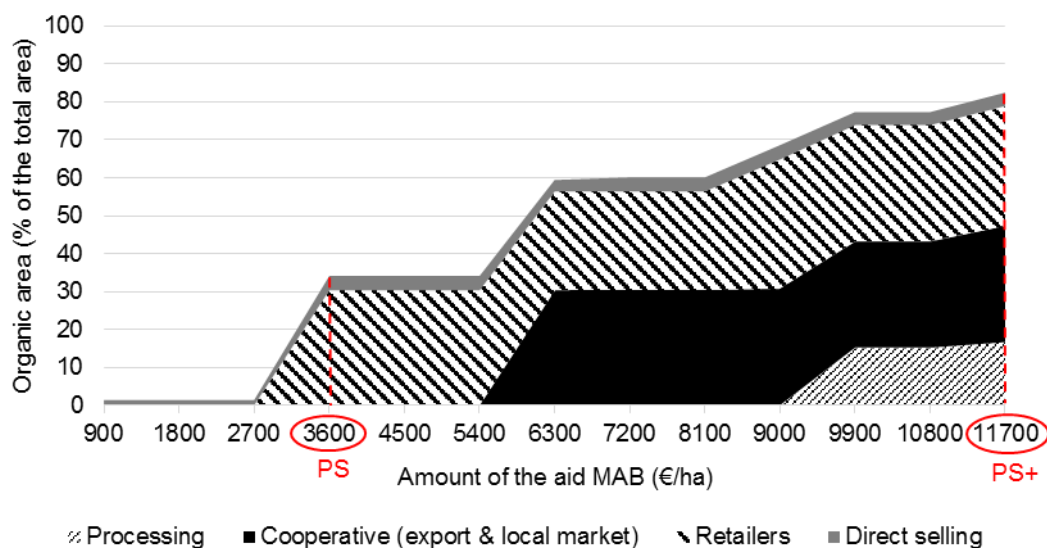


Figure 16 : Variation de la surface en AB dans le bassin de production selon différentes valeurs des aides MAB. En rouge sont signalées les valeurs choisies pour les scénarios PS et PS+.

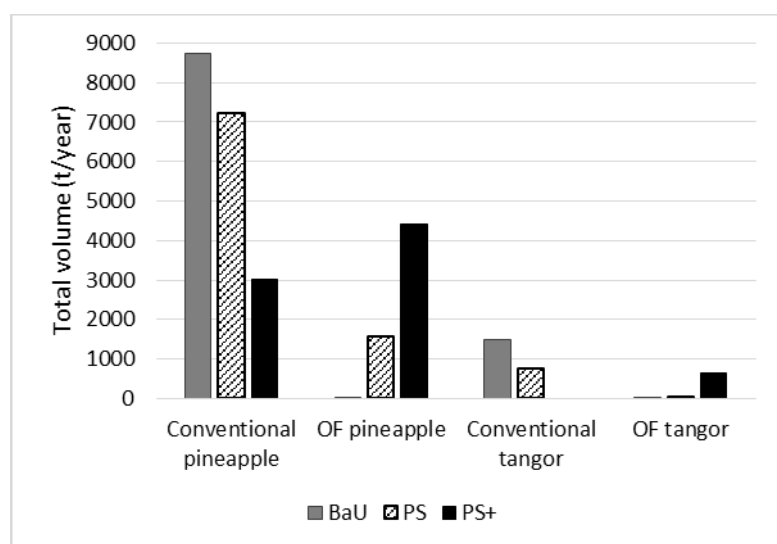


Figure 17 : Volumes produits à l'échelle du bassin de production selon les différents scénarios

Une vision des marchés à l'échelle du système productif

Le calcul des volumes totaux produits pour chaque activité et scénario montre que si le scénario PS permet bien de dépasser l'objectif de 15% des surfaces en AB fixé par le gouvernement français (Figure 16), seule la demande des segments de marché en vente directe (ananas et

tangor) et *via* les grossistes (ananas) est satisfaite (Table 16). Les collectivités se fournissant auprès des coopératives, les transformateurs et les acheteurs à l'export ne disposent pas d'une offre suffisante en tangor ou ananas AB, car les producteurs commercialisant dans ces circuits de vente n'ont pas changé de pratiques sous l'influence du dispositif d'aide.

Dans le scénario PS+, la demande en AB est satisfaite dans tous les segments de marchés à l'exception de la demande en tangor AB des transformateurs et des coopératives. La mise en place d'une aide à l'AB identique quels que soient la culture et le circuit de vente maintient les différences d'attractivité économique qui existaient entre ces cultures et ces circuits de vente en conventionnel. Dans ce contexte, le tangor AB et ses débouchés en coopérative et pour la transformation représentent une option moins attractive pour les producteurs. Cette substitution entre productions à dispositif d'aide similaire est illustrée dans le scénario PS+ où la production de tangor, AB et conventionnel confondus, n'est plus suffisante pour satisfaire la demande car les producteurs de la zone d'altitude supérieure à 400m, qui étaient spécialisés en tangor, se sont réorientés vers la production d'ananas AB plus rémunératrice.

Table 16 : Couverture de la demande par la production totale du bassin de production selon les différents segments de marchés et les scénarios. Les barres orangées représentent le pourcentage de demande couverte.

	Direct selling	Retailers	Cooperative (local market)	Processing	Export
PINEAPPLE					
Organic					
BaU	 25%	0%	0%	0%	0%
PS	 75%	 99%	0%	0%	0%
PS+	 100%	 99%	 99%	 99%	 97%
Total (OF + conventional)					
BaU	 95%	 99%	 87%	 98%	 100%
PS	 87%	 99%	 87%	 100%	 100%
PS+	 100%	 50%	 98%	 98%	 99%
TANGOR					
Organic					
BaU	 32%	0%	0%	0%	
PS	 97%	0%	0%	0%	
PS+	 100%	 99%	 56%	 52%	
Total (OF + conventional)					
BaU	 95%	 98%	 94%	 97%	
PS	 96%	 16%	 94%	 99%	
PS+	 50%	 50%	 28%	 26%	

Compromis entre performances, coût et faisabilité des dispositifs d'aides

ENTICIP fournit aux décideurs un ensemble d'indicateurs environnementaux, économiques et sociaux calculés à l'échelle du bassin de production, leur permettant de mieux évaluer les effets à attendre d'un dispositif d'aide donné et d'identifier les compromis à trouver entre performances, coûts et faisabilité de mise en place et de gestion du dispositif. Ainsi la majorité des performances environnementales des deux systèmes productifs sont améliorées en augmentant les surfaces en AB, à l'exception de certaines pratiques à risque environnemental autorisées en AB (Table 17). Le scénario PS permet une amélioration de 6 à 32% de tous les indicateurs, à l'exception du risque érosif lié au paillage plastique sur les parcelles, autorisé en AB. Le scénario PS+ permet une amélioration encore plus marquée allant de 30 à 81%.

Chaque scénario s'accompagne de changements dans la structuration des deux systèmes productifs et d'impacts financiers liés au dispositif d'aide (Table 18). La seule augmentation de la demande en ananas (conventionnel ou AB) pour l'export et la transformation entre la situation actuelle et le scénario BaU entraîne une augmentation de la surface du bassin de production de 106 hectares et le développement de 24 nouvelles exploitations. Le montant des aides versées augmente mécaniquement du fait des aides aux volumes conventionnel ou AB vendus en coopérative (POSEI).

Le scénario PS+ présente les meilleures performances économiques et environnementales mais est également le plus coûteux avec un budget supplémentaire de subventions de 5 300 000€ par rapport à la situation actuelle. Sur ce point, le scénario PS peut sembler plus acceptable pour les décideurs car il ne nécessite qu'une augmentation de 550 000 €, inférieure à l'augmentation de la marge brute de l'ensemble des deux systèmes productifs. De même, le scénario PS+ peut sembler moins réalisable sur un temps court que le scénario PS car il implique de doubler le nombre d'exploitations et de cultiver 200 ha supplémentaires alors que le scénario PS requiert seulement 50 ha supplémentaires et 29 nouvelles exploitations.

Par ailleurs le scénario PS+ apparaît moins performant que le scénario PS en termes de création d'emplois agricoles permanents. En effet, les surfaces en ananas conventionnel y sont majoritairement converties, et la demande en travail en AB est moins bien répartie sur l'année faute de déclenchement chimique de la floraison. Ce développement de l'ananas AB est donc

conditionné par la disponibilité de main d'œuvre saisonnière, de plus en plus difficile à trouver à La Réunion.

Table 17 : Comparaison des indicateurs environnementaux par rapport aux valeurs des indicateurs pour le scénario BaU (Business as Usual) (%)

Comparison with BaU scenario	PS	PS +
OF area	+ 32	+ 81
Protection treatments (all)	-33	-52
Organic protection treatments	+ 10	+ 41
Chemical weeding	-29	-79
Nitrogen units	-19	-47
Organic nitrogen units	+ 11	+ 57
Plastic mulch	+ 2	-2
Intensive tillage	-6	-30

Table 18 : Comparaison d'indicateurs à l'échelle du système productif entre la situation initiale au moment de l'étude (Reference) et les scénarios BaU (Business as Usual), PS (Price Support) et PS+ (Price Support Plus)

	Reference	BaU	PS	PS +
Performances				
OF area (%)	2	1	34	83
Total gross margin (k€/year)	5 104	6 940	7 562	12 012
Costs				
Total subsidies (k€/year)	693	1 322	1 870	6 621
Mean subsidies per hectare (€/year/ha)	2 172	3 111	3 937	10 577
Structural changes				
Total area (ha)	319	425	475	626
Number of farms	144	168	197	327
Number of permanent workers	83	101	129	97
Maximal number of occasional workers	110	158	152	200

4. Discussion

4.1. Quelles aides pour développer massivement l'AB ?

Les pouvoirs publics dans de nombreux pays mettent en place des plans d'action pour le développement de l'AB (Macrae et al., 2009; Stolze and Lampkin, 2009). Evaluer *ex-ante* les

effets de ces plans pour mieux les concevoir représente un réel enjeu, comme le montre la diversité des conséquences observées dans notre étude. Il apparaît tout d'abord que les aides actuelles pratiquées à La Réunion ne sont pas suffisamment incitatives pour déclencher des conversions en AB à grande échelle, même si la demande se développait massivement dans tous les segments de marché grâce à un différentiel de prix limité entre produits AB et conventionnel. Atteindre les 15% de surfaces en AB fixés comme objectif par le gouvernement français nécessiterait de multiplier par quatre le montant des aides actuelles pour l'AB dans le contexte réunionnais. Pour autant les segments de marché en croissance (export et transformation), alimentés par des grandes exploitations en coopérative, ne seraient pas couverts en produit AB. Couvrir l'ensemble de la demande nécessiterait de multiplier l'enveloppe totale des subventions par cinq par rapport à la situation actuelle, un objectif paraissant inenvisageable dans le contexte économique actuel.

Selon les cas des effets secondaires apparaissent, tels que la substitution du tangor par l'ananas, plus rentable, ou la nécessité de trouver plus de main d'œuvre saisonnière dans un contexte qui en manque. Ces résultats invitent donc à réfléchir à d'autres formes d'aides, plus ciblées par types d'exploitation et de culture. Sipiläinen and Huhtala (2013) ont montré en Finlande que certaines exploitations étaient plus à même d'augmenter leur biodiversité cultivée, et que des aides ciblées sur ces exploitations permettraient de financer à moindre coûts ce service écosystémique. De même certaines cultures pourraient être priorisées pour la conversion à l'AB, par exemple celles où les pratiques sont les plus polluantes ou celles bénéficiant d'un marché AB déjà bien structuré. Le montant de l'aide à l'AB pourrait alors être décliné par culture, en fonction de ces priorités ou du manque à gagner spécifique entre l'AB et le conventionnel (Kerselaers et al., 2007). Ce manque à gagner dépend également du circuit de vente avec lequel fonctionne l'exploitation : plus les prix de vente sont élevés plus une éventuelle baisse de rendement liée à la conversion à l'AB impactera le revenu de l'agriculteur. Encourager l'AB dans des circuits à forte valeur ajoutée comme l'export peut ainsi demander des actions spécifiques à ce circuit de vente.

Cette adaptation des aides aux différents contextes culturels doit également prendre en compte le fait que dans certains circuits de vente l'agriculture conventionnelle est actuellement plus aidée que l'AB (Sfé², 2018). Dans notre exemple un producteur en coopérative touche ainsi 8142€ d'aides pour la production annuelle d'un hectare de tangor conventionnel contre 5267€ pour du tangor AB avec les rendements considérés dans l'étude. L'accompagnement de la transition vers l'AB pourrait donc nécessiter de reconsidérer les aides accordées aujourd'hui à l'agriculture conventionnelle (Mili et al., 2017).

Nos résultats rappellent également que les aides ne sont pas l'unique levier pour encourager le changement de pratiques agricoles, celui-ci étant contraint dans certaines exploitations par des facteurs plus techniques ou organisationnels que financiers (Ridier et al., 2013). Dans un même contexte d'aides, il a été montré que les exploitations impliquées dans des réseaux d'échange technique sont plus susceptibles d'adopter des pratiques alternatives (Nave et al., 2013). Ainsi, le dispositif d'aide gagnerait à être adossé à des actions d'accompagnement technique, permettant à l'échelle de l'exploitation de choisir les cultures AB adaptées à l'agroécosystème et d'améliorer l'organisation du travail.

4.2. *Atouts et limites d'ENTICIP*

ENTICIP est d'abord conçu pour aider des décideurs publics à concevoir des dispositifs d'aides agricoles en tenant compte, d'une part, de la diversité des exploitations agricoles et des productions, d'autre part, des marchés existants ou à venir. A l'instar de travaux similaires (Pacini et al., 2004b; Ridier et al., 2013) l'exemple développé dans cet article, visait à identifier des seuils d'efficacité d'un dispositif d'aide en faisant varier les montants appliqués. ENTICIP peut également être mobilisé pour évaluer des instruments de taxation, par exemple en fixant une taxe qui augmente le prix des fertilisants de synthèse dans les paramètres d'entrée du modèle (Semaan et al., 2007).

Contrairement aux travaux évaluant l'effet des politiques uniquement à l'échelle de l'exploitation (Falconer and Hodge, 2001) ou uniquement à l'échelle régionale sans donner d'informations sur les transformations au sein des exploitations (Acosta-Alba et al., 2012), ENTICIP combine les deux échelles. Cet effort de modélisation a été fait également dans quelques autres travaux ; sur l'effet d'une libéralisation du commerce pour l'Union Européenne (Van Ittersum et al., 2008), sur l'effet du développement économique pour la petite paysannerie au Kenya (Herrero et al. (2014) ou encore sur l'adoption de technologies soutenues par des politiques agricoles au Mali (Kruseman and Bade, 1998). L'avantage est de proposer à la fois une vision d'ensemble de l'évolution d'un système productif et une analyse de l'évolution de chaque type d'exploitation. Norton and Hazell (1986) ont insisté sur l'importance théorique de combiner les échelles « micro » et « macro » pour pouvoir évaluer une politique à une échelle « macro » tout en s'assurant de son adoption par les agriculteurs en prenant en compte leur comportement à l'échelle « micro ».

Dans notre cas, l'échelle du bassin de production permet de fixer des contraintes de volumes maximum par segments de marché pour traduire le fait que la demande du bassin de

consommation est à la fois limitée et diversifiée. Le bassin de production est représenté par un ensemble d'UP qui peuvent évoluer à long terme en apparaissant, disparaissant, changeant de taille ou de circuits de vente, pour tirer profit à la fois des dispositifs d'aide en place et des opportunités de marché. Cette représentation présente des limites : (i) il est difficile d'imaginer des cas n'existant pas dans la situation initiale mais pouvant apparaître dans un autre contexte ; (ii) la dynamique de transformation progressive des exploitations (Sutherland et al., 2012) n'est pas prise en compte. De plus, notre cas d'étude est relativement simple car il n'y a pas d'import pour les cultures étudiées, mais cette représentation est plus complexe dans le cas des bassins de consommation ouverts sur le marché mondial qui importent massivement. L'estimation des volumes importés par segment de marché peut alors être un élément des scénarios ou être issue d'un processus de modélisation couplé (Van Ittersum et al., 2008).

Contrairement aux modèles régionaux qui considèrent l'ensemble des cultures majeures sur le territoire modélisé (Norton and Hazell, 1986), ENTICIP peut ne représenter qu'une partie des systèmes productifs d'un territoire. Cela peut simplifier grandement le travail de constitution de la base de données, qui peut rapidement prendre des proportions importantes avec la multiplication des activités (Chopin et al., 2015). Une telle réduction des activités nécessite néanmoins d'être clairement explicitée par rapport à l'objectif visé et à la problématique étudiée, afin que l'ensemble des activités, y compris non agricoles, susceptibles d'impacter les résultats de l'étude soient bien prises en compte.

Cette simplification a par ailleurs l'avantage de permettre une prise en compte plus détaillée de l'influence du circuit de vente dans les choix des producteurs. Ces circuits constituent en effet le lien opérationnel entre les maillons 'production' et 'consommation' de la chaîne de valeur. A notre connaissance aucun modèle d'optimisation régionale ne prend en compte explicitement la diversité des circuits de vente intra-filière, en dehors de la distinction entre les produits destinés à l'export et ceux destinés au marché local dans les pays en développement (Herrero et al., 2014). Cette particularité fait d'ENTICIP un modèle pertinent pour les systèmes productifs où coexistent une diversité de circuits courts et longs, phénomène de plus en plus courant dans les pays développés avec la mise en place de circuits de proximité entre producteurs et consommateurs (Dumont et al., 2016). ENTICIP peut aider les décideurs à réfléchir à l'intégration de ces nouveaux circuits dans les politiques qu'ils mettent en place.

ENTICIP est actuellement codé sous le langage GAMS sans interface conviviale pour les utilisateurs. Une maîtrise de ce langage de modélisation reste donc indispensable pour la simulation de nouveaux scénarios. Une perspective intéressante serait de doter ENTICIP d'une

interface graphique pour pouvoir être manipulé par un plus grand nombre d'acteurs. La flexibilité d'ENTICIP peut aussi améliorée en rendant possible l'augmentation de la liste d'activités, de type d'UP et de segments de marchés sans modification du code. Cette flexibilité favoriserait sa réutilisation pour d'autres cas d'études (Van Ittersum et al., 2008).

4.3. *Vers une utilisation participative d'ENTICIP*

ENTICIP a été conçu pour être utilisé de manière participative avec des décideurs locaux. Contrairement à des modèles très complets permettant d'évaluer des politiques à large échelle (Van Ittersum et al., 2008), une structure simple a été privilégiée afin que les participants puissent comprendre le fonctionnement du modèle et ses possibilités (Jakeman et al., 2006; Voinov and Bousquet, 2010). Cette transparence a ses limites s'agissant de modèles d'optimisation dont la structure n'est pas intuitive (Sempore et al., 2015). Néanmoins il est possible de les rendre plus intelligibles, grâce à des interfaces conviviales pour que le modèle soit manipulable par des techniciens agricoles (Bernet et al., 2001), ou grâce à des collaborations de long terme entre les utilisateurs et les chercheurs qui manipulent le modèle (Chantre et al., 2016).

L'objectif visé dans la combinaison de la modélisation avec des démarches participatives. est de disposer d'une description quantitative des interactions au sein d'un système qui soit acceptée par l'ensemble des acteurs concernés, permettant alors de disposer d'un outil commun de réflexion (Leenhardt et al., 2012). Ce processus a été testé dans le cadre de cette étude, en utilisant ENTICIP avec l' élu délégué à l'Agriculture du Conseil Départemental de La Réunion et deux techniciens de son équipe. Cette institution est en charge de concevoir et gérer le dispositif d'aides proposé à l'Union Européenne pour toutes les filières agricoles de La Réunion.

Les acteurs ont été rencontrés en amont de la construction du modèle pour valider leur intérêt pour le projet (Reed, 2008; Voinov and Bousquet, 2010). Cet intérêt était d'autant plus manifeste qu'ils ne disposent pas à ce jour d'outil d'aide à la réflexion prospective. Une première interaction a été conduite à partir d'une première version fonctionnelle d'ENTICIP, sur la base des scénarios de transition vers l'AB développés dans cet article. Plusieurs rencontres consécutives ont permis aux acteurs (i) de bien comprendre le fonctionnement du modèle, (ii) de proposer des améliorations, (iii) d'identifier leurs propres problématiques pour lesquelles ils souhaitent mobiliser ENTICIP et (iv) de co-construire ces nouveaux scénarios.

La solution intermédiaire choisie entre l'utilisation de modèles préexistants, parfois mal acceptée par les acteurs (Hossard et al., 2013) et une co-construction plus étroite du modèle mais

demandant du temps (Delmotte et al., 2016b) a permis aux acteurs, en seulement trois séances de travail, de s'approprier le modèle en modifiant ses sorties et de l'utiliser pour explorer leurs propres problématiques. Sur la base des premiers scénarios simulés, nos interlocuteurs souhaitaient utiliser ENTICIP comme un outil de partage de connaissances avec l'ensemble des acteurs concernés par le problème, afin d'en améliorer la compréhension et mieux cibler leur dispositif d'intervention. Cet objectif rejoint les situations où les modèles sont utilisés comme support d'échanges participatifs de connaissances à l'échelle des exploitations (Le Gal et al., 2011; Rossing et al., 1997; Vayssières et al., 2011), de bassins versants ou de périmètres irrigués (Gisclard et al., 2015; Leenhardt et al., 2012; Soste et al., 2015), ou plus rarement de filières (Le Gal et al., 2008).

5. Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté comment ENTICIP répond au challenge de prendre en compte les dynamiques de marché dans l'évaluation *ex-ante* de politique d'aides. Basé sur un calcul d'optimisation à deux niveaux, ENTICIP prend en compte la diversité des exploitations *via* une typologie de leurs ressources et contraintes, et il représente aussi leur relation de concurrence à l'échelle du système productif. En modélisant les liens entre bassin de production et bassin de consommation, ENTICIP fait apparaître le rôle des intermédiaires commerciaux. Les décideurs peuvent utiliser le modèle en décrivant des scénarios définis par un dispositif d'aides et un contexte de marché. Les simulations d'ENTICIP permettent alors d'estimer les changements d'assolement et de pratiques des agriculteurs, ainsi que divers indicateurs socio-économiques et environnementaux aux échelles des exploitations et des systèmes productifs. ENTICIP fournit notamment une vision de la couverture de la demande pour les différents segments de marché des systèmes productifs. ENTICIP a été testé sur un premier cas d'étude dans l'optique de valider sa pertinence pour une utilisation participative avec les acteurs locaux. La structure simple du modèle a pu être clairement explicitée aux acteurs. Nous avons analysé des scénarios sur les conditions d'aides permettant de développer la production AB en ananas et en Tangor sur l'île de La Réunion (France). Nos résultats ont montré que le dispositif d'aides actuel n'était pas adapté pour développer une production massive en AB qui serait vendue à des prix peu supérieurs au conventionnel. L'effet des aides s'est avéré très variable selon la production considérée et les circuits de vente. Nous concluons donc qu'ENTICIP a le potentiel d'être utilisé de manière participative avec les décideurs locaux, pour concevoir des aides prenant mieux en compte la complexité des systèmes productifs.

Remerciements

Nous remercions les producteurs et les experts qui ont permis de construire la base de données et la structure du modèle. Nous remercions également les membres du Conseil Départemental pour les riches interactions que nous avons eues autour de la construction et l'évaluation de scénarios. Ce travail a été soutenu par le centre de Coopération Internationale de Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) et le Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural (FEADER).

Chapitre V. Discussion générale

1. La réalité de la transition agroécologique pour les agriculteurs

1.1. La majorité des changements ne relève pas du « Redesign »

Le stade de « Redesign » du cadre « Efficiency-Substitution-Redesign » est considéré par les chercheurs comme le mode de changement souhaitable pour la transformation des pratiques agricoles vers la durabilité : *“Finally, the redesign stage is achieved when the causes of problems are recognized, and therefore prevented, being solved internally by site and time-specific design and management approaches instead of by the application of external inputs.”* (Hill and Macrae, 1995). Le stade de « Substitution » ne permet pas la résolution de l'ensemble des problèmes de durabilité des modèles agricoles actuels, qu'ils soient environnementaux, sociaux ou économiques. *“Although these changes may suggest a more environmentally benign direction, they leave in place the key forces that are driving the agricultural crisis: extensive monoculture, excessive use of machinery, input control by agribusiness, dependence on fossil fuels, and very high capital requirements.”* (Rosset and Altieri, 1997a). Du point de vue agronomique, les intrants de substitution ne contribuent pas à améliorer la résilience des systèmes, par exemple face à des invasions de bioagresseurs. Pour certains chercheurs, l'évolution des systèmes peut se bloquer dans des états non durables si les changements mis en place ne relèvent que de l'« Efficiency » ou de la « Substitution » (Duru et al., 2015b; Rundgren, 2016).

Comme dans des travaux sur les transitions en grandes cultures (Chantre and Cardona, 2014; Lamine, 2011), nous avons relevé quelques cas dans notre étude où les agriculteurs ont changé radicalement leurs pratiques, selon une logique de « Redesign ». Nous avons mis en évidence que ces cas étaient liés à des conditions spécifiques : la commercialisation dans un marché de niche, la sécurisation avec un revenu para-agricole ou la compensation au sein de l'exploitation avec des systèmes plus intensifs en intrants extérieurs. La question est de savoir si le « Redesign » des systèmes est un objectif réaliste hors de ces cas limités. En effet, la majorité des trajectoires étudiées est beaucoup plus progressive, les changements se limitant à des stades d'« Efficiency » et de « Substitution » (Chantre et al., 2015). Certaines des trajectoires observées montrent même des « retours en arrière » lorsque les changements sont trop rapides et mal maîtrisés (Heinze and Vogel, 2014; Lamine, 2011).

Chez les agriculteurs enquêtés, plusieurs raisons expliquent la rareté des changements de type « Redesign ». Les pratiques agroécologiques basées sur le vivant (ex : aménagement de haies et bandes fleuries pour les auxiliaires) sont moins maîtrisables que les pratiques basées sur des intrants de synthèse ou certains intrants biologiques comme les biopesticides par exemple. Les interventions sont plus difficilement planifiables et peuvent générer des pics de travail. Il y a plus d'incertitude sur les rendements ce qui peut mettre en danger la rentabilité économique des exploitations en cas de faible valorisation économique des produits (Pissonnier et al., 2016). Par ailleurs les effets bénéfiques des changements de « Redesign » peuvent mettre plusieurs années avant d'être effectifs (De Tourdonnet et al., 2018) et les agriculteurs ne peuvent s'appuyer aujourd'hui que sur des connaissances scientifiques lacunaires sur la gestion et les performances de ces nouveaux systèmes (Blesh and Wolf, 2014).

1.2. La transition agroécologique s'organise à l'échelle de l'exploitation

Parmi les facteurs qui expliquent l'adoption ou non de pratiques agroécologiques certains ne sont pas spécifiques au système de culture mais transversaux dans l'exploitation. C'est donc à cette échelle que se comprennent et s'accompagnent les changements de pratiques des agriculteurs (Grover and Gruver, 2017; Guthman, 2000a). Nous avons notamment observé dans notre échantillon que la répartition des ressources en terre, capital et main d'œuvre entre les différentes productions de l'exploitation justifie parfois l'adoption d'une pratique coûteuse ou chronophage sur une culture mais pas sur une autre. Certains éléments du contexte technico-économique peuvent aussi influencer l'adoption de pratiques agroécologiques à l'échelle de l'exploitation. Par exemple, la participation à un marché de vente directe en AB peut amener un agriculteur à modifier ses pratiques sur l'ensemble de ses productions pour proposer un stand diversifié de produits AB (Navarrete, 2009). Enfin, les caractéristiques comportementales personnelles des agriculteurs, liées à leur sensibilité environnementale, leur aversion au risque ou leur objectif de mode de vie, influencent les choix de pratiques sur l'ensemble des productions de leur exploitation (Brodth et al., 2007).

En comparant les trajectoires d'écologisation de plusieurs productions dans les exploitations nous avons montré l'existence d'interactions entre les productions influençant l'adoption des pratiques agroécologiques. Les agriculteurs réalisent des compromis entre leurs objectifs et contraintes, pouvant se traduire par exemple par l'écologisation plus forte des productions secondaires. Cela leur permet de progresser sur leurs objectifs environnementaux tout en assurant leur revenu avec

l'utilisation sécurisante d'intrants de synthèse sur les productions principales. Ces parcelles de test sont un élément clé pour l'écologisation plus complète de l'exploitation, car les pratiques jugées satisfaisantes sont ensuite diffusées sur les autres productions. Comme dans les exploitations de polyculture-élevage (Herrero et al., 2010), les interactions peuvent également se traduire par des flux de biomasse, favorisant le bouclage du cycle de l'azote par exemple en restituant des résidus de culture.

Pour poursuivre l'écologisation de leurs pratiques, les agriculteurs peuvent également faire évoluer le choix de leurs productions. Des études ont montré par exemple que la conversion à l'AB s'accompagnait parfois d'une diversification des productions (Blesh and Wolf, 2014; Lamine, 2011). Nous avons limité notre étude aux productions présentes au moment de l'enquête dans les exploitations, mais lors des discussions des éléments relevant du choix des productions ont été évoqués. Par exemple, un agriculteur a arrêté certaines productions très sensibles aux bioagresseurs pour se réorienter vers des productions plus robustes afin de réduire son usage de pesticides de synthèse. Il serait pertinent d'étendre notre démarche d'analyse aux trajectoires de changement de productions dans les exploitations car ces choix influent sur les pratiques agroécologiques réalisables. Par ailleurs, même pour des changements de pratiques ne relevant pas du « Redesign », les impacts concernent des éléments transversaux dans l'exploitation. Par exemple, la substitution de l'herbicide par la fauche à la débroussailluse entraîne une augmentation de la charge de travail, demandant à l'agriculteur de revoir son organisation du travail sur toute l'exploitation et peut-être de changer d'autres pratiques ou d'abandonner certaines productions.

L'échelle de l'exploitation apparaît donc comme une échelle pertinente pour l'accompagnement de la transition agroécologique des agriculteurs. Cette échelle permet de considérer l'ensemble des facteurs d'adoption de pratiques agroécologiques, de développer les interactions bénéfiques entre productions et d'adapter le choix des productions. La recherche et le conseil sont aujourd'hui fortement segmentés par catégories de production et centrent leurs interventions sur l'échelle de la plante ou du système de culture. Une évolution vers une approche plus systémique à l'échelle de l'exploitation serait souhaitable mais nécessiterait de réformer l'organisation actuelle des structures chargées du conseil aux agriculteurs et de disposer de nouveaux profils de conseillers. L'agroécologie pose en effet le réel challenge de former des chercheurs et des conseillers plus polyvalents, capables d'appréhender des questions aussi différentes que l'entomologie ou les aspects économiques et commerciaux (Cerf et al., 2011).

1.3. Les agriculteurs sont limités par des contraintes de l'aval

Le terme “transition” fait référence à des changements impliquant la société entière : *“large-scale transformations within society or important subsystems, during which the structure of the societal system fundamentally changes”* (Lachman, 2013). Effectivement, les transitions des agriculteurs sont contraintes ou encouragées par d'autres acteurs du système alimentaire (O'kane, 2011).

Nos résultats montrent que les agriculteurs sont limités par les contraintes imposées par les metteurs en marché ou les transformateurs. Dans notre cas pour les agrumes il s'agit principalement de contraintes de prix bas, de calibres normés et de qualité visuelle sans défauts qui amènent les agriculteurs à sécuriser la production avec des engrais et des pesticides de synthèse. D'autres travaux ont également mis en évidence ce type de contraintes. Par exemple les industriels imposent des taux de protéines élevés pour le blé meunier ce qui contraint les agriculteurs à utiliser de fortes doses d'engrais (Fares et al., 2012). Ce constat incite à mieux coupler les innovations sur les pratiques agricoles et celles sur les procédés industriels ou l'organisation des filières (Meynard et al., 2017). Par exemple l'adoption des pratiques de plantes de couverture et d'allongement des rotations avec des légumineuses a été mise en place dans certains cas par les agriculteurs grâce au développement par des coopératives de nouveaux débouchés pour ces plantes de services (Martin et al., 2014). Pour les fruits commercialisés en frais, il serait intéressant d'amener les metteurs en marché à mieux communiquer pour éduquer les consommateurs à accepter les défauts visuels qui ne nuisent pas à la qualité des fruits (Pissonnier, 2017).

Les contraintes imposées par les metteurs en marché ne sont bien souvent que des répercussions des exigences des consommateurs. Les consommateurs peuvent encourager la transition agroécologique des agriculteurs *via* leur acte d'achat en réévaluant leurs exigences de qualité visuelle, de qualité environnementale et de prix (Hunt, 2007; Iles and Marsh, 2012). Que ce soit dans notre cas d'étude ou dans la production de pommes en France (Pissonnier et al., 2016) les prix élevés et les exigences de qualité visuelle moins strictes des circuits de vente directe alternatifs permettent à certains agriculteurs d'écologiser fortement leurs pratiques. Mais pour faire ces choix de consommation, les acheteurs ont besoin de disposer d'informations sur le mode de production. Or cette communication est encore très peu développée, même dans certains circuits courts avec un seul intermédiaire comme les « bazarriers » réunionnais.

2. Les apprentissages autour d'un outil d'aide à la réflexion sur les aides publiques

De nombreux modèles ont été développés dans l'objectif d'aider l'action des décideurs politiques mais peu de travaux indiquent si les modèles et leurs résultats ont été présentés, utilisés et discutés avec les décideurs ciblés (Falconer and Hodge, 2001; Pacini et al., 2004b). La petite taille de notre région d'étude, La Réunion, et l'ancrage du CIRAD dans le tissu socio-politique local ont facilité les contacts avec les décideurs politiques réunionnais. Nous avons donc pu interagir avec des représentants politiques locaux (Figure 18). Nous avons rencontré à plusieurs reprises des agents du Conseil Départemental, en charge de conseiller les élus politiques sur la question des filières agricoles à La Réunion. Suite à ces interactions, nous avons présenté directement ENTICIP à l'élue à l'Agriculture du département. C'est actuellement par lui que se prend l'ensemble des décisions concernant les aides agricoles à La Réunion. Nous lui avons présenté le fonctionnement du modèle et sa base de données avec des illustrations tirées des scénarios envisagés par l'équipe de recherche sur la conversion à l'AB et des scénarios développés avec les techniciens. Cette rencontre a permis de discuter des perspectives de l'utilisation d'ENTICIP à La Réunion.

En « laboratoire »

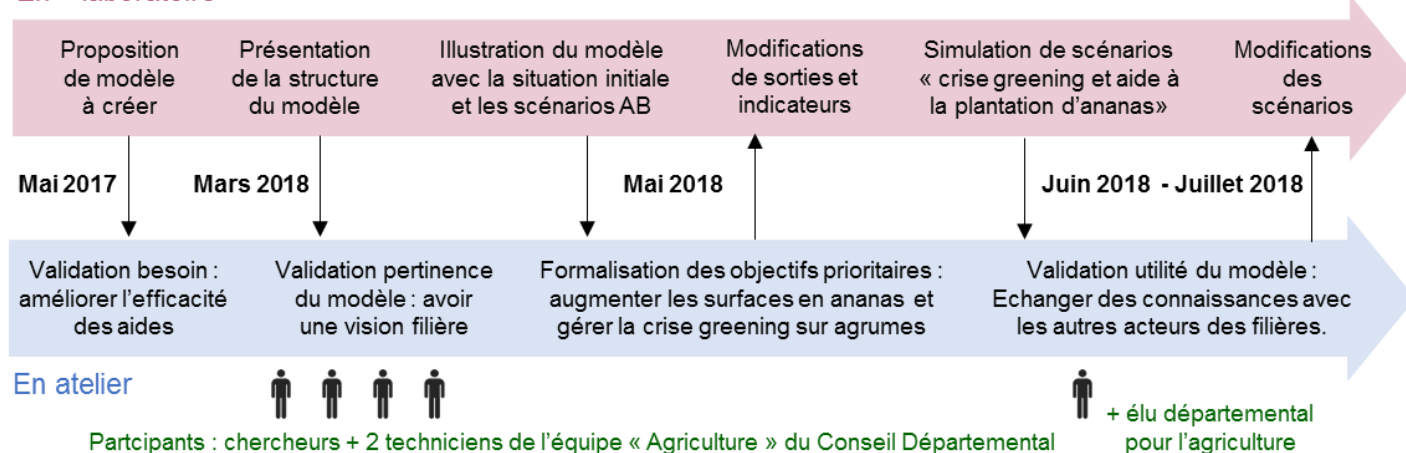


Figure 18 : Déroulement des interactions entre chercheurs et décideurs politiques

2.1. Comprendre les clés des partenariats chercheurs-décideurs politiques

Cette première utilisation participative d'ENTICIP a permis de valider la capacité des acteurs à comprendre et utiliser le modèle. De nombreuses critiques ont été faites sur le caractère « black box » des modèles d'optimisation, peu intuitifs pour des non modélisateurs, freinant leur utilisation dans des démarches participatives (Delmotte et al., 2013). Mais pour l'accompagnement de décideurs politiques qui ne sont pas des spécialistes techniques agricoles, ce type de modèle permet de représenter simplement le fonctionnement des exploitations tout en représentant une diversité d'exploitations. De fait notre cas comme celui de Chantre et al. (2016), montre que les acteurs peuvent comprendre et s'approprier des modèles d'optimisation malgré des algorithmes de calcul complexes.

Cette appropriation est passée par des propositions de modifications, par exemple ajouter aux sorties du modèle le calcul des subventions par hectare qui est l'indicateur qu'ils utilisent fréquemment. Ils ont aussi proposés leurs propres scénarios à explorer avec ENTICIP, à savoir un scénario sur une aide à la plantation d'ananas et un sur la gestion d'une crise sanitaire pour les agrumes. Enfin, ils ont identifiés par eux-mêmes certaines limites du modèle, comme par exemple son incapacité à suivre l'évolution de la trésorerie d'une exploitation lors de nouvelles plantations avant leur entrée en pleine production. En effet, ENTICIP n'est pas un modèle dynamique et ne permet pas de simuler la période de transition où l'agriculteur change de système (ex : nouvelles plantations, conversion AB). Il ne prend pas en compte la phase immature des plantes pérennes où les besoins et la production des arbres ne sont pas stabilisés, ni la période de trois ans de conversion à l'AB où l'agriculteur doit respecter le cahier des charges AB mais ne touche pas de bonus économique. Malgré cette limite, les acteurs se sont montrés intéressés par le prototype actuel d'ENTICIP, appréciant que la base de données et la typologie d'exploitations soient transparentes et modulables sur demande.

ENTICIP a été conçu dans le cadre de cette thèse pour accompagner l'action stratégique des décideurs politiques concernant la transition agroécologique, donc notamment pour des problématiques environnementales. Or les décideurs politiques réunionnais se posent actuellement des questions visant à planifier les actions des prochains mois, mettant au second plan les aspects environnementaux. Ainsi, le premier scénario évoqué concerne une aide en cours de montage par le Conseil Départemental, qui vise à encourager les nouvelles plantations d'ananas pour répondre à un marché très porteur et une demande non couverte. L'aide envisagée n'est touchée qu'une seule fois par les agriculteurs, au moment de la mise en place d'une nouvelle parcelle d'ananas. Les décideurs s'interrogent sur les effets de cette aide sur la

filière ananas et sur le montant de bonification à accorder pour la plantation d'ananas AB. Le mode de conduite AB est considéré par les décideurs principalement pour ses opportunités de marché et non pour ses intérêts environnementaux. Leur objectif principal est en effet de faire correspondre l'offre des agriculteurs avec la demande et cette demande est majoritairement conventionnelle.

Le second scénario développé concerne les aides à l'arrachage des vergers d'agrumes et à la replantation d'autres cultures dans les zones de l'île contaminées par la maladie du Huang Long Bing, une maladie des agrumes incurable détectée récemment sur l'île. Un collectif d'acteurs locaux incluant le Conseil Départemental (le Conseil Régional d'Orientation pour la Politique Sanitaire Animale et Végétale) est chargé de proposer dans les mois qui viennent une stratégie de gestion pour cette crise sanitaire, menaçant la viabilité économique des exploitations agrumicoles. Cette problématique du Huang Long Bing, absente au commencement de la thèse, rappelle que des éléments non planifiés peuvent très rapidement remettre en question la stratégie des acteurs, qui était initialement de relancer la filière agrumes à La Réunion. Le décalage temporel entre les préoccupations de court terme des décideurs politiques et les travaux de long terme des chercheurs, particulièrement pour les cultures pérennes, a également été signalé dans d'autres contextes (Van Ittersum et al., 2004). Pourtant, ce décalage ne semble pas encore résolu par les chercheurs proposant aux décideurs des outils pour traiter de problématiques environnementales (Payraudeau and Van Der Werf, 2005).

Pour certains chercheurs, faire évoluer les questions des décideurs politiques au vu des connaissances scientifiques relève d'une responsabilité de la recherche : *"We consider, for example, the inclusion of environmental objectives, which were considered of minor importance by some stakeholders, as a responsibility of scientists. Science has a role to play in generating information and revealing threats and opportunities, even if that information does not match current interests of policy makers or particular stakeholder groups."* (Van Ittersum et al., 2004). Mais dans ces conditions, comment s'assurer de l'intérêt des décideurs pour pérenniser les partenariats chercheurs-décideurs politiques ? L'utilisation d'outils d'aide à la réflexion flexibles, capables de traiter une large gamme de questions, pourrait permettre de trouver des terrains d'entente entre questions de recherche et préoccupations politiques. Dans ce contexte, l'intérêt d'ENTICIP réside dans son adaptabilité à des questions très différentes, allant de la transition agroécologique à l'autonomie alimentaire d'un territoire, en passant par la concurrence d'un nouveau marché comme l'import, l'organisation en coopératives des agriculteurs d'un bassin de production ou la diversification des agriculteurs face à une crise sanitaire ou économique.

2.2. Fédérer les porteurs d'enjeu des filières autour d'une base de connaissances commune

ENTICIP a été vu par les décideurs rencontrés comme un outil fédérateur permettant de rassembler des connaissances, concernant notamment les caractéristiques technico-économiques des systèmes productifs, à savoir les informations sur les coûts et les performances des systèmes de culture, la diversité des contraintes d'exploitation, et les volumes et les prix pratiqués par segments de marché. De fait, les connaissances technico-économiques sont généralement fragmentées au sein des filières car détenues par différents acteurs (Castella et al., 2007). C'est particulièrement vrai à La Réunion où les références issues des agriculteurs en coopératives sont détenues par celles-ci, et parfois utilisées comme outil de négociation avec le Conseil Départemental pour négocier des aides. Les connaissances sur les agriculteurs hors des coopératives sont quant à elles très lacunaires, bien que ces agriculteurs et leurs metteurs en marché représentent plus de 80% des volumes produits en fruits (Agreste, 2014).

Pour enrichir et valider la base de données et la typologie sur lesquelles reposent les simulations d'ENTICIP, les décideurs rencontrés souhaiteraient organiser des ateliers collectifs avec les différents acteurs des filières. Cette première étape leur paraît nécessaire avant d'évaluer les scénarios simulés par ENTICIP. De plus, en apportant de la transparence dans le processus de conception des aides du Conseil Départemental, notamment sur les références utilisées, ENTICIP pourrait contribuer à assouplir les relations avec les autres porteurs d'enjeu de la filière lorsque des conflits apparaissent. Toutefois, organiser des travaux collectifs constructifs peut se révéler complexe. Il faut tout d'abord parvenir à rassembler un collectif d'acteurs pertinent au vu des questions posées (Voinov and Bousquet, 2010). A La Réunion, la construction de ce collectif semble particulièrement délicate car certains grands types d'acteurs n'ont pas de représentants officiels, notamment les bazarriers, les consommateurs et les agriculteurs hors des coopératives. Et des travaux conduits auprès des bazarriers réunionnais ainsi que nos propres enquêtes ont pu montrer la grande diversité au sein de ces groupes (communication personnelle J-P.Danfloss). Difficile donc de les représenter dans un collectif devant rester restreint pour assurer un temps de parole à tous sur des détails très techniques. Il faut également veiller à ce que la démarche ne renforce pas les tensions existantes entre les acteurs, empêchant d'atteindre des consensus (Delmotte et al., 2016b). Dans de telles démarches de modélisation participative, des conflits peuvent en effet émerger lorsque certains acteurs pensent que les résultats du modèle vont à l'encontre de leurs propres objectifs (Gisclard et al., 2015).

3. Une démarche de recherche combinant production de connaissances, opérationnalité et interactions avec les acteurs

3.1. Les relations développées lors des phases analytique et d'accompagnement

Ce travail de thèse a été conduit en interaction avec de nombreux acteurs. Tout d'abord, avec un échantillon d'agrumiculteurs afin de rassembler le matériau nécessaire à la phase analytique. Ensuite, avec des représentants du Conseil Général pour tester la démarche d'aide à la réflexion pour la conception d'aides agricoles. Nous avons également impliqué les autres parties prenantes, en rencontrant en début et en milieu de projet les représentants de l'ensemble des acteurs officiels des filières fruitières réunionnaises. Nous avons ainsi présenté le travail d'enquête et proposé l'utilisation d'ENTICIP à la Chambre d'Agriculture, l'institut technique ARMEFLHOR, l'interprofession des Fruits & Légumes et la Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt.

Il est essentiel que les acteurs trouvent un intérêt à participer à la démarche de recherche, ne serait-ce que pour consolider leur coopération à long terme. C'est également une des missions que se donne le CIRAD dans sa charte déontologique (Cirad, 2017). L'impact de notre travail pour les agriculteurs enquêtés est très indirect, dépendant de l'influence de notre démarche d'accompagnement sur les futures aides agricoles qui seront proposées aux agriculteurs réunionnais. Il nous est apparu important de restituer les résultats aux agriculteurs enquêtés en réalisant une brève vidéo de cinq minutes qui raconte le projet de thèse et ses principaux résultats, dont le lien internet a été envoyé aux trente et un agriculteurs par SMS². La dizaine de réponses reçue témoigne de l'accueil favorable de ce type de communication simple et rapide.

L'apport de ce travail est plus direct vis-à-vis des acteurs du Conseil Départemental. La thèse a abouti à un prototype d'outil permettant de rassembler de nombreuses connaissances sur un ou plusieurs systèmes productifs et de simuler une large gamme de scénarios d'aides agricoles et de contexte de marché. Elle a répondu à la demande initiale des acteurs réunionnais qui était de maintenir une activité de recherche sur les agrumes. Elle a permis de remettre à jour la

² La vidéo est hébergée sur le site Vimeo, disponible avec le mot de passe « tangor » au lien suivant : <https://vimeo.com/284114327> (dernier accès le 20.08.18).

connaissance sur les pratiques des agrumiculteurs et de la présenter sous l'angle nouveau des opportunités et contraintes pour la transition agroécologique.

Les nouvelles réglementations et chartes des instituts de recherche incitent les chercheurs à rendre publiques leurs données. Dans le cas de données d'enquêtes, cela nécessite d'obtenir l'accord explicite des enquêtés et de rendre les données anonymes. Cette clause de diffusion des données pourrait freiner la conduite de telles enquêtes lorsque l'anonymat s'avère difficile à garantir comme à La Réunion où « tout le monde se connaît ». Dans cette thèse, nous aurions pu discuter plus précisément avec les enquêtés sur l'utilisation de leurs données, afin de distinguer les données qu'ils tiennent absolument à garder confidentielles de celles qu'ils acceptent de rendre publiques. Les données publiques ont l'avantage d'être valorisables par d'autres chercheurs. Et dans notre cas, rendre public les comptes rendus des ateliers d'utilisation d'ENTICIP pourrait éclairer le rôle du CIRAD auprès des acteurs de la filière et faire valoir son positionnement qui se veut objectif et neutre.

3.2. Complémentarités entre phases analytique et opérationnelle

La phase analytique de cette thèse a permis de confirmer que les aides agricoles, pourtant nombreuses à La Réunion, ne sont pas un moteur d'écologisation dans les exploitations. Ce phénomène est observable plus généralement à l'échelle de l'Union Européenne (Mili et al., 2017; Wier et al., 2002). En effet, les politiques agricoles européennes en sont à une étape paradoxale : elles commencent à encourager des systèmes agricoles plus respectueux de l'environnement mais continuent à soutenir le modèle productiviste développé après-guerre. Ces deux types de systèmes sont simultanément encouragés alors qu'ils correspondent à des orientations opposées, et cela nuit à l'efficacité des politiques environnementales. Par ailleurs, les formats actuels des aides environnementales semblent inadaptés dans certains contextes. Par exemple à La Réunion, certains montants d'aides des mesures agro-environnementales et climatiques sont largement inférieurs aux surcoûts estimés pour la mise en place des pratiques contractualisées, ceci à cause de plafonds d'aides fixés à l'échelle européenne (Figure 19). En s'appuyant sur une phase analytique couplée à un outil opérationnel, notre démarche permet de proposer trois pistes pour améliorer l'efficacité de ces aides environnementales.

Maraîchage		
Éléments techniques	Formules de calcul	Surcoûts et manques à gagner annuels
Respect cahier des charges agriculture biologique	+ 2/5 ans (avant valorisation du prix de vente) :	
	MB [maraîchage CONV- maraîchage AB] = 8 686 €	
	+ 3/5 ans (après valorisation) :	+ 5 626 €
	MB [maraîchage CONV - maraîchage AB] = 3 586 €	
	Charges de main d'œuvre supplémentaire (5 % de la valeur UTA Conv annuel) :	
	82 h x 15,50€ = 1 271€	+ 1 271 €
Total par ha de maraîchage		6 897 €
		plafond(600 x 4.5) : 2700 €

source des données :
Référentiel technico-économique de la Réunion, DAAF, 2014 pour les marges brutes conventionnelles
Fiche technico-économique AB, Chambre d'Agriculture, 2014, pour les marges brutes AB, groupe de travail

Figure 19 : Calcul pour le montant de l'aide à la Conversion à l'Agriculture Biologique extrait du Programme de Développement Rural Régional de La Réunion pour 2014-2020.

Une première piste d'amélioration consisterait à adapter les aides aux spécificités des productions en fonction de leurs potentiels d'écologisation. A notre connaissance, il n'y a pas de travaux de recherche centrés sur la comparaison des productions pour la conception d'aides environnementales adaptées. Or notre étude montre par exemple que dans les zones en altitude l'ananas AB est presque aussi rentable que l'ananas conventionnel, alors que le tangor AB l'est beaucoup moins que le tangor conventionnel. Ainsi, à un même montant d'aide seul l'ananas AB se développe.

Une deuxième piste d'amélioration consisterait à adapter les aides aux spécificités des exploitations, qui sont en général diverses dans une petite région comme La Réunion. Les effets des aides sont en effet variables selon les ressources des exploitations et les comportements des agriculteurs (Blazy et al., 2015; Defrancesco et al., 2008). Par exemple, l'adoption d'un contrat agro-environnemental peut dépendre de la main d'œuvre disponible sur l'exploitation ou de l'aversion au risque de l'agriculteur (Ridier et al., 2013). Cette diversité est traduite sous forme de contraintes dans un modèle bioéconomique d'exploitation comme ENTICIP, de même que la diversité des circuits de vente à la disposition des exploitations.

Enfin, une troisième piste consisterait à rendre flexible la temporalité des aides pour s'adapter aux dynamiques de changement des agriculteurs, dont les rythmes sont également divers. Par exemple, les contrats agro-environnementaux sont limités actuellement à une période de cinq ans, alors que les agriculteurs mettent en œuvre leurs changements sur des pas de temps parfois beaucoup plus longs. Chantre and Cardona (2014) ont signalé un pas de temps de plus de dix ans entre les phases d'« Efficiency » et de « Redesign » dans les trajectoires de certains agriculteurs et nos résultats confirment que cette étape peut parfois prendre plus de quinze ans. D'un autre côté, le caractère non linéaire de certaines trajectoires avec des phases d'essai-erreur montre que ces contrats de cinq ans peuvent être un cadre trop strict freinant le changement. Proposer des contrats agro-environnementaux de durée variable pourrait être une solution innovante pour mieux s'adapter à la diversité des rythmes de changement des agriculteurs.

4. Vers le développement de coopérations pour la transition agroécologique

4.1. Développer un dispositif de recherche interdisciplinaire et multi-échelles à La Réunion

La phase analytique de notre démarche pourrait être valorisée en la reliant aux activités de conception et d'évaluation de systèmes fruitiers innovants des chercheurs à La Réunion. L'analyse des contraintes des agriculteurs et la typologie d'exploitations proposée dans le chapitre 4 pourrait ainsi permettre de concevoir et proposer des systèmes innovants compatibles avec les marges de manœuvre des agriculteurs et *in fine* améliorer la transformation des systèmes à l'échelle régionale (Blazy et al., 2009). Très concrètement ce couplage entre échelles de l'exploitation et du système de culture pourrait être fait autour du projet actuel AnanaBio, visant à concevoir des itinéraires techniques pour produire en AB de l'ananas à La Réunion. Notre travail d'enquête a également permis d'identifier des agriculteurs pionniers et de recueillir des connaissances d'agriculteurs sur les pratiques agroécologiques comme les plantes compagnes par exemple, habitats d'auxiliaires ou pièges pour ravageurs. Face à l'ampleur des pratiques agroécologiques à tester, il devient incontournable de combiner ces connaissances empiriques locales avec les connaissances génériques des chercheurs (Doré et al., 2011).

L'interaction avec les activités de conception et évaluation de systèmes agroécologiques est aussi nécessaire pour apporter à notre démarche des données sur les performances agronomiques des pratiques agroécologiques mises en place par les agriculteurs et celles modélisées dans

ENTICIP. Il y a actuellement très peu de connaissances sur les rendements de ces nouveaux systèmes alternatifs. Les modèles de culture existants, permettant une évaluation fine des performances agronomiques, ne sont pas systématiquement adaptés à la modélisation de pratiques agroécologiques. Par exemple, le modèle de culture de l'ananas SIMPINA disponible à La Réunion ne permet pas pour l'instant d'évaluer un mode de gestion en Agriculture Biologique (Dorey et al., 2018).

Notre démarche pourrait aussi être reliée à des travaux d'évaluation des performances environnementales. La méthode de l'Analyse du Cycle de Vie a par exemple été récemment utilisée pour évaluer les impacts environnementaux de 267 exploitations agrumicoles en Espagne, mettant en évidence des performances très variables même parmi les agriculteurs conventionnels (Ribal et al., 2017). Cette évaluation environnementale pourrait être valorisée dans ENTICIP en affinant les indicateurs environnementaux, comme dans certains travaux couplant Analyse de Cycle de Vie et modèle d'optimisation (Acosta-Alba et al., 2012).

Enfin, notre démarche pourrait être enrichie par des méthodes issues de l'économie et des sciences humaines et sociales afin de (i) mieux comprendre les stratégies des agriculteurs en formalisant plus précisément la sensibilité environnementale des agriculteurs et leur aversion au risque, que ce soit à travers des outils sociologiques visant à faire classer par les agriculteurs différentes affirmations sur leurs objectifs environnementaux, sociaux et économiques afin de déterminer leur « management style » (Brodt et al., 2007; Fairweather and Keating, 1994) ou des méthodes développées par des économistes et des psychologues visant à quantifier expérimentalement l'aversion au risque des agriculteurs (Charness et al., 2013) ; . (ii) relier les changements techniques observés aux processus cognitifs sous-jacents à travers l'analyse des dynamiques d'apprentissage des agriculteurs (Merot and Wery, 2017; Toffolini et al., 2015), du rôle du conseil (Klerkx and Jansen, 2010) et de la diffusion des innovations au sein des réseaux d'agriculteurs (Goulet, 2013; Houdart et al., 2007) ; (iii) faciliter les relations entre acteurs lors de l'utilisation collective d'ENTICIP en relevant les interactions à l'œuvre à l'aide d'une « social network analysis » (Dougill et al., 2006; Gisclard et al., 2015).

Le couplage de cette étude avec deux autres thèses, l'une en écologie sur la pratique d'enherbement en verger d'agrumes, l'autre en géographie sur les circuits de vente favorisant la transition agroécologique des filières fruitières, s'avère une piste prometteuse pour concrétiser le travail interdisciplinaire recommandé pour traiter de l'ensemble des dimensions de la transition agroécologique (Dalgaard et al., 2003). Nous avons pu échanger des références bibliographiques issues de nos propres disciplines et partager nos données. Toutefois, nos interactions ont été

limitées par les trois années de chaque thèse et de leur décalage dans le temps. Ce dispositif pourrait être amélioré en synchronisant le début des thèses, ce qui permettrait d'interagir pour la construction des problématiques et de conduire éventuellement les enquêtes conjointement, afin de bénéficier d'une perspective pluridisciplinaire.

4.2. Pérenniser le partenariat chercheurs-décideurs politiques à La Réunion

Les bases d'un partenariat entre chercheurs et décideurs autour de la conception d'un dispositif d'aides ont été construites lors de cette thèse. Des interlocuteurs intéressés et disponibles ont été identifiés : les agents techniques du Conseil Départemental, en lien direct avec le décideur politique en charge des aides agricoles à La Réunion. Poursuivre l'utilisation d'ENTICIP pourrait être un moyen de maintenir le partenariat si d'autres chercheurs sont intéressés par cette interaction au vu de leurs questions de recherche. ENTICIP est en effet un outil opérationnel qui intéresse le Conseil Départemental et il est envisageable de l'orienter sur d'autres questions de recherche, par exemple autour de l'émergence de circuits de vente alternatifs. Utiliser ENTICIP avec un collectif d'acteurs pourrait s'imaginer au sein d'« arènes de discussion » déjà existantes et bien établies comme le Conseil Régional d'Orientation pour la Politique Sanitaire Animale et Végétale. Une fois la base de connaissance validée par tous, des scénarios pourraient être construits et évalués collectivement, afin de confronter les différentes visions et objectifs des acteurs (Patel et al., 2007; Voinov and Bousquet, 2010). Toutefois ce collectif ne se réunit que très rarement et un tel travail nécessiterait une forte implication de la part de l'ensemble des acteurs.

4.3. Vers un outil opérationnel adaptable

Notre démarche a débouché sur une phase exploratoire et participative dépassant les seules recommandations aux décideurs politiques. ENTICIP est un outil mis à disposition des décideurs regroupant des connaissances éparses sur les systèmes productifs locaux et permettant d'explorer une large gamme de questions à travers la simulation de scénarios. Bien qu'ENTICIP soit déjà fonctionnel, ce n'est qu'un premier prototype et de multiples améliorations informatiques sont envisageables. Pour disposer d'un outil fonctionnel sur le temps court de la thèse, nous n'avons pas cherché à concevoir un modèle générique en termes de nombre variable d'activités, de types d'unités de production ou de segments de marché. La réécriture du code pour le rendre

plus flexible favoriserait sans doute la réutilisation d'ENTICIP pour d'autres cas d'études (Van Ittersum et al., 2008). En l'état, le modèle n'est pas transmissible à des acteurs non modélisateurs car il n'y a pas d'interfaces conviviales. Une maîtrise du langage de modélisation GAMS reste indispensable pour la simulation de nouveaux scénarios. Le développement d'interfaces conviviales serait utile car les techniciens travaillant conjointement avec les décideurs politiques pourraient alors utiliser le modèle de manière autonome, au moins pour des variantes des scénarios déjà développés. Pour faciliter la remobilisation d'ENTICIP dans d'autres projets, il serait intéressant de le retranscrire dans le langage R car celui-ci est libre de droit et maîtrisé par de nombreux chercheurs.

4.4. Appliquer la démarche à d'autres contextes

La démarche mise en place dans cette thèse pourrait s'appliquer à d'autres types de productions et d'autres territoires afin d'approfondir nos connaissances du processus de transition agroécologique et de continuer à explorer des formes innovantes de son accompagnement politique. Cela permettrait d'identifier de nouvelles spécificités des productions, des exploitations, des circuits de vente et des régions importantes à prendre en compte pour la conception des politiques environnementales. Il serait intéressant par exemple d'appliquer la démarche au cas de la filière agrumes en Corse car ce système productif présente des points communs mais aussi des divergences avec le cas réunionnais, et il fait l'objet de nombreuses recherches (Belmin et al., 2017).

Pour élargir le champ d'application d'ENTICIP, il faudrait enrichir la base de données construite durant cette thèse avec les références techniques sur de nouveaux systèmes de culture et les références économiques sur de nouveaux segments de marché. Il faudrait également adapter la typologie d'exploitations à la diversité des producteurs des systèmes productifs étudiés. Si le territoire n'est pas insulaire comme à La Réunion, les limites des bassins de production et de consommation seront certainement plus complexes à définir pour ENTICIP. En revanche, on peut faire l'hypothèse que la démarche participative sera plus aisée dans d'autres régions, où les acteurs travaillent déjà dans une dynamique collective sur les questions environnementales comme dans les parcs naturels régionaux en France par exemple.

Conclusion générale

Notre étude s'est intéressée à l'analyse des transitions agroécologiques dans les exploitations fruitières et à leur accompagnement. Une démarche en 3 étapes a été mise en œuvre dans ce but. La première étape décrit et explique les trajectoires de pratiques des systèmes de culture agrumes pour un échantillon couvrant une large diversité de situations. Dans un deuxième temps l'étude est élargie aux autres systèmes de culture des exploitations afin d'analyser les changements de pratiques au regard des interactions entre productions au sein des exploitations. Cette compréhension débouche dans une troisième étape sur la conception d'ENTICIP, un outil d'appui à la réflexion pour les décideurs politiques afin de mieux accompagner la transition agroécologique des agriculteurs à l'échelle du système productif.

Les deux étapes analytiques présentent des avancées originales. (i) L'étude des agriculteurs non pionniers, qui avait rarement fait l'objet d'analyse de trajectoires de pratiques, permet de mettre en évidence les dynamiques de changement progressives de la majorité des agriculteurs et fait apparaître des éléments de blocages au « Redesign », c'est-à-dire la reconception profonde des systèmes. (ii) L'analyse des trajectoires de plusieurs productions au sein d'une même exploitation fait apparaître des interactions entre les trajectoires et permet de formaliser une vision holistique de la transition agroécologique à l'échelle exploitation. L'indicateur du « Technical Score » conçu pour cette étude permet aux chercheurs d'étudier les trajectoires de pratiques comme un « continuum » et non une succession de phases, soulignant ainsi la grande diversité de dynamiques de changement des agriculteurs.

L'étape opérationnelle a permis d'aboutir à un prototype fonctionnel, présenté et utilisé avec des décideurs politiques de La Réunion. L'utilisation d'ENTICIP a permis d'explorer divers scénarios d'aides publiques sur les systèmes productifs d'ananas et de tangor à La Réunion, notamment sur les conditions d'une conversion massive des agriculteurs vers l'AB. La démarche participative a été riche d'enseignements sur les intérêts des décideurs politiques pour ce type d'outil, soulignant l'importance de la flexibilité d'ENTICIP pour traiter une large gamme de questions. En enrichissant la base de données et en adaptant la typologie des exploitations et les circuits de vente pris en compte, ENTICIP pourrait être adapté à d'autres productions et d'autres territoires.

La compréhension acquise lors de la phase analytique combinée à l'outil ENTICIP de la phase opérationnel permet de proposer des pistes d'améliorations des politiques environnementales en agriculture. Notre démarche de recherche pourrait être enrichie par un travail en interdisciplinarité avec des chercheurs en économie et en sciences humaines et sociales, et être associée aux

travaux sur la conception et l'évaluation de systèmes de culture agroécologiques. Il serait intéressant de chercher à poursuivre le partenariat chercheurs-décideurs politiques initié à La Réunion, afin de continuer à explorer les apports d'ENTICIP. La prochaine étape envisagée à La Réunion est l'enrichissement de la base de données à travers un atelier collectif réunissant les acteurs des filières ananas et tangor.

Nous avons traité dans cette thèse de la transition agroécologique comme un changement de pratiques par les agriculteurs sous l'influence des politiques agricoles et des demandes des consommateurs. Le résultat majeur réside dans la dynamique progressive de ces transitions, éloignée du processus de re-conception des systèmes en place considéré par certains chercheurs comme indispensable à l'émergence de nouveaux modèles de production agricole. Ce résultat montre bien la complexité des questions et challenges auxquels sont confrontés les agriculteurs dans cette évolution. Mais la transition agroécologique ne les concerne pas seulement. C'est un phénomène plus vaste qui implique aussi des transformations dans les habitudes alimentaires des consommateurs, dans les exigences des agro-industriels et des metteurs en marché, et dans les méthodes de travail des chercheurs et des conseillers agricoles. Le succès de cette transition dépend donc de l'implication et de la coopération de l'ensemble des acteurs de notre société.

Références

- Acosta-Alba, I., López-Ridaura, S., van der Werf, H.M.G., Leterme, P., Corson, M.S., 2012. Exploring sustainable farming scenarios at a regional scale: an application to dairy farms in Brittany. *Journal of Cleaner Production*. 28, 160-167. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.11.061>
- AgenceBIO, 2016. La bio dans l'Union Européenne. Les carnets de l'agence BIO. http://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/PRAAD_CDOA_25juin2014_cle4c3d1e-1.pdf (accessed 11.09.18).
- AgenceBIO, 2018. Chiffres de la bio en France. <http://www.agencebio.org/la-bio-en-france> (accessed 16.08.18).
- Agreste, 2014. La production fruitière à la Réunion. <http://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/Fruits> (accessed 20.07.18).
- Agreste, 2015. Le modèle agricole réunionnais résiste : l'emploi et les surfaces exploitées se stabilisent. <http://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/Structures-des-exploitations> (accessed 14.08.18).
- Agreste, 2016. Les indicateurs de fréquence de traitement (IFT) : moyenne et 70e percentile. Les Dossiers n°36.
- Agreste, 2017. La production biologique réunionnaise. <http://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/La-production-biologique> (accessed 14.08.18).
- Agreste, 2018. Apports de produits phytopharmaceutiques en arboriculture : nombre de traitements et indicateur de fréquence de traitements. <http://agreste.agriculture.gouv.fr/publications/dossiers/article/apports-de-produits-14428> (accessed 01.09.18).
- Alim'agri, 2018. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. Le projet agro-écologique pour la France. <http://agriculture.gouv.fr/le-projet-agro-ecologique-pour-la-france> (accessed 16.08.18).
- Arfini, F., Donati, M., 2013. Organic Production and the Capacity to Respond to Market Signals and Policies: An Empirical Analysis of a Sample of FADN Farms. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 37, 149-171. <https://doi.org/10.1080/10440046.2012.695328>
- Aulagnier, A., Goulet, F., 2017. Des technologies controversées et de leurs alternatives. Le cas des pesticides agricoles en France. *Sociologie du travail*. 59, 3. <https://doi.org/10.4000/sdt.840>
- Bellon, S., Lescourret, F., Calmet, J.-P., 2001. Characterisation of apple orchard management systems in a French Mediterranean Vulnerable Zone. *Agronomie*. 21, 203–213. <https://doi.org/10.1051/agro:2001118>
- Belmin, R., Casabianca, F., Meynard, J.-M., 2017. Contribution of the transition theory to the study of Geographical Indications. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2017.10.002>
- Bensin, B., 1930. Possibilities for international cooperation in agroecological investigations. *Int. Rev. Agr. Mo. Bull. Agr. Sci. Pract.* 21, 277-284.
- Bernet, T., Ortiz, O., Estrada, R.D., Quiroz, R., Swinton, S.M., 2001. Tailoring agricultural extension to different production contexts: a user-friendly farm-household model to improve decision-making for participatory research. *Agric. Syst.* 69, 183-198. [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-521X\(01\)00024-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-521X(01)00024-5)
- Berthet, E.T.A., Barnaud, C., Girard, N., Labatut, J., Martin, G., 2016. How to foster agroecological innovations? A comparison of participatory design methods. *J. Environ. Planning Manage.* 59, 280-301. <https://doi.org/10.1080/09640568.2015.1009627>
- Blazy, J.-M., Barlagne, C., Sierra, J., 2015. Environmental and economic impacts of agri-environmental schemes designed in French West Indies to enhance soil C sequestration and reduce pollution risks. A modelling approach. *Agric. Syst.* 140, 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2015.08.009>
- Blazy, J.-M., Ozier-Lafontaine, H., Doré, T., Thomas, A., Wery, J., 2009. A methodological framework that accounts for farm diversity in the prototyping of crop management systems. Application to banana-based systems in Guadeloupe. *Agric. Syst.* 101, 30-41. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2009.02.004>

Blazy, J.-M., Tixier, P., Thomas, A., Ozier-Lafontaine, H., Salmon, F., Wery, J., 2010. BANAD: A farm model for ex ante assessment of agro-ecological innovations and its application to banana farms in Guadeloupe. *Agric. Syst.* 103, 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.01.004>

Blesh, J., Wolf, S.A., 2014. Transitions to agroecological farming systems in the Mississippi River Basin: toward an integrated socioecological analysis. *Agr. Human Values.* 31, 621-635. <https://doi.org/10.1007/s10460-014-9517-3>

Bohnet, I.C., Roberts, B., Harding, E., Haug, K.J., 2011. A typology of graziers to inform a more targeted approach for developing natural resource management policies and agricultural extension programs. *Land Use Policy.* 28, 629-637. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2010.12.003>

Börjeson, L., Höjer, M., Dreborg, K.-H., Ekvall, T., Finnveden, G., 2006. Scenario types and techniques: Towards a user's guide. *Futures.* 38, 723-739. <http://dx.doi.org/10.1016/j.futures.2005.12.002>

Brodt, S., Klonsky, K., Tourte, L., Duncan, R., Hendricks, L., Ohmart, C., Verdegaaal, P., 2007. Influence of farm management style on adoption of biologically integrated farming practices in California. *Renew. Agric. Food Syst.* 19, 237-247. <https://doi.org/10.1079/rafs200488>

Bruchon, L., Vannière, H., Ehret, P., Vincenot, D., De Bon, H., Marion, D., Deguine, J.-P., 2015. Guide tropical-Guide pratique de conception de systèmes de culture tropicaux économes en produits phytosanitaires, F. Le Bellec (Ed.) Paris.

Buck, D., Getz, C., Guthman, J., 1997. From Farm to Table: The Organic Vegetable Commodity Chain of Northern California. *Soc. Ruralis.* 37, 3-20. <https://doi.org/10.1111/1467-9523.00033>

Cardoso, I.M., Guijt, I., Franco, F.S., Carvalho, A.F., Ferreira Neto, P.S., 2001. Continual learning for agroforestry system design: university, NGO and farmer partnership in Minas Gerais, Brazil. *Agric. Syst.* 69, 235-257. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(01\)00028-2](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(01)00028-2)

Castella, J.-C., Pheng Kam, S., Dinh Quang, D., Verburg, P.H., Thai Hoanh, C., 2007. Combining top-down and bottom-up modelling approaches of land use/cover change to support public policies: Application to sustainable management of natural resources in northern Vietnam. *Land Use Policy.* 24, 531-545. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2005.09.009>

Cerf, M., Guillot, M.N., Olry, P., 2011. Acting as a Change Agent in Supporting Sustainable Agriculture: How to Cope with New Professional Situations? *The Journal of Agricultural Education and Extension.* 17, 7-19. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2011.536340>

CG974, 2014. Conseil Départemental de la Réunion - Programme de Développement Rural Regional 2014-2020. <http://www.cg974.fr/espace-feader/ws-dossier-public-2/Dispositif%20des%20Aides/Le%20programme%20de%20d%C3%A9veloppement%20rural%202014-2020> (accessed 01.09.18).

Chantre, E., Cardona, A., 2014. Trajectories of French Field Crop Farmers Moving Toward Sustainable Farming Practices: Change, Learning, and Links with the Advisory Services. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 38, 573-602. <https://doi.org/10.1080/21683565.2013.876483>

Chantre, E., Cerf, M., Le Bail, M., 2015. Transitional pathways towards input reduction on French field crop farms. *Int. J. Agr. Sustain.* 13, 69-86. <https://doi.org/10.1080/14735903.2014.945316>

Chantre, E., Guichard, L., Ballot, R., Jacquet, F., Jeuffroy, M.-H., Prigent, C., Barzman, M., 2016. Co-click'eau, a participatory method for land-use scenarios in water catchments. *Land Use Policy.* 59, 260-271. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.09.001>

Charness, G., Gneezy, U., Imas, A., 2013. Experimental methods: Eliciting risk preferences. *Journal of Economic Behavior & Organization.* 87, 43-51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jebo.2012.12.023>

Chopin, P., Doré, T., Guindé, L., Blazy, J.-M., 2015. MOSAICA: A multi-scale bioeconomic model for the design and ex ante assessment of cropping system mosaics. *Agric. Syst.* 140, 26-39. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2015.08.006>

Cibois, P., 1997. Les pièges de l'analyse des correspondances, in: *Histoire & Mesure.* Editions du CNRS, pp. 299-320. <https://doi.org/10.3406/hism.1997.1549>

CIRAD, 2017. Charte déontologique du CIRAD.
<https://collaboratif.cirad.fr/alfresco/s/d/workspace/SpacesStore/567173b3-6f70-441d-9175-3f5963d676c6/ChartedeontologiqueCirad%20FR.pdf> (accessed 31.07.18).

Coquil, X., Béguin, P., Dedieu, B., 2013. Transition to self-sufficient mixed crop–dairy farming systems. *Renew. Agric. Food Syst.* 29, 195–205. <https://doi.org/10.1017/S1742170513000458>

Dalgaard, T., Hutchings, N.J., Porter, J.R., 2003. Agroecology, scaling and interdisciplinarity. *Agric., Ecosyst. Environ.* 100, 39–51. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00152-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00152-X)

Darnaudery, M., Fournier, P., LÉChaudel, M., 2016. Low-Input Pineapple Crops with High Quality Fruit: Promising Impacts of Locally Integrated and Organic Fertilisation Compared to Chemical Fertilisers. *Exp. Agric.* 1–17. <https://doi.org/10.1017/s0014479716000284>

Darnhofer, I., Lindenthal, T., Bartel-Kratochvil, R., Zollitsch, W., 2010. Conventionalisation of organic farming practices: from structural criteria towards an assessment based on organic principles. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 30, 67–81. <https://doi.org/10.1051/agro/2009011>

de Hooge, I.E., Oostindjer, M., Aschemann-Witzel, J., Normann, A., Loose, S.M., Almli, V.L., 2017. This apple is too ugly for me!: Consumer preferences for suboptimal food products in the supermarket and at home. *Food Quality and Preference*. 56, 80–92. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.09.012>

De Schutter, O., 2012. Agroecology, a Tool for the Realization of the Right to Food, in: E. Lichtfouse (Ed.) *Agroecology and Strategies for Climate Change*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 1–16. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1905-7_1

De Tourdonnet, S., Barbier, J.-M., Courty, s., Martel, p., Lucas, V., 2018. How can collective organization and the search for autonomy lead to an agroecological transition? The example of farm machinery cooperatives in France. 13e European IFSA Symposium.

Defrancesco, E., Gatto, P., Runge, F., Trestini, S., 2008. Factors Affecting Farmers’ Participation in Agri-environmental Measures: A Northern Italian Perspective. *J. Agr. Econ.* 59, 114–131. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9552.2007.00134.x>

Delmotte, S., Couderc, V., Mouret, J.-C., Lopez-Ridaura, S., Barbier, J.-M., Hossard, L., 2016a. From stakeholders narratives to modelling plausible future agricultural systems. Integrated assessment of scenarios for Camargue, Southern France. *Eur. J. Agron.* <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.09.009>

Delmotte, S., Barbier, J.-M., Mouret, J.-C., Le Page, C., Wery, J., Chauvelon, P., Sandoz, A., Lopez Ridaura, S., 2016b. Participatory integrated assessment of scenarios for organic farming at different scales in Camargue, France. *Agric. Syst.* 143, 147–158. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.12.009>

Delmotte, S., Lopez-Ridaura, S., Barbier, J.-M., Wery, J., 2013. Prospective and participatory integrated assessment of agricultural systems from farm to regional scales: Comparison of three modeling approaches. *J. Environ. Manage.* 129, 493–502. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.08.001>

Demiryürek, K., Ceyhan, V., Bozoğlu, M., 2012. Risk Attitudes of Organic and Conventional Hazelnut Producers in Turkey. *Hum. Ecol. Risk Assess.* 18, 471–482. <https://doi.org/10.1080/10807039.2012.652475>

Dendoncker, N., Boeraeve, F., Crouzat, E., Dufrêne, M., König, A., Barnaud, C., 2018. How can integrated valuation of ecosystem services help understanding and steering agroecological transitions? *Ecol. Soc.* 23, <https://doi.org/10.5751/ES-09843-230112>

Dogliotti, S., van Ittersum, M.K., Rossing, W.A.H., 2006. Influence of farm resource endowment on possibilities for sustainable development: A case study for vegetable farms in South Uruguay. *J. Environ. Manage.* 78, 305–315. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.04.025>

Dolisca, F., McDaniel, J.M., Shannon, D.A., Jolly, C.M., 2009. Modeling farm households for estimating the efficiency of policy instruments on sustainable land use in Haiti. *Land Use Policy*. 26, 130–138. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2008.01.007>

Doré, T., Makowski, D., Malézieux, E., Munier-Jolain, N., Tchamitchian, M., Titttonell, P., 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. *Eur. J. Agron.* 34, 197-210. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.006>

Dorey, E., Cambournac, T., Michels, T., Rothe, M., Tixier, P., 2018. Designing new management sequences for pineapple production using the SIMPIÑA model. *Agric. Syst.* 159, 50-56. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.10.006>

Dougill, A.J., Fraser, E.D.G., Holden, J., Hubacek, K., Prell, C., Reed, M.S., Stagl, S., Stringer, L.C., 2006. Learning from Doing Participatory Rural Research: Lessons from the Peak District National Park. *J. Agr. Econ.* 57, 259-275. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9552.2006.00051.x>

Dumont, A.M., Vanloqueren, G., Stassart, P.M., Baret, P.V., 2016. Clarifying the socioeconomic dimensions of agroecology: between principles and practices. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 40, 24-47. <https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1089967>

Dumont, B., Fortun-Lamothe, L., Jouven, M., Thomas, M., Tichit, M., 2013. Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century. *Animal.* 7, 1028-1043. <https://doi.org/10.1017/S1751731112002418>

Dupré, M., Michels, T., Le Gal, P.-Y., 2017. Diverse dynamics in agroecological transitions on fruit tree farms. *Eur. J. Agron.* 90, 23-33. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.07.002>

Duru, M., Fares, M.h., 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., Martin, G., Martin-Clouaire, R., Magne, M.-A., Justes, E., Journet, E.-P., Aubertot, J.-N., Savary, S., Bergez, J.-E., Sarthou, J.P., 2015a. 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>

Duru, M., Therond, O., Fares, M.h., 2015b. Designing agroecological transitions; A review. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 1237-1257. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0318-x>

Eisenhardt, K.M., Graebner, M.E., 2007. Theory building from cases: Opportunities and challenges. *Acad. Manage. J.* 50, 25-32. <https://doi.org/10.5465/AMJ.2007.24160888>

Engel, S., Pagiola, S., Wunder, S., 2008. Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues. *Ecol. Econ.* 65, 663-674. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.03.011>

Epule, T.E., Bryant, C.R., 2016. The adoption of agroecology and conventional farming techniques varies with socio-demographic characteristics of small-scale farmers in the Fako and Meme divisions of Cameroon. *GeoJournal.* 1-20. <https://doi.org/10.1007/s10708-016-9734-y>

Eurostat, 2017. Agri-environmental indicator - commitments. [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agri-environmental indicator - commitments](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agri-environmental_indicator_-_commitments) (accessed 16.08.18).

Ewert, F., van Ittersum, M.K., Heckelee, T., Therond, O., Bezlepikina, I., Andersen, E., 2011. Scale changes and model linking methods for integrated assessment of agri-environmental systems. *Agric., Ecosyst. Environ.* 142, 6-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2011.05.016>

Fairweather, J.R., 1999. Understanding how farmers choose between organic and conventional production: Results from New Zealand and policy implications. *Agr. Human Values.* 16, 51-63. <https://doi.org/10.1023/A:1007522819471>

Fairweather, J.R., Campbell, H.R., 2003. Environmental beliefs and farm practices of New Zealand farmers Contrasting pathways to sustainability. *Agr. Human Values.* 20, 287-300. <https://doi.org/10.1023/A:1026148613240>

Fairweather, J.R., Keating, N.C., 1994. Goals and management styles of New Zealand farmers. *Agric. Syst.* 44, 181-200. [http://dx.doi.org/10.1016/0308-521X\(94\)90160-H](http://dx.doi.org/10.1016/0308-521X(94)90160-H)

Falconer, K., Hodge, I., 2001. Pesticide taxation and multi-objective policy-making: farm modelling to evaluate profit/environment trade-offs. *Ecol. Econ.* 36, 263-279. [http://doi.org/10.1016/S0921-8009\(00\)00236-6](http://doi.org/10.1016/S0921-8009(00)00236-6)

Fares, M.h., Magrini, M.-B., Triboulet, P., 2012. Agroecological transition, innovation and lock-in effects: The impact of the organizational design of supply chains. The French Durum wheat supply chain case. 21, 34-45. <https://doi.org/10.1684/agr.2012.0539>

Feike, T., Chen, Q., Graeff-Hönniger, S., Pfenning, J., Claupein, W., 2010. Farmer-developed vegetable intercropping systems in southern Hebei, China. *Renew. Agric. Food Syst.* 25, 272-280. <https://doi.org/10.1017/S1742170510000293>

Francis, C., Lieblein, G., Gliessman, S., Breland, T.A., Creamer, N., Harwood, R., Salomonsson, L., Helenius, J., Rickerl, D., Salvador, R., Wiedenhoeft, M., Simmons, S., Allen, P., Altieri, M., Flora, C., Poincelot, R., 2003. Agroecology: The Ecology of Food Systems. *J. Sustainable Agric.* 22, 99-118. https://doi.org/10.1300/J064v22n03_10

Gardebreek, C., 2006. Comparing risk attitudes of organic and non-organic farmers with a Bayesian random coefficient model. *Europ. Rev. Agr. Econ.* 33, 485-510. <https://doi.org/10.1093/erae/jbl029>

Géoconfluences, 2018. Ressources de géographie pour les enseignants. ENS Lyon. <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/systeme-productif> (accessed 11.09.18).

Gil, j.m., Gracia, A., Sánchez, M., 2000. Market segmentation and willingness to pay for organic products in Spain. *The International Food and Agribusiness Management Review.* 3, 207-226. [https://doi.org/10.1016/S1096-7508\(01\)00040-4](https://doi.org/10.1016/S1096-7508(01)00040-4)

Girard, N., Duru, M., Hazard, L., Magda, D., 2008. Categorising farming practices to design sustainable land-use management in mountain areas. *Agron. Sustain. Dev.* 28, 333-343. <https://doi.org/10.1051/agro:2007046>

Gisclard, M., Chantre, É., Cerf, M., Guichard, L., 2015. Co-click'eau: une démarche d'intermédiation pour la construction d'une action collective locale? *Nat. Sci. Soc.* 23, 3-13. <https://doi.org/10.1051/nss/2015003>

Gliessman, S.R., 2006. Agroecology: the ecology of sustainable food systems, C. press (Ed.)

Goldberger, J.R., Lehrer, N., 2016. Biological control adoption in western U.S. orchard systems: Results from grower surveys. *Biol. Control.* 102, 101-111. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.09.004>

Goldberger, J.R., Lehrer, N., Brunner, J.F., 2013. Adoption of Organophosphate Alternatives in Washington Apple IPM Programs: Survey Evidence From Pest Management Consultants and Growers. *J. Integr. Pest Manag.* 4, 1-8. <https://doi.org/10.1603/ipm12023>

Goulet, F., 2013. Narratives of experience and production of knowledge within farmers' groups. *J. Rural. Stud.* 32, 439-447. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2013.09.006>

Graciot, Y., Costa-Migeon, S., Scandella, D., Sirieix, L., 2015. Consentement à payer pour des pêches conventionnelles et biologiques : n'y a-t-il que le physique qui compte ? *Journée du Marketing Agroalimentaire.* 1-22.

Grisoni, M., Bertin, Y., Didier, C., Ducelier, D., Pruvost, O., Quilici, S., 1993. La culture des agrumes à l'île de la Réunion, CIRAD-FLHOR (Ed.) Ste Clotilde, France.

Grover, S., Gruver, J., 2017. 'Slow to change': Farmers' perceptions of place-based barriers to sustainable agriculture. *Renew. Agric. Food Syst.* 32, 511-523. <https://doi.org/10.1017/S1742170516000442>

Guichard, L., Dedieu, F., Jeuffroy, M.-H., Meynard, J.-M., Reau, R., Savini, I., 2017. Le plan Ecophyto de réduction d'usage des pesticides en France: décryptage d'un échec et raisons d'espérer. *Cah. Agric.* 26, 14002. <https://doi.org/10.1051/cagri/2017004>

Guthman, J., 2000a. Raising organic: An agro-ecological assessment of grower practices in California. *Agr. Human Values.* 17, 257-266. <https://doi.org/10.1051/cagri/201700410.1023/A:1007688216321>

Guthman, J., 2000b. Raising organic: An agro-ecological assessment of grower practices in California. *Agr. Human Values.* 17, 257-266. <https://doi.org/10.1023/A:1007688216321>

Hazell, P., Wood, S., 2008. Drivers of change in global agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 363, 495-515. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2166>

Heinze, S., Vogel, A., 2014. Reversion from organic to conventional agriculture in Germany. *Proceedings of the 4th ISOFAR Scientific Conference. 'Building Organic Bridges', at the Organic World Congress*. 2, 347-350. https://doi.org/10.3220/REP_20_1_2014

Hellweg, S., Milà i Canals, L., 2014. Emerging approaches, challenges and opportunities in life cycle assessment. *Science*. 344, 1109-1113. <https://doi.org/10.1126/science.1248361>

Herrero, M., Thornton, P.K., Bernués, A., Baltenweck, I., Vervoort, J., van de Steeg, J., Makokha, S., van Wijk, M.T., Karanja, S., Rufino, M.C., Staal, S.J., 2014. Exploring future changes in smallholder farming systems by linking socio-economic scenarios with regional and household models. *Global Environ. Change*. 24, 165-182. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.12.008>

Herrero, M., Thornton, P.K., Notenbaert, A.M., Wood, S., Msangi, S., Freeman, H.A., Bossio, D., Dixon, J., Peters, M., van de Steeg, J., Lynam, J., Rao, P.P., Macmillan, S., Gerard, B., McDermott, J., Seré, C., Rosegrant, M., 2010. Smart Investments in Sustainable Food Production: Revisiting Mixed Crop-Livestock Systems. *Science*. 327, 822-825. <https://doi.org/10.1126/science.1183725>

Hill, S.B., MacRae, R.J., 1995. Conceptual Framework for the Transition from Conventional to Sustainable Agriculture. *J. Sustainable Agric.* 7, 81-87. https://doi.org/10.1300/J064v07n01_07

HLPE, 2014. Food losses and waste in the context of sustainable food systems. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome. <http://www.fao.org/3/a-i3901e.pdf> (accessed 27.08.18).

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'. *Global Environ. Change*. 21, 441-452. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.01.004>

Hossard, L., Jeuffroy, M.H., Pelzer, E., Pinochet, X., Souchere, V., 2013. A participatory approach to design spatial scenarios of cropping systems and assess their effects on phoma stem canker management at a regional scale. *Environ. Model. Software*. 48, 17-26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.05.014>

Houdart, M., Bonin, M., Compagnone, C., 2007. Organisation sociale et organisation spatiale: apprécier le potentiel d'un groupe à l'innovation agro-écologique. *Etude de cas en zone bananière*. 47th European Congress of the Regional Science Association.

Hunt, A.R., 2007. Consumer interactions and influences on farmers' market vendors. *Renew. Agric. Food Syst.* 22, 54-66. <https://doi.org/10.1017/S1742170507001597>

Iles, A., Marsh, R., 2012. Nurturing Diversified Farming Systems in Industrialized Countries: How Public Policy Can Contribute. *Ecol. Soc.* 17(4):42, <https://doi.org/10.5751/ES-05041-170442>

ITAB, 2005. Produire des agrumes en agriculture biologique. *TENCHN'ITAB arboriculture*.

Jacquemond, C., Curk, F., Heuzet, M., 2013. Les clémentiniers et autres petits agrumes, Quae (Ed.)

Jakeman, A.J., Letcher, R.A., Norton, J.P., 2006. Ten iterative steps in development and evaluation of environmental models. *Environ. Model. Software*. 21, 602-614. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.01.004>

Janssen, S., van Ittersum, M.K., 2007. Assessing farm innovations and responses to policies: A review of bio-economic farm models. *Agric. Syst.* 94, 622-636. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2007.03.001>

Josse, J.H., F., 2008. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *J. Stats. Softw.* 25, 1-18. <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>

Kanellopoulos, A., Berentsen, P., Heckeley, T., Van Ittersum, M., Lansink Alfons, O., 2010. Assessing the Forecasting Performance of a Generic Bio-Economic Farm Model Calibrated With Two Different PMP Variants. *J. Agr. Econ.* 61, 274-294. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9552.2010.00241.x>

Kanellopoulos, A., Reidsma, P., Wolf, J., van Ittersum, M.K., 2014. Assessing climate change and associated socio-economic scenarios for arable farming in the Netherlands: An application of

benchmarking and bio-economic farm modelling. *Eur. J. Agron.* 52, Part A, 69-80. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2013.10.003>

Kerselaers, E., De Cock, L., Lauwers, L., Van Huylenbroeck, G., 2007. Modelling farm-level economic potential for conversion to organic farming. *Agric. Syst.* 94, 671-682. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2007.02.007>

Klages, K., 1928. Crop ecology and ecological crop geography in the agronomic curriculum. *Journal of the American Society of Agronomy.*

Klerkx, L., Jansen, J., 2010. Building knowledge systems for sustainable agriculture: supporting private advisors to adequately address sustainable farm management in regular service contacts. *Int. J. Agr. Sustain.* 8, 148-163. <https://doi.org/10.3763/ijas.2009.0457>

Knowler, D., Bradshaw, B., 2007. Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. *Food Policy.* 32, 25-48. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2006.01.003>

Köbrich, C., Rehman, T., Khan, M., 2003. Typification of farming systems for constructing representative farm models: two illustrations of the application of multi-variate analyses in Chile and Pakistan. *Agric. Syst.* 76, 141-157. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00013-6](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00013-6)

Kremen, C., Iles, A., Bacon, C., 2012. Diversified Farming Systems: An Agroecological, Systems-based Alternative to Modern Industrial Agriculture. *Ecol. Soc.* 17(14): 44. <https://doi.org/10.5751/ES-05103-170444>

Kruseman, G., Bade, J., 1998. Agrarian policies for sustainable land use: bio-economic modelling to assess the effectiveness of policy instruments. *Agric. Syst.* 58, 465-481. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(98\)00041-9](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(98)00041-9)

Kuivanen, K.S., Alvarez, S., Michalscheck, M., Adjei-Nsiah, S., Descheemaeker, K., Mellon-Bedi, S., Groot, J.C.J., 2016. Characterising the diversity of smallholder farming systems and their constraints and opportunities for innovation: A case study from the Northern Region, Ghana. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences.* 78, 153-166. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2016.04.003>

Lachman, D.A., 2013. A survey and review of approaches to study transitions. *Energy Policy.* 58, 269-276. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.03.013>

Lamine, C., 2011. Transition pathways towards a robust ecologization of agriculture and the need for system redesign. Cases from organic farming and IPM. *J. Rural. Stud.* 27, 209-219. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2011.02.001>

Landais, E., 1998. Modelling farm diversity: new approaches to typology building in France. *Agric. Syst.* 58, 505-527. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(98\)00065-1](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(98)00065-1)

Le Bellec, F., Rajaud, A., Ozier-Lafontaine, H., Bockstaller, C., Malezieux, E., 2012. Evidence for farmers' active involvement in co-designing citrus cropping systems using an improved participatory method. *Agron. Sustain. Dev.* 32, 703-714. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0070-9>

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.agsy.2011.07.007>

Le Gal, P.-Y., Merot, A., Moulin, C.-H., Navarrete, M., Wery, J., 2010. A modelling framework to support farmers in designing agricultural production systems. *Environ. Model. Software.* 25, 258-268. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.12.013>

Le Gal, P.Y., Lyne, P.W.L., Meyer, E., Soler, L.G., 2008. Impact of sugarcane supply scheduling on mill sugar production: A South African case study. *Agric. Syst.* 96, 64-74. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2007.05.006>

Leenhardt, D., Therond, O., Cordier, M.-O., Gascuel-Odoux, C., Reynaud, A., Durand, P., Bergez, J.-E., Clavel, L., Masson, V., Moreau, P., 2012. A generic framework for scenario exercises using models applied to water-resource management. *Environ. Model. Software.* 37, 125-133. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.03.010>

Lien, G., Flaten, O., Jervell, A.M., Ebbesvik, M., Koesling, M., Valle, P.S., 2006. Management and Risk Characteristics of Part-Time and Full-Time Farmers in Norway. *Appl. Econ. Perspect.* P. 28, 111-131. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9353.2006.00276.x>

Louhichi, K., Kanellopoulos, A., Janssen, S., Flichman, G., Blanco, M., Hengsdijk, H., Heckeley, T., Berentsen, P., Lansink, A.O., Ittersum, M.V., 2010. FSSIM, a bio-economic farm model for simulating the response of EU farming systems to agricultural and environmental policies. *Agric. Syst.* 103, 585-597. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agry.2010.06.006>

Lyon, F., 1996. How farmers research and learn: The case of arable farmers of East Anglia, UK. *Agr. Human Values.* 13, 39-47. <https://doi.org/10.1007/BF01530522>

MacRae, R., Martin, R.C., Juhasz, M., Langer, J., 2009. Ten percent organic within 15 years: Policy and program initiatives to advance organic food and farming in Ontario, Canada. *Renew. Agric. Food Syst.* 24, 120-136. <https://doi.org/10.1017/S1742170509002531>

Magrini, M.-B., Anton, M., Cholez, C., Corre-Hellou, G., Duc, G., Jeuffroy, M.-H., Meynard, J.-M., Pelzer, E., Voisin, A.-S., Walrand, S., 2016. Why are grain-legumes rarely present in cropping systems despite their environmental and nutritional benefits? Analyzing lock-in in the French agrifood system. *Ecol. Econ.* 126, 152-162. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.03.024>

Martin, P., Bouty, C., Barbottin, A., Bail, M.I., 2014. Diversifying strategies of agricultural cooperatives towards agroecological transition. 11th European IFSA Symposium. Farming systems facing global challenges : Capacities and strategies, 76-84.

Merot, A., Wery, J., 2017. Converting to organic viticulture increases cropping system structure and management complexity. *Agron. Sustain. Dev.* 37, 19. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0427-9>

Meynard, J.-M., Jeuffroy, M.-H., Le Bail, M., Lefèvre, A., Magrini, M.-B., Michon, C., 2017. Designing coupled innovations for the sustainability transition of agrifood systems. *Agric. Syst.* 157, 330-339. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2016.08.002>

Migliorini, P., Wezel, A., 2017. Converging and diverging principles and practices of organic agriculture regulations and agroecology. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 37, 63. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0472-4>

Mili, S., Judez, L., De Andres, R., 2017. Investigating the impacts of EU CAP reform 2014-20 and developments in sustainable olive farming systems. *New Medit.* 16, 2-10.

Morgan-Davies, C., Wilson, R., Waterhouse, T., 2017. Impacts of farmers' management styles on income and labour under alternative extensive land use scenarios. *Agric. Syst.* 155, 168-178. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.04.011>

Navarrete, M., 2009. How do Farming Systems Cope with Marketing Channel Requirements in Organic Horticulture? The Case of Market-Gardening in Southeastern France. *J. Sustainable Agric.* 33, 552-565. <https://doi.org/10.1080/10440040902997785>

Navarrete, M., Dupré, L., Lamine, C., 2015. Crop management, labour organization, and marketing: three key issues for improving sustainability in organic vegetable farming. *Int. J. Agr. Sustain.* 13, 257-274. <https://doi.org/10.1080/14735903.2014.959341>

Nave, S., Jacquet, F., Jeuffroy, M.-H., 2013. Why wheat farmers could reduce chemical inputs: evidence from social, economic, and agronomic analysis. *Agron. Sustain. Dev.* 33, 795-807. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0144-y>

Norton, R.D., Hazell, P.B., 1986. Mathematical programming for economic analysis in agriculture, M. USA (Ed.)

O'Kane, G., 2011. What is the real cost of our food? Implications for the environment, society and public health nutrition. *Public Health Nutrition.* 15, 268-276. <https://doi.org/10.1017/S136898001100142X>

Oerlemans, N., Assouline, G., 2004. Enhancing farmers' networking strategies for sustainable development. A modified version of this paper was presented at the 15th ESEE Conference, August 2001,

Wageningen, The Netherlands. *Journal of Cleaner Production*. 12, 469-478. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(03\)00105-7](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(03)00105-7)

Osty, P.-L., 1978. L'exploitation agricole vue comme un système. Diffusion de l'innovation et contribution au développement. *Bulletin technique d'information*. 326, 43-49.

Ouédraogo, M., Zougmore, R., Moussa, A.S., Partey, S.T., Thornton, P.K., Kristjanson, P., Ndour, N.Y.B., Somé, L., Naab, J., Boureima, M., Diakit, L., Quiros, C., 2017. Markets and climate are driving rapid change in farming practices in Savannah West Africa. *Regional Environmental Change*. 17, 437-449. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-1029-9>

Outre-Mer, M.d., 2016. La Réunion - Economie. <http://www.outre-mer.gouv.fr/la-reunion-economie> (accessed 16.08.18).

Pacini, C., Giesen, G., Wossink, A., Omodei-Zorini, L., Huirne, R., 2004a. The EU's Agenda 2000 reform and the sustainability of organic farming in Tuscany: ecological-economic modelling at field and farm level. *Agric. Syst.* 80, 171-197. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2003.07.002>

Pacini, C., Wossink, A., Giesen, G., Huirne, R., 2004b. Ecological-economic modelling to support multi-objective policy making: a farming systems approach implemented for Tuscany. *Agric., Ecosyst. Environ.* 102, 349-364. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2003.08.010>

Pannell, D.J., Marshall, G.R., Barr, N., Curtis, A., Vanclay, F., Wilkinson, R., 2006. Understanding and promoting adoption of conservation practices by rural landholders. *Aust. J. Exp. Agr.* 46, 1407-1424. <https://doi.org/10.1071/EA05037>

Pardo, G., Rivarololona, M., Munier-Jolain, N.M., 2010. Using a farming system model to evaluate cropping system prototypes: Are labour constraints and economic performances hampering the adoption of Integrated Weed Management? *Eur. J. Agron.* 33, 24-32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2010.02.003>

Patel, M., Kok, K., Rothman, D.S., 2007. Participatory scenario construction in land use analysis: An insight into the experiences created by stakeholder involvement in the Northern Mediterranean. *Land Use Policy*. 24, 546-561. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2006.02.005>

Payraudeau, S., van der Werf, H.M.G., 2005. Environmental impact assessment for a farming region: a review of methods. *Agric., Ecosyst. Environ.* 107, 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.12.012>

Petit, C., 2013. Transitions des exploitations agricoles vers l'agriculture biologique dans un territoire: approche par les interactions entre systèmes techniques et de commercialisation. Application aux aires d'alimentation de captages en Île-de-France. AgroParisTech (Thesis).

Pissonnier, S., 2017. Comprendre et accompagner l'évolution des stratégies de conduite des vergers dans les exploitations arboricoles : application à la protection phytosanitaire de la pomme en France. Montpellier Supagro (Thesis).

Pissonnier, S., Lavigne, C., Toubon, J.F., Le Gal, P.Y., 2016. Factors driving growers' selection and implementation of an apple crop protection strategy at the farm level. *Crop Protect.* 88, 109-117. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.06.007>

Probst, L., Adoukonou, A., Amankwah, A., Diarra, A., Vogl, C.R., Hauser, M., 2012. Understanding change at farm level to facilitate innovation towards sustainable plant protection: a case study at cabbage production sites in urban West Africa. *Int. J. Agr. Sustain.* 10, 40-60. <https://doi.org/10.1080/14735903.2012.649589>

Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J., Habib, R., 2012. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 32, 273-303. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0022-4>

Rebuffel, P., Lemoine, C., Faure, G., 2015. Le difficile accès au conseil pour les petites exploitations agricoles : le cas de Mayotte. *Cah. Agric.* 24, 269-276. <https://doi.org/10.1684/agr.2015.0771>

RECAP, 2017. Reinforcing CAP. Agri-environmental schemes : impacts on the agricultural environment. <https://www.recap-h2020.eu/agri-environmental-schemes-impacts-on-agricultural-environment/> (accessed 16.08.18).

Reckling, M., Hecker, J.-M., Bergkvist, G., Watson, C.A., Zander, P., Schläfke, N., Stoddard, F.L., Eory, V., Topp, C.F.E., Maire, J., Bachinger, J., 2016. A cropping system assessment framework—Evaluating effects of introducing legumes into crop rotations. *Eur. J. Agron.* 76, 186-197. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.11.005>

Reed, M.S., 2008. Stakeholder participation for environmental management: A literature review. *Biol. Conserv.* 141, 2417-2431. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.07.014>

Ribal, J., Ramírez-Sanz, C., Estruch, V., Clemente, G., Sanjuán, N., 2017. Organic versus conventional citrus. Impact assessment and variability analysis in the Comunitat Valenciana (Spain). *The International Journal of Life Cycle Assessment.* 22, 571-586. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1048-2>

Ridier, A., Ben El Ghali, M., Nguyen, G., Kephaliacos, C., 2013. The role of risk aversion and labor constraints in the adoption of low input practices supported by the CAP green payments in cash crop farms. *Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement.* 94, 195-219. <https://doi.org/10.4074/S1966960713012034>

Roesch-McNally, G.E., Basche, A.D., Arbuckle, J.G., Tyndall, J.C., Miguez, F.E., Bowman, T., Clay, R., 2017. The trouble with cover crops: Farmers' experiences with overcoming barriers to adoption. *Renew. Agric. Food Syst.* 1-12. <https://doi.org/10.1017/S1742170517000096>

Rosset, P.M., Altieri, M.A., 1997a. Agroecology versus input substitution: A fundamental contradiction of sustainable agriculture. *Soc. Nat. Resour.* 10, 283-295. <https://doi.org/10.1080/08941929709381027>

Rosset, P.M., Altieri, M.A., 1997b. Agroecology versus input substitution: A fundamental contradiction of sustainable agriculture. *Soc. Nat. Resour.* 10, 283-295. <https://doi.org/10.1080/08941929709381027>

Rossing, W.A.H., Jansma, J.E., De Ruijter, F.J., Schans, J., 1997. Operationalizing sustainability: exploring options for environmentally friendly flower bulb production systems. *Eur. J. Plant Pathol.* 103, 217-234. <https://doi.org/10.1023/a:1008609624648>

Rundgren, G., 2016. Food: From Commodity to Commons. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics.* 29, 103-121. <https://doi.org/10.1007/s10806-015-9590-7>

Salembier, C., Elverdin, J.H., Meynard, J.-M., 2015. Tracking on-farm innovations to unearth alternatives to the dominant soybean-based system in the Argentinean Pampa. *Agron. Sustain. Dev.* 36, 1. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0343-9>

Schmid, E., Sinabell, F., Hofreither, M.F., 2007. Phasing out of environmentally harmful subsidies: Consequences of the 2003 CAP reform. *Ecol. Econ.* 60, 596-604. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.12.017>

Sebillotte, M., 1974. *Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome.* Cah. ORSTOM, sér. Biol. 3-25.

Sebillotte, M., 1990. *Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes.* Les systèmes de culture, INRA (Ed.) Versailles.

Semaan, J., Flichman, G., Scardigno, A., Steduto, P., 2007. Analysis of nitrate pollution control policies in the irrigated agriculture of Apulia Region (Southern Italy): A bio-economic modelling approach. *Agric. Syst.* 94, 357-367. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2006.10.003>

Sempore, A.W., Andrieu, N., Nacro, H.B., Sedogo, M.P., Le Gal, P.-Y., 2015. Relevancy and role of whole-farm models in supporting smallholder farmers in planning their agricultural season. *Environ. Model. Software.* 68, 147-155. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.02.015>

Sfé², 2018. Analyse de la transition vers l'agriculture biologique. <https://www.sfecologie.org/regard/r79-mai-2018-levrel-et-couvet-agriculture-biologique/> (accessed 20.07.18).

Simon, S., Lesueur-Jannoyer, M., Plénet, D., Lauri, P.-É., Le Bellec, F., 2017. Methodology to design agroecological orchards: Learnings from on-station and on-farm experiences. *Eur. J. Agron.* 82, Part B, 320-330. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.09.004>

Sipiläinen, T., Huhtala, A., 2013. Opportunity costs of providing crop diversity in organic and conventional farming: would targeted environmental policies make economic sense? *Europ. Rev. Agr. Econ.* 40, 441-462. <https://doi.org/10.1093/erae/jbs029>

Smith, E., Marsden, T., 2004. Exploring the 'limits to growth' in UK organics: beyond the statistical image. *J. Rural. Stud.* 20, 345-357. [https://doi.org/10.1016/S0743-0167\(03\)00044-5](https://doi.org/10.1016/S0743-0167(03)00044-5)

Smukler, S.M., Jackson, L.E., Murphree, L., Yokota, R., Koike, S.T., Smith, R.F., 2008. Transition to large-scale organic vegetable production in the Salinas Valley, California. *Agric., Ecosyst. Environ.* 126, 168-188. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2008.01.028>

Soste, L., Wang, Q.J., Robertson, D., Chaffe, R., Handley, S., Wei, Y., 2015. Engendering stakeholder ownership in scenario planning. *Technol. Forecast. Soc. Change.* 91, 250-263. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2014.03.002>

Stiglitz, J.E., 1987. Some theoretical aspects of agricultural policies. *The World Bank Research Observer.* 2, 43-60. <https://doi.org/10.1093/wbro/2.1.43>

Stolze, M., Lampkin, N., 2009. Policy for organic farming: Rationale and concepts. *Food Policy.* 34, 237-244. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2009.03.005>

Sutherland, L.-A., 2011. "Effectively organic": Environmental gains on conventional farms through the market? *Land Use Policy.* 28, 815-824. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.01.009>

Sutherland, L.A., Burton, R.J., Ingram, J., Blackstock, K., Slee, B., Gotts, N., 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>

Therond, O., Belhouichette, H., Janssen, S., Louhichi, K., Ewert, F., Bergez, J.-E., Wery, J., Heckelet, T., Olsson, J.A., Leenhardt, D., Van Ittersum, M., 2009. Methodology to translate policy assessment problems into scenarios: the example of the SEAMLESS integrated framework. *Environmental Science & Policy.* 12, 619-630. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.01.013>

Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., Antonio, C., Dobson, A., Howarth, R., Schindler, D., Schlesinger, W.H., Simberloff, D., Swackhamer, D., 2001. Forecasting Agriculturally Driven Global Environmental Change. *Science.* 292, 281. <https://doi.org/10.1126/science.1057544>

Toffolini, Q., Jeuffroy, M.-H., Prost, L., 2015. Indicators used by farmers to design agricultural systems: a survey. *Agron. Sustain. Dev.* 36, 5. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0340-z>

Van Ittersum, M.K., Ewert, F., Heckelet, T., Wery, J., Olsson, J.A., Andersen, E., Bezlepina, I., Brouwer, F., Donatelli, M., Flichman, G., 2008. Integrated assessment of agricultural systems—A component-based framework for the European Union (SEAMLESS). *Agric. Syst.* 96, 150-165. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2007.07.009>

Van Ittersum, M.K., Rabbinge, R., Van Latesteijn, H.C., 1998. Exploratory land use studies and their role in strategic policy making. *Agric. Syst.* 58, 309-330. [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-521X\(98\)00033-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-521X(98)00033-X)

Van Ittersum, M.K., Roetter, R.P., Van Keulen, H., De Ridder, N., Hoanh, C.T., Laborte, A.G., Aggarwal, P.K., Ismail, A.B., Tawang, A., 2004. A systems network (SysNet) approach for interactively evaluating strategic land use options at sub-national scale in South and South-east Asia. *Land Use Policy.* 21, 101-113. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2004.02.001>

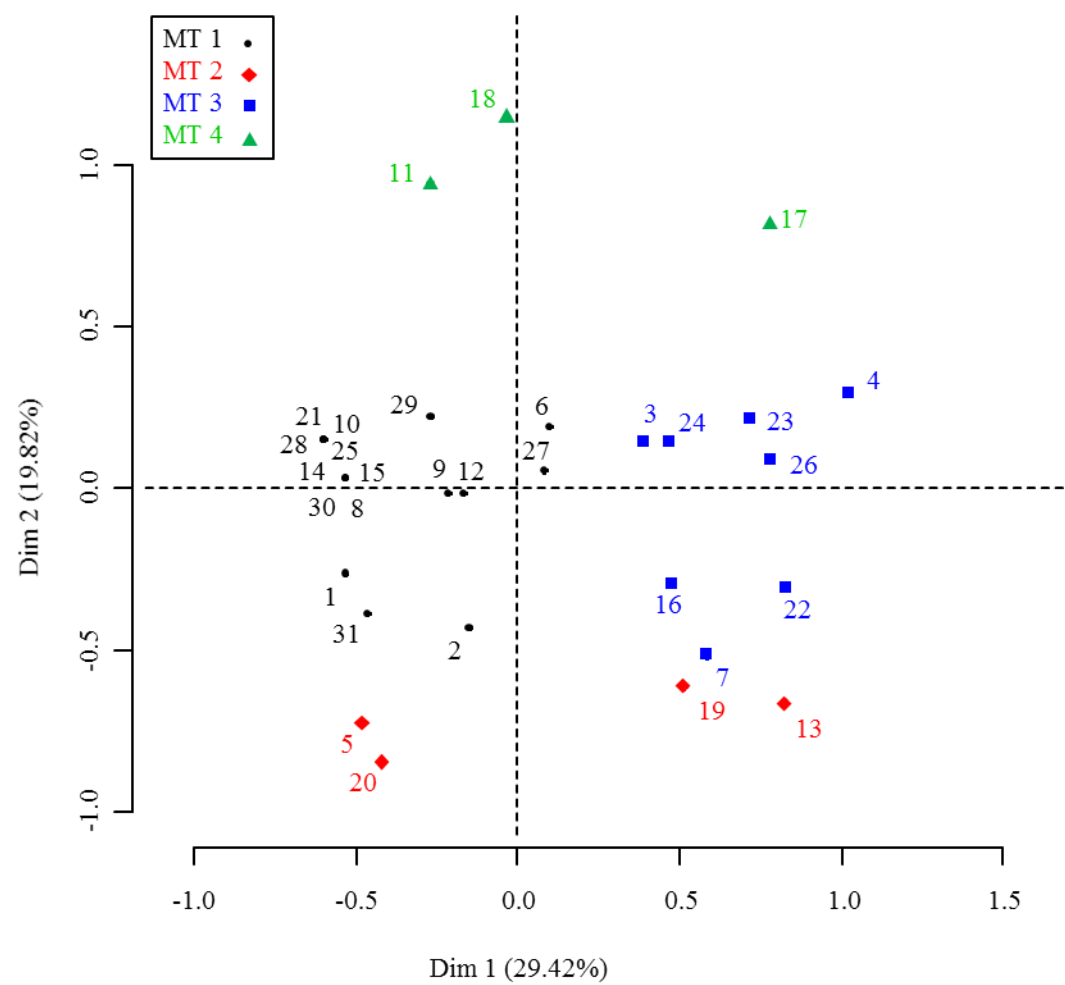
Vayssières, J., Vigne, M., Alary, V., Lecomte, P., 2011. Integrated participatory modelling of actual farms to support policy making on sustainable intensification. *Agric. Syst.* 104, 146-161. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2010.05.008>

Veysset, P., Bebin, D., Lherm, M., 2005. Adaptation to Agenda 2000 (CAP reform) and optimisation of the farming system of French suckler cattle farms in the Charolais area: a model-based study. *Agric. Syst.* 83, 179-202. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2004.03.006>

- Voinov, A., Bousquet, F., 2010. Modelling with stakeholders. *Environ. Model. Software*. 25, 1268-1281. <http://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.03.007>
- Wagner, C.H., Cox, M., Bazo Robles, J.L., 2016. Pesticide lock-in in small scale Peruvian agriculture. *Ecol. Econ.* 129, 72-81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.05.013>
- Walz, A., Lardelli, C., Behrendt, H., Grêt-Regamey, A., Lundström, C., Kytzia, S., Bebi, P., 2007. Participatory scenario analysis for integrated regional modelling. *Landscape Urban Plann.* 81, 114-131. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.11.001>
- Warner, K.D., 2006. Extending agroecology: Grower participation in partnerships is key to social learning. *Renew. Agric. Food Syst.* 21, 84-94. <https://doi.org/10.1079/RAF2005131>
- Warner, K.D., 2007. The quality of sustainability: Agroecological partnerships and the geographic branding of California winegrapes. *J. Rural. Stud.* 23, 142-155. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2006.09.009>
- Weiner, J., 2003. Ecology—the science of agriculture in the 21st century. *The Journal of Agricultural Science*. 141, 371-377. <https://doi.org/10.1017/S0021859603003605>
- Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J.-F., Ferrer, A., Peigné, J., 2014. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 34, 1-20. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0180-7>
- Wier, M., Andersen, J.M., Jensen, J.D., Jensen, T.C., 2002. The EU's Agenda 2000 reform for the agricultural sector: environmental and economic effects in Denmark. *Ecol. Econ.* 41, 345-359. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00024-1](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00024-1)

Annexes

Annexe 1 : “Supplementary materials” du chapitre 2



Suppl. Mat. 1: Representation of the CAH four management clusters on the MCA first factorial plan

Annexe 2 : “Supplementary materials” du chapitre 3

Suppl. Mat. 1: Description of the farm sample with farm characteristics and number of cases surveyed. Zones: (1) South-west > 600m; (2) South-west 300-600m; (3) South > 500m; (4) West > 600m; (5) West < 600m; (6) South 300-500m; (7) South <300m; (8) East (mountains). Market: (1) Local retailers; (2) Cooperatives; (3) Direct selling; (4) Juice industry

Farm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	Total
Zone	4	3	7	2	7	1	6	5	6	5	7	7	5	6	7	7	7	5	7	7	7	8	8	7	5	6	8	6	
Farm area	3	3,5	1	1,5	6,5	12	3,5	8,8	4	5	6,5	2,4	5	7,9	8	12	6	7	1	22	5	5	4	1	2,5	14	9	15	
Certification			OF	OF			OF					OF							OF							OF			
Markets	1	2	3	3	1;3;4	2	3	1	1;4	1	1	3	1	2	3	1	2	1	2	2;4	2	2;3	3	2	1	2	2	2;4	
Citrus	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	28
Tomato							1	1					2				1			2	2								9
Passion fruit						1									1		2			2						1		1	8
Peach				1		1			1										1			1	1						6
Mango		1				1		1					1				1												5
Papaya						1		1		1			1	1															5
Pineapple														1						1		1	1			1			5
Banana				1										1									1				1		4
Ginger					1							1		1		1													4
Chilli																								1		1	1		3
Letchi		1							1	1																			3
Avocado			1	1																									2
Christophine																						1					1		2
Sugarcane																		1										1	2
Strawberry	1														1														2
Thyme																		1							1				2
Maize																						1							1
Persimmon											1																		1
Pumpkin										1																			1
Total crops	2	3	2	4	2	5	2	4	3	4	2	2	5	5	3	2	5	3	2	6	3	5	4	2	2	4	4	3	93
Livestock												x			x			x				x						x	

Suppl. Mat. 2: Biological features of the 19 crops studied. High sensitivity or needs are indicated with “+” and low sensitivity or needs with “-”. Sensitivity to fruit and vegetable flies (the main pests in the study area) and sensitivity to weed competition are based on expert knowledge. Nutrient needs are based on data from Chambers of Agriculture [Ferti-RUN software (<http://www.mvad-reunion.org/spip.php?article107>), accessed 30.08.18].

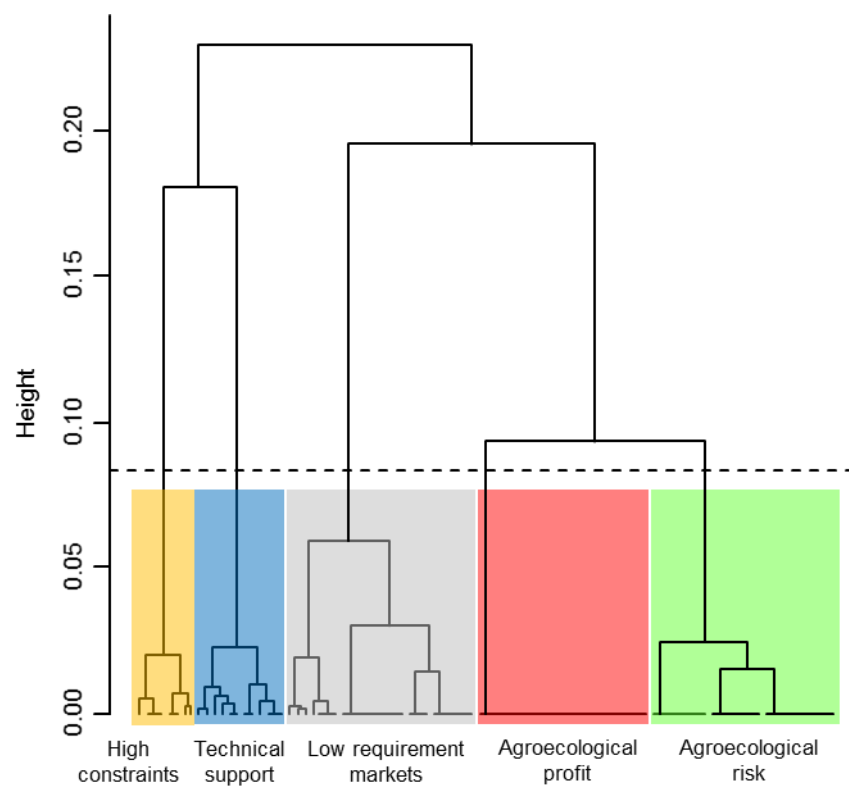
	Sensitivity to (fruit and vegetable) flies	Nutrient needs	Sensitivity to weed competition
Avocado	+	+	-
Banana	-	+	-
Chilli	+	+	+
Christophine	+	+	-
Citrus	+	+	-
Ginger	-	+	+
Letchi	-	-	-
Maize	-	+	+
Mango	+	-	-
Papaya	-	+	-
Passion fruit	-	+	+
Peach	+	+	-
Persimmon	+	-	-
Pineapple	-	+	+
Pumpkin	+	-	+
Strawberry	+	+	+
Sugarcane	-	+	-
Thyme	-	-	+
Tomato	+	+	+

Suppl. Mat. 3. Characterization of the five crop clusters based on the coupled MCA and AHC (% of each occurrence, except for TS mean)

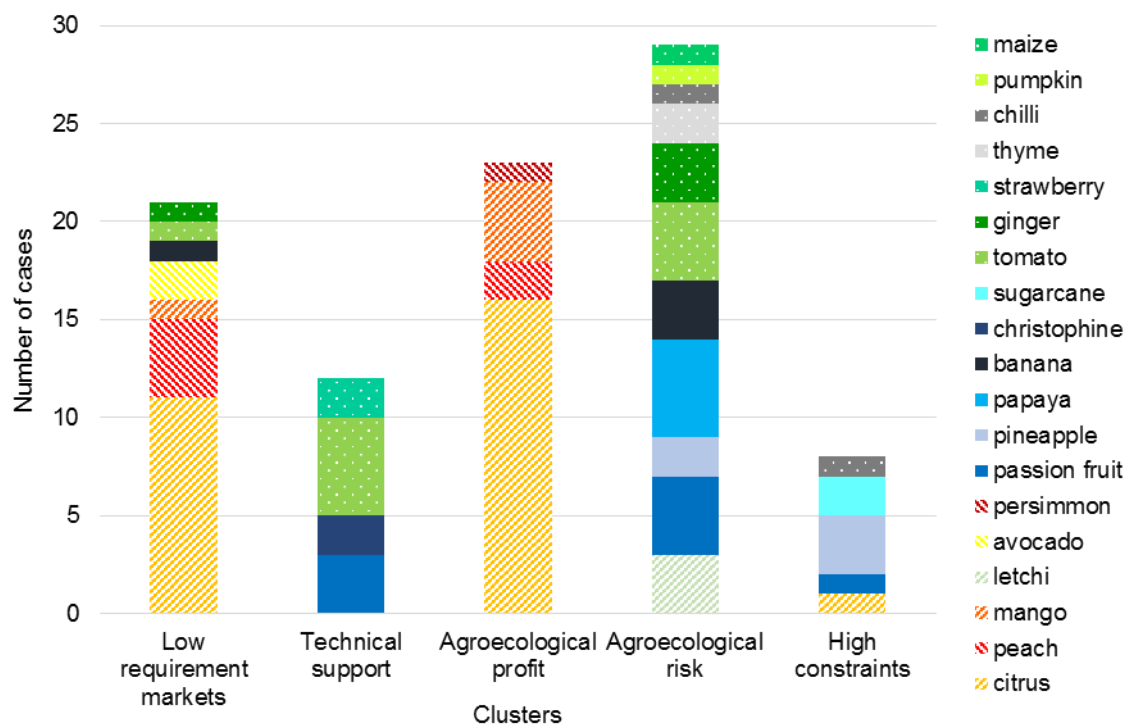
Variables	Modalities (% per cluster)	Cluster				
		Low requirement markets (n=21)	Technical support (n=12)	Agro-ecological profit (n=23)	Agro-ecological risk (n=29)	High constraints (n=8)
TS classes	Low	0	0	0	0	100
	Intermediary	43	58	100	100	0
	High	57	42	0	0	0
TS mean		1.62	0.333	0.174	0.103	-1.75
Sensitivity to fruit/vegetable flies	Low ¹	10	25	0	75	75
	High ¹	90	75	100	25	25
Competition with weeds	Low ¹	90	16	100	38	38
	High ¹	10	84	0	62	62
Intensity of technical support	Low ²	100	8	100	100	75
	High ²	0	92	0	0	25
Marketing constraints on visual quality	Low	86	8	0	0	12.5
	High	14	92	100	100	87.5

¹ See Suppl. Mat. 2.

² In the study area, crops with intensive technical support are sugarcane (main regional crop), indoor crops, strawberry and christophine (ongoing research projects).



Suppl. Mat. 4 : Classification tree of cases obtained from the AHC performed on the first four principal components of the MCA



Suppl. Mat. 5: Crop distribution in the clusters obtained with the AHC. Perennial species are in hatched orange colors, semi-perennial species in blue colors and annual species in dotted green colors.

Annexe 3 : “Supplementary materials” du chapitre 4

Supplementary material 1: Description des équations du sous-modèle unité de production (UP)

La fonction objectif du sous-modèle UP est la maximisation de la marge brute de l'UP. Cette marge brute $MARGIN_u$ (€) est calculée en multipliant la surface allouée à chaque activité $AREA_a$ (ha) par la marge brute à l'hectare des activités $MARGIN_a$ (€/ha) et en rajoutant le temps de commercialisation annuel $WORKFORCE_{market_u}$ (h) multiplié par le coût de la main d'œuvre qu'elle soit familiale ou extérieure $COST_{workforce}$ (Eq. 1).

$$(Eq. 1) \quad MARGIN_u = \sum_a (AREA_a * MARGIN_a) + WORKFORCE_{market_u} * COST_{workforce}$$

La marge brute des activités est calculée selon l'équation 2.

$$(Eq. 2) \quad MARGIN_a = SALES_a + SUBSIDIES_a - INPUTS_a - WORKFORCE_a * COST_{workforce}$$

$SALES_a$ est le chiffre d'affaire (€/ha), calculé en multipliant le rendement, le pourcentage de qualité 1 et 2, et les prix de vente des qualités 1 et 2 ; $SUBSIDIES_a$ est la somme des subventions touchées : les subventions au tonnage multipliées par le rendement total et/ou celles à l'hectare (€/ha); $INPUTS_a$ est le coût total en intrants et en mécanisation (€/ha). $WORKFORCE_a$ est la charge de travail mobilisée à l'année pour l'entretien et la récolte (h/ha).

$WORKFORCE_{market_u}$ est la somme sur tous les mois de l'année de $WORKFORCE_{market_u}(MONTH)$ calculé en multipliant le temps mensuel de main d'œuvre pour la commercialisation T_{market_u} par les variables entières I_{market_u} ou binaires $B_{market_u}(MONTH)$ reflétant l'utilisation ou non du circuit de vente au mois $MONTH$ (Eq. 3). Les circuits de vente dont le temps n'est pas proportionnel au volume commercialisé sont codés par une variable binaire valant 1 s'il y a une production à vendre au mois considéré et 0 sinon. En revanche pour les circuits où le temps de vente dépend du volume à vendre, comme la vente directe, une variable entière est utilisée. Cette variable prend la valeur de l'entier supérieur au quotient du volume total annuel produit divisé par le volume de base commercialisable annuellement par marché hebdomadaire. En vente directe, cette valeur est fixe tous les mois de l'année pour maintenir le stand de vente sur le marché et fidéliser les clients.

$$(Eq. 3) \quad WORKFORCE_{market_u}(MONTH) = T_{market_u} * I_{market_u} + \sum_{MONTH} (T_{market_u} * B_{market_u}(MONTH))$$

Le coût de certification AB peut être intégré au modèle en multipliant le coût de la certification pour une exploitation par la variable binaire C_u valant 1 si la somme des surfaces en AB est non nulle et 0 sinon.

A l'échelle de l'UP, le modèle doit donc maximiser $MARGIN_u$ en respectant trois types de contraintes : la main d'œuvre maximale (Eq. 4) ou minimale (Eq. 5) chaque mois, la surface maximale de l'unité de production (Eq. 6) et d'éventuelles activités interdites dont la surface est fixée à 0.

$$(Eq. 4) \quad WORKFORCE_{market_u}(MONTH) + \sum_a (AREA_a * WORKFORCE_a(MONTH)) < WORKFORCE_MAX_u$$

Avec $WORKFORCE_{market_u}(MONTH)$ la main d'œuvre nécessaire à la commercialisation le mois $MONTH$ (h) ; $WORKFORCE_a(MONTH)$ celle nécessaire à l'entretien et la récolte de l'activité a le mois $MONTH$ (h/ha) ; et $WORKFORCE_MAX_u$ la main d'œuvre maximale disponible par mois pour l'unité de production.

$$(Eq. 5) \quad WORKFORCE_{market_u}(MONTH) + \sum_a (AREA_a * WORKFORCE_a(MONTH)) > WORKFORCE_MIN_u$$

$WORKFORCE_MIN_u$ est la main d'œuvre minimale à maintenir chaque mois sur l'unité de production.

$$(Eq. 6) \quad \sum_a AREA_a < AREA_u$$

Avec $AREA_u$ la surface totale de l'unité de production (ha).

La fonction objectif du modèle bassin de production dépend du scénario.

Elle peut être la minimisation de l'utilité U qui est la somme des écarts offre-demande sur l'ensemble des segments de marchés (Eq. 7).

$$(Eq. 7) \quad U = \sum_{market} (VOL_MAX_{market} - \sum_u (N_u * VOL_{market_u}))$$

Avec VOL_MAX_{market} le volume maximum acheté par les consommateurs dans le segment de marché $market$, N_u le nombre d'unités de production de chaque type dans le bassin de production, et VOL_{market_u} le volume vendu par l'unité de production u dans le segment de marché $market$. Dans chaque segment de marché, les volumes commercialisés ne doivent pas excéder la demande des consommateurs (Eq. 8).

$$(Eq. 8) \quad \sum_u (N_u * VOL_{market_u}) < VOL_MAX_{market}$$

La fonction objectif peut aussi être la maximisation de la marge brute totale du bassin de production (Eq. 9).

$$(Eq. 9) \quad MARGIN_{tot} = \sum_u N_u * MARGIN_u$$

Avec $MARGIN_{tot}$ la marge brute totale du bassin de production (€/an). La surface totale cultivée peut être limitée par une surface maximale $AREA_{tot}$ (Eq. 10).

$$(Eq. 10) \quad \sum_u (N_u * AREA_u) < AREA_{tot}$$

Dans le cas d'étude, la fonction objectif choisie est la maximisation de la marge brute du bassin de production et la surface totale disponible n'est pas limitée. On limite la production avec des volumes maximum en AB et des volumes totaux pour chaque segment de marché. Cela traduit l'hypothèse que s'il n'y a pas d'offre AB les consommateurs prêts à acheter des produits AB achèteront les produits équivalents en conventionnel.

A l'échelle de l'UP, les indicateurs environnementaux sont calculés par agrégation des caractéristiques à l'hectare des activités (exemple Eq. 11).

$$(Eq. 11) \quad PROT_SYNTH_u = \sum_a (AREA_a * PROT_SYNTH_a) / AREA_u$$

Avec $PROT_SYNTH_u$ et $PROT_SYNTH_a$ le nombre moyen à l'hectare de traitements de protection de synthèse respectivement de l'unité de production u et de l'activité a .

Ces indicateurs sont également calculés à l'échelle du bassin de production par agrégation (exemple Eq. 12).

$$(Eq. 12) \quad PROT_SYNTH_{tot} = \sum_u (N_u * AREA_u * PROT_SYNTH_u) / AREA_{tot}$$

Avec $PROT_SYNTH_{tot}$ le nombre moyen de traitements de protection de synthèse par hectare dans le bassin de production et $AREA_{tot}$ la surface totale du bassin de production (ha).

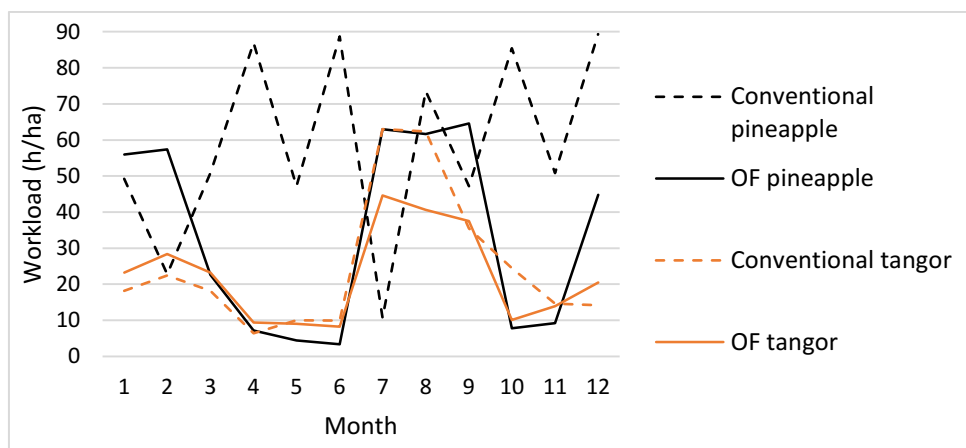
Supplementary material 4: Description qualitative des opérations considérées dans ENTICIP pour l'ananas et le tangor en agriculture conventionnelle et biologique à La Réunion

	Modalities in conventional farming	Modalities in organic farming
Pineapple		
Crop rotation	Monoculture ¹	Nitrogen fixing cover crop
Soil preparation	Intensive tillage	Superficial tillage
Plantation ²	On farm produced ratoons ³	On farm produced ratoons ³
Crop protection	Synthetic pesticides OF certified pesticides	OF certified pesticides
Weed management	Plastic mulch + manual weeding on rows Chemical herbicide on inter-rows	Plastic mulch + manual weeding on rows Mowing on inter-rows
Fertilization	Synthetic fertilizers	OF certified fertilizers
Floral induction	Chemical induction	No chemical induction
Harvest	All year	December - February
Tangor		
Pruning	No restitution of tree prunings	Restitution of chipped tree prunings
Crop protection	Synthetic pesticides OF certified pesticides Chemical attractive traps	OF certified pesticides Chemical attractive traps Release of natural enemies Flower strips around the orchard Destruction of fallen fruits
Weed management	Chemical herbicide on rows Mowing on inter-rows	Mowing on rows and inter-rows
Fertilization	Synthetic fertilizers OF certified fertilizers	OF certified fertilizers
Harvest	July - August	July - August

¹More than 50% of pineapple farmers do not implement crop rotations.

²Plantation is not considered for Tangor as it is highly subsidized and occurs every 30 to 50 years.

³Six percent of the pineapple area is devoted to ratoons growth and yields per hectare were reduced consequently.



Supplementary material 5: Charge de travail mensuelle pour les différents systems de culture en zone 2

Supplementary material 6: Sources d'information mobilisées pour la base de données d'ENTICIP sur le production fruitière à La Réunion

Source	Data	References (accessed 20.07.18)
Farm surveys and monitoring (Reunion)	Crop rotation and pineapple plantation dates Spraying schedules Weed management Regular workload Organic fertilizers prices	AGREF, 2018. Un outil en ligne pour la gestion complète de l'exploitation. http://www.agref.fr/
Specialized stores (Réunion)	Pesticides and synthetic fertilizers prices	
Official website (France)	Pesticides doses	ANSES, 2018. E-phy. https://ephy.anses.fr/
Trial results (France)	Conventional tangor fertilization Mulching and flower strips implantation workloads	ARMEFHLOR, 2001. La tenue des fruits sur Tangor ortanique. http://docplayer.fr/40931007-La-tenue-des-fruits-agrumes-tangor-ortanique-bip-n-3-sur.html ARMEFHLOR, 2004. Alternative au paillage plastique traditionnel sur culture d'ananas. http://armeflhor.pagesperso-orange.fr/arbo/Publication/comptereendu/ananas/Alternative au paillage plastique ananas.pdf Chambre d'Agriculture du Rhône, 2008. Réussir son implantation de bandes fleuries. https://www.tela-botanica.org/actu/IMG/2008-Tassee-Reussir son implantation de bandes fleuries.pdf
Technical literature (France)	Pineapple soil preparation Pineapple and organic tangor fertilization Harvest and pineapple plantation workloads	CIRAD, 2015. La culture de l'ananas Victoria à La Réunion pour l'exportation. https://reunion-mayotte.cirad.fr/content/download/7735/80744/version/1/file/obj_5268_file_Victoria_FichTek201505.pdf Mission de Valorisation Agricole des Déchets, 2006. Guide de la fertilisation organique à La Réunion. http://www.mvad-reunion.org/spip.php?article95 ITAB, 2005. Produire des agrumes en agriculture biologique. http://www.itab.asso.fr/downloads/Fiches-techniques_arbo/Agrumes.pdf

Suppl. Mat. 7: Volume et prix par segment de marché sous les conditions d'un marché AB de niche (situation initiale) ou de masse (situation des scenarios)

			Niche market		Mass market	
			Volume max. (T)	Price for the farmer (€/kg)	Volume max. (T)	Price for the farmer (€/kg)
Tangor	Conventional	Direct selling	100	Q1 : 2 Q2 : 1.6	50	Q1 : 2 Q2 : 1.6
		Retailers	900	Q1 : 1.25 Q2 : 0.75	450	Q1 : 1.25 Q2 : 0.75
		Local market oriented cooperative	118	Q1 : 0.9 Q2 : 0.6	59	Q1 : 0.9 Q2 : 0.6
		Processing oriented cooperative	450	0.8	225	0.8
	Organic	Direct selling	34	2.8	50	Q1 : 2.5 Q2 : 1.84
		Retailers			450	Q1 : 1.56 Q2 : 0.86
		Local market oriented cooperative			59	Q1 : 1.13 Q2 : 0.69
		Processing oriented cooperative			225	Q1 : 1 Q2 : 0.92
	Pineapple	Direct selling	325	1.87	162.5	1.87
		Retailers	2925	1.27	1462.5	1.27
		Local market oriented cooperative	730	0.95	365	0.95
		Processing oriented cooperative	2000	Q1 : 1 Q2 : 0.55	1000	Q1 : 1 Q2 : 0.55
		Export oriented cooperative	3000	Q1 : 1.3	1500	Q1 : 1.3
	Organic	Direct selling	108	2.62	162.5	Q1 : 2.34 Q2 : 2.15
		Retailers			1462.5	Q1 : 1.59 Q2 : 1.46
		Local market oriented cooperative			365	Q1 : 1.19 Q2 : 1.09
		Processing oriented cooperative			1000	Q1 : 1.25 Q2 : 0.63
		Export oriented cooperative			1500	Q1 : 1.63

Supplementary material 8: Description complète des changements d'activités pour toutes les unités de production (PU) dans la série de scénarios avec une augmentation progressive des aides pour l'agriculture biologique (MAB)

PU type	MAB value (€/ha)	Conv. Pineapple (% area)	OF Pineapple (% area)	Conv. Tangor (% area)	OF Tangor (% area)
DA ₁	900	0	0	0	100
DA ₂	900	0	67	0	33
DT ₁	900	65	0	35	0
	9900	65	0	0	35
DT ₂	900	0	0	100	0
	7200	0	100	0	0
RS ₁	900	85	0	15	0
	6300	85	0	0	15
	9000	0	0	0	100
RS ₂	900	0	0	100	0
	3600	0	100	0	0
CS ₁	900	85	0	15	0
	11700	85	0	0	15
CS ₂	900	0	0	100	0
	9900	0	100	0	0
PS ₁	900	85	0	15	0
	11700	85	0	0	15
PS ₂	900	0	0	100	0
	9900	0	100	0	0
ES ₁	900	85	0	15	0
	11700	85	0	0	15
ES ₂	900	0	0	100	0
	6300	0	100	0	0
CL ₁	900	92	0	8	0
CL ₂	900	20	0	80	0
	11700	30	70	0	0
PL ₁	900	92	0	8	0
PL ₂	900	20	0	80	0
	11700	30	70	0	0
EL ₁	900	92	0	8	0
EL ₂	900	20	0	80	0
	6300	30	70	0	0

Annexe 4 : Guide d'entretien des enquêtes d'exploitations

	Questions abordées pendant l'entretien semi-directif
Questions d'approche	Que cultivez-vous ? Quelle est la taille de l'exploitation ? Depuis quand êtes-vous installé ? Dans quel contexte ? Depuis quand cultivez-vous des agrumes ? Pourquoi ?
Focus sur les agrumes	Quelles variétés d'agrumes cultivez-vous ? Pourquoi ? Quelle est la surface du verger (ou nombre de pieds) ? Quelle est l'importance des agrumes dans votre exploitation ? Le verger est-il taillé ? Pourquoi ? Que faites-vous des résidus ? Quel est le système d'irrigation ?
Protection conventionnelle	Quels produits utilisez-vous ? Combien de traitements par an en moyenne pour chaque produit ? Contre quel bioagresseur ? Que faisiez-vous avant ? Avez-vous changé vos pratiques ? Pourquoi ?
Protection alternative	Utilisez-vous des techniques alternatives ? Si oui depuis quand et pourquoi ? Si non pourquoi ? (liste : pièges, biopesticides, filets, auxiliaires, enherbement, bande fleurie, diversification, gestion du microclimat)
Fertilisation conventionnelle	Quels fertilisants utilisez-vous (engrais et amendements) en entretien du verger ? En quelle quantité et selon quel fractionnement ? L'apport est-il manuel ou mécanisé ? Que faisiez-vous avant ? Avez-vous changé vos pratiques ? Pourquoi ?
Fertilisation alternative	Utilisez-vous des techniques alternatives ? Si oui depuis quand et pourquoi ? Si non pourquoi ? (liste : fertilisation organique, paillage, engrais vert, résidus de culture, intégration de l'élevage) Fertilisation organique : quelle origine et quel prix ?
Gestion de l'enherbement conventionnelle	Quel produit/outil utilisez-vous pour gérer l'enherbement dans les allées/sur le rang ? A quelle fréquence ? Que faisiez-vous avant ? Avez-vous changé vos pratiques ? Pourquoi ?
Gestion de l'enherbement alternative	Utilisez-vous des techniques alternatives ? Si oui depuis quand et pourquoi ? Si non pourquoi ? (liste : fauche, paillage, pâturage, plante de couverture, maraîchage intercalaire avec travail du sol) Les pratiques sont-elles identiques pour tous les agrumes ?
Performances	Etes-vous satisfait de votre système en agrumes ? Quels rendements obtenez-vous ?
Autres cultures	Quelles sont vos pratiques pour les autres cultures ? Ont-elles évolué ? Utilisez-vous des techniques alternatives ? Depuis quand ? Pourquoi ?
Sources d'information	D'où sont venues les idées et informations sur les techniques alternatives ? Etes-vous suivi par un conseiller ?
Circuit(s) de vente	Où vendez-vous vos différentes productions ? Pourquoi ? Quelles sont les exigences des acheteurs ? Pour les agrumes quels sont les prix de vente ? Y a-t-il des subventions ? Avez-vous des contrats MAEC ? Etes-vous certifié AB ou HVE2 ?
Main d'œuvre	Combien de personnes travaillent sur l'exploitation (détail familial/salarié) ? Cherchez-vous à garder des employés ou au contraire à ne pas en embaucher ? Quels sont les pics de travail ? Prenez-vous des congés ?
Revenu	Avez-vous des revenus complémentaires (conjoint ou autres activités) ? Avez-vous des emprunts en cours ? Etes-vous satisfait de vos résultats économiques ?
Questions d'ouverture	Quels sont vos projets ? Avez-vous déjà entendu parler de l'agroécologie ? Qu'en pensez-vous ?

Annexe 5 : Interfaces Excel pour les entrées et sorties d'ENTICIP

FICHIER

ACCUEIL

INSERTION

MISE EN PAGE

FORMULES

DONNÉES

RÉVISION

AFFICHAGE

J19

	A	B	C	D	E	F
1	Pratique(s) subventionnée(s) en tangor	Subventions (en €/ha)				
2		Bazardiens	Vente directe	Coop. local	Coop. transfo	
3	maintien de l'AB (incompatible POSEI AB)	9900	9900	9900	9900	
4	pièges chimiques	442	442	442	442	
5	enherbement 75%	500	500	500	500	
6	enherbement 100%	700	700	700	700	
7	tangor conventionnel	942	942	942	942	
8	tangor AB	11042	11042	11042	11042	
9						
10		business as usual				
11		900	900	0	0	
12		442	442	442	442	
13		500	500	500	500	
14		700	700	700	700	
15		942	942	942	942	
16		2042	2042	1142	1142	
17						
18	Pratique(s) subventionnée(s) en ananas	Subventions (en €/ha)				
19		Bazardiens	Vente directe	Coop. local	Coop. transfo	Coop. Export
20	plantation conv. Z1	0	0	0	0	0
21	plantation AB Z1	9900	9900	9900	9900	9900
22	plantation conv. Z2	0	0	0	0	0
23	plantation AB Z2	9900	9900	9900	9900	9900
24						
25		business as usual				
26		0	0	0	0	0
27		900	900	0	0	0
28		0	0	0	0	0
29		900	900	0	0	0
30						

Subventions par ha

PRÊT

CALCULER

Exemple de l'interface d'entrée pour modifier les valeurs d'aides à l'AB dans les scénarios

ParametersISLAND2.xlsx - Excel

FICHIER ACCUEIL INSERTION MISE EN PAGE FORMULES DONNÉES RÉVISION AFFICHAGE

Marie DUPRE

AF23

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD
1		CTR	CTD	CTC	CTP	OTR	OTD	OTC	OTP	CVR	CVD	CVC	CVP	CVE	OVR	OVD	OVC	OVP	OVE	CVRL	CVDL	CVCL	CVPL	CVEL	OVRL	OVDL	OVCL	OVPL	OVEL	
2	AD1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	AD2	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,67	0	0	0	
4	SD1	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	SD2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
6	SR1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	SR2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	
8	SC1	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	1,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	SC2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	
10	BC1	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	3,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	BC2	0	0	3,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,78	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	SP1	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	1,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	SP2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	
14	BP1	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	3,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	BP2	0	0	0	3,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,78	0	0	0	0	0	0	0	
16	SE1	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	SE2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
18	BE1	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	BE2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,2	0	0	0	0	2,8	
20																														
21																														
22																														
23																														
24																														
25																														
26																														

subresources margin margin_acti environment market market_limits areas

PRÊT 114 %

Exemple de l'interface de sortie pour comparer les choix d'assolement (ananas ou tanger) et de mode de gestion (conventionnel ou AB) des différents types d'unités de production

Annexe 6 : Script GAMS d'ENTICIP utilisé pour le chapitre 4

```

*ENTICIP model version for the 16 production unit types.
*Adapted to scenarii on OF conversion on tangor and pineapple value chains in
La Réunion.
*~~~~~ INDICES
~~~~~*

sets
*Month 1 January to month 12 December
MONTH months
/1*12/
*Quality 1 is standard fruits and quality 2 is damaged or out-sized fruits.
QUALITY category of quality of fruits
/1*2/
*The 1st letter stands for the production mode (C for conventional and O for
organic)
*The 2nd letter stands for the crop (T for tangor and V for pineapple
Victoria)
*The 3rd letter stands for the marketing channel (R for retailers, D for
direct selling, C for cooperative, P for processing and E for export)
*There is a L in 4th letter if the pineapple cycle is long (located above
400m)
ACTIVITY possible activities
/CTR,CTD,CTC,CTP,OTR,OTD,OTC,OTP,CVR,CVD,CVC,CVP,CVE,OVR,OVD,OVC,OVP,OVE,CVRL,
CVDL,CVCL,CVPL,CVEL,OVRL,OVDL,OVCL,OVPL,OVEL/
*Subsets of activities
OF (ACTIVITY) organic farming activities
/OTR,OTD,OTC,OTP,OVR,OVD,OVC,OVP,OVE,OVRL,OVDL,OVCL,OVPL,OVEL/
NON_OF (ACTIVITY) non organic farming activities
/CTR,CTD,CTC,CTP,CVR,CVD,CVC,CVP,CVE,CVRL,CVDL,CVCL,CVPL,CVEL/
RETAIL (ACTIVITY) activities marketed with retailers
/CTR,OTR,CVR,OVR,CVRL,OVRL/
DS (ACTIVITY) direct selling marketed activities
/CTD,OTD,CVD,OVD,CVDL,OVDL/
COOP_VIC_LOCAL (ACTIVITY) victoria activities marketed in a local
market cooperative /CVC,OVC,CVCL,OVCL/
COOP_TANG_LOCAL (ACTIVITY) tangor activities marketed in a local market
cooperative /CTC,OTC/
COOP_PROCESS (ACTIVITY) activities marketed in a processing
cooperative /CTP,OTP,CVP,OVP,CVPL,OVPL/
COOP_EXPORT (ACTIVITY) victoria activities marketed in an export
cooperative /CVE,OVE,CVEL,OVEL/
TANGOR (ACTIVITY) tangor production activities
/CTR,CTD,CTC,CTP,OTR,OTD,OTC,OTP/
VICTORIA (ACTIVITY) victoria production activities
/CVR,CVD,CVC,CVP,CVE,OVR,OVD,OVC,OVP,OVE,CVRL,CVDL,CVCL,CVPL,CVEL,OVRL,OVDL,OV
CL,OVPL,OVEL/
LONG_CYCLE (ACTIVITY) 18 months cycle victoria activities
/CVRL,CVDL,CVCL,CVPL,CVEL,OVRL,OVDL,OVCL,OVPL,OVEL/
SHORT_CYCLE (ACTIVITY) 12 months cycle victoria activities
/CVR,CVD,CVC,CVP,CVE,OVR,OVD,OVC,OVP,OVE/
INNOV (ACTIVITY) activities depending of OF TIF innovation
/OVR,OVD,OVC,OVP,OVE/
*Three scenarii were defined to easily test various yields.

```

```

*In our example scenario 2 corresponds to yields in zone 1 and scenario 3 to
yields in zone 2.
SCENARIOS                                yields scenarios to test
/1*3/
;
*~~~~~ DATA ~~~~~*
scalar
*scalars defined for each production type
TOTAL_AREA                             farm area (hectares)
TOTAL_WORKFORCE                         maximum workforce hours available per month (familial
and external)
MIN_WORKFORCE                           minimum workforce hours per month to keep an employee
T_SELLING                               time needed for commercialization per month
*generic scalars for all the production units
COST_WORKFORCE                         workforce cost (euros per hour)
/10/
*ENTICIP could integrate subsidized workforce
*Price and quantity of subsidized workforce are defined with the 2 following
scalars
COST_SUBS_WORKFORCE                    cost of subsidised workforce (euros per hour)
/5/
MAX_SUBS_WORKFORCE                     maximum subsidised workforce hours available per
month                                /0/
;

*The 15 following parameters are the technico-economic coefficients of
activities.
*There are defined in Excel files.
parameter YIELDS (ACTIVITY,QUALITY,SCENARIOS) Yields per activity per quality
and per iteration (T per hectare)
$CALL GDXXRW.EXE i=IT_YIELDS_v02.xlsx o=YIELDS.gdx par=YIELDS rng=Yields!A2
rdim=2 cdim=1
$GDXIN YIELDS.gdx
$LOAD YIELDS
$GDXIN
;
parameter
INPUT_COST (ACTIVITY) Input and equipment costs per activity (euros per
hectare)
$CALL GDXXRW.EXE i=Parameters2.xlsx o=INPUT_COST.gdx par=INPUT_COST
rng=Input_cost!A2 rdim=1
$GDXIN INPUT_COST.gdx
$LOAD INPUT_COST
$GDXIN
;
parameter
NEED_WORKFORCE (ACTIVITY,MONTH) Workforce needs per activity (hours per hectare
per month)
$CALL GDXXRW.EXE i=Parameters2.xlsx o=NEED_WORKFORCE.gdx par=NEED_WORKFORCE
rng=Workforce!A2 rdim=1 cdim=1
$GDXIN NEED_WORKFORCE.gdx
$LOAD NEED_WORKFORCE
$GDXIN
;
parameter HARVEST (ACTIVITY,MONTH) Harvest repartition on the year (proportion
of the total yield per month)
$CALL GDXXRW.EXE i=Parameters2.xlsx o=HARVEST.gdx par=HARVEST rng=Harvest!A2

```

```

rdim=1 cdim=1
$GDXIN HARVEST.gdx
$LOAD HARVEST
$GDXIN
;
parameter SELLING(ACTIVITY,MONTH) Months of the selling period (1 or 0)
$CALL GDXXRW.EXE i=Parameters2.xlsx o=SELLING.gdx par=SELLING rng=Selling!A2
rdim=1 cdim=1
$GDXIN SELLING.gdx
$LOAD SELLING
$GDXIN
;
parameter
PRICE_PRODUCT(ACTIVITY,QUALITY) Product price per activity and quality (euros
per T)
$CALL GDXXRW.EXE i=Parameters2.xlsx o=PRICE_PRODUCT.gdx par=PRICE_PRODUCT
rng=Product_price!A2 rdim=1 cdim=1
$GDXIN PRICE_PRODUCT.gdx
$LOAD PRICE_PRODUCT
$GDXIN
;
parameter
SUBSIDIES_HA(ACTIVITY) Subsidies per activity (euros per ha)
$CALL GDXXRW.EXE i=Parameters2.xlsx o=SUBSIDIES_HA.gdx par=SUBSIDIES_HA
rng=Subsidies_ha!A2 rdim=1
$GDXIN SUBSIDIES_HA.gdx
$LOAD SUBSIDIES_HA
$GDXIN
;
parameter
SUBSIDIES_T(ACTIVITY) Subsidies per activity (euros per T)
$CALL GDXXRW.EXE i=Parameters2.xlsx o=SUBSIDIES_T.gdx par=SUBSIDIES_T
rng=Subsidies_T!A2 rdim=1
$GDXIN SUBSIDIES_T.gdx
$LOAD SUBSIDIES_T
$GDXIN
;
parameter
NB_TREATMENTS(ACTIVITY) number of protection treatments per activity
$CALL GDXXRW.EXE i=Parameters2.xlsx o=NB_TREATMENTS.gdx par=NB_TREATMENTS
rng=Prot_index!A2:B29 rdim=1
$GDXIN NB_TREATMENTS.gdx
$LOAD NB_TREATMENTS
$GDXIN
;
parameter
ORG_TREATMENTS(ACTIVITY) percentage of organic protection treatments per
activity
$CALL GDXXRW.EXE i=Parameters2.xlsx o=ORG_TREATMENTS.gdx par=ORG_TREATMENTS
rng=Prot_index!D2:E29 rdim=1
$GDXIN ORG_TREATMENTS.gdx
$LOAD ORG_TREATMENTS
$GDXIN
;
parameter
HERBICIDE(ACTIVITY) number of herbicide treatments*pourcentage of area sprayed
per activity

```

```

$CALL GDXXRW.EXE i=Parameters2.xlsx o=HERBICIDE.gdx par=HERBICIDE
rng=Herbi_index!A2:B29 rdim=1
$GDXIN HERBICIDE.gdx
$LOAD HERBICIDE
$GDXIN
;
parameter
MULCH(ACTIVITY) area with plastic mulch per activity (ha)
$CALL GDXXRW.EXE i=Parameters2.xlsx o=MULCH.gdx par=MULCH
rng=Herbi_index!D2:E29 rdim=1
$GDXIN MULCH.gdx
$LOAD MULCH
$GDXIN
;
parameter
FERT_UNITS(ACTIVITY) number of nitrogen units per ha per activity
$CALL GDXXRW.EXE i=Parameters2.xlsx o=FERT_UNITS.gdx par=FERT_UNITS
rng=Fert_index!A2:B29 rdim=1
$GDXIN FERT_UNITS.gdx
$LOAD FERT_UNITS
$GDXIN
;
parameter
ORG_FERT(ACTIVITY) percentage of nitrogen units from organic fertilizers
$CALL GDXXRW.EXE i=Parameters2.xlsx o=ORG_FERT.gdx par=ORG_FERT
rng=Fert_index!D2:E29 rdim=1
$GDXIN ORG_FERT.gdx
$LOAD ORG_FERT
$GDXIN
;
parameter
TILLAGE(ACTIVITY) area with highly disturbing soil preparation
$CALL GDXXRW.EXE i=Parameters2.xlsx o=TILLAGE.gdx par=TILLAGE
rng=Fert_index!G2:H29 rdim=1
$GDXIN TILLAGE.gdx
$LOAD TILLAGE
$GDXIN
;
*IYIELDS is the yield in the considered scenario
Parameter IYIELDS(ACTIVITY,QUALITY)
;
*~~~~~ MODEL ~~~~~*
variables
vMARGIN gross margin (euros)
;
binary variables
X(ACTIVITY) X is 1 if the activity is implemented
elseif 0
vSELLING(MONTH) vSELLING is 1 if there are fruits to
sell this month
*ENTICIP could integrate the price of OF labelling.
*In our example it has been neglected as it is highly subsidized.
*vCERTIFICATION_COST 1 if there are OF activities elseif
0
;
integer variables
vDS number of street markets per week

```

```

(all year long)
;
positive variables
vAREA (ACTIVITY)                area per activity (hectares)
vGROSS_MARGIN_TANG (ACTIVITY)    gross margin per tangor activity
(euros per ha per year)
vGROSS_MARGIN_VIC (ACTIVITY)     gross margin per victoria activity
(euros per ha per year)
vSOLD (ACTIVITY,QUALITY)         volume sold per activity per quality
(T)
vSOLD_TOT (ACTIVITY)             volume sold per activity (T)
vHARVEST (MONTH)                 time needed to harvest fruits (h)
vWORKFORCE (MONTH)              total workforce (hours)
vSUBS_WORKFORCE (MONTH)          amount of subsidised workforce
(hours)
vSUBSIDIES                       total amount of subsidies (euros)
vNB_TREATMENTS                  number of protection treatments (mean
per hectare)
vORG_TREATMENTS                 percentage of organic protection
treatments
vHERBICIDE                       number of herbicide
treatments*pourcentage of area sprayed
vMULCH                           area with plastic mulch
vFERT_UNITS                      number of nitrogen units per hectare
vORG_FERT                        percentage of nitrogen units from
organic fertilizers
vTILLAGE                         area with highly disturbing soil
tillage
;
equations
eOBJECTIVE                       objective function
eLIMIT_AREA                      land constraint
eMIN_X                           min constraint on the binary matrix
eMAX_X                           max constraint on the binary matrix
eMIN_SUBS                         area minimum for tangor subsidies per
hectare
eSELLING_MIN                     constraint 1 on the variable
eSELLING_MAX                     constraint 2 on the variable
eDS_MIN                          constraint 1 on the variable
eDS_MAX                          constraint 2 on the variable
ePRODUCTION                      calcul of vSOLD
evSOLD_TOT                       calcul of the variable
eHARVEST                         calcul of the variable
eWORKFORCE                       calcul of the variable
eEMPLOYEE                        constraint for permanent workers
eLIMIT_WORKFORCE                 workforce constraint
eLIMIT_SUBS_WORKFORCE            subsidised workforce constraint
eSUBSIDIES                       calcul of the variable
eNB_TREATMENTS                  calcul of the variable
eORG_TREATMENTS                 calcul of the variable
eHERBICIDE                       calcul of the variable
eMULCH                           calcul of the variable
eFERT_UNITS                      calcul of the variable
eORG_FERT                        calcul of the variable
eTILLAGE                         calcul of the variable
*eCERTIFICATION                  calcul of the variable
;

```

```

*The objective function calculates the gross margin of the production unit.
*If the OF certification is no more subsidized, add its cost in the objective
function.
eOBJECTIVE..
sum ( (ACTIVITY,QUALITY) ,vSOLD (ACTIVITY,QUALITY) *PRICE_PRODUCT (ACTIVITY,QUALITY)
)
+vSUBSIDIES
-sum (ACTIVITY,vAREA (ACTIVITY) *INPUT_COST (ACTIVITY) )
-sum (MONTH,vWORKFORCE (MONTH) *COST_WORKFORCE)
-sum (MONTH,vSUBS_WORKFORCE (MONTH) *COST_SUBS_WORKFORCE)
=E=
vMARGIN
;
*The cultivated area is limited to a maximum area.
eLIMIT_AREA..
sum (ACTIVITY,vAREA (ACTIVITY) )
=L=
TOTAL_AREA
;
*Calculation of volumes produced per activity and quality
ePRODUCTION (ACTIVITY,QUALITY) ..
vSOLD (ACTIVITY,QUALITY)
=E=
IYIELDS (ACTIVITY,QUALITY) *sum (MONTH,HARVEST (ACTIVITY,MONTH) ) *vAREA (ACTIVITY)
;
*Calculation of total volumes produced per activity (all qualities)
evSOLD_TOT (ACTIVITY) ..
vSOLD_TOT (ACTIVITY)
=E=
sum (QUALITY,vSOLD (ACTIVITY,QUALITY) )
;
*Calculation of harvesting time per month (yield dependant)
*Hypothesis : tangor harvest 7h/T and victoria 10h/T
eHARVEST (MONTH) ..
sum (TANGOR (ACTIVITY) ,7*HARVEST (ACTIVITY,MONTH) *vAREA (ACTIVITY) *sum (QUALITY,IYI
ELDS (ACTIVITY,QUALITY) ) )
+sum (VICTORIA (ACTIVITY) ,10*HARVEST (ACTIVITY,MONTH) *vAREA (ACTIVITY) *sum (QUALITY
,IYIELDS (ACTIVITY,QUALITY) ) )
=E=
vHARVEST (MONTH)
;
*The 2 following equations calculate the binary variable X which indicates if
an activity is chosen or not.
eMIN_X (ACTIVITY) ..
X (ACTIVITY) *10
=G=
vAREA (ACTIVITY)
;
eMAX_X (ACTIVITY) ..
X (ACTIVITY) *0.1
=L=
vAREA (ACTIVITY)
;
*The 2 following equations calculate the integer variable vDS which stands for
the number of street markets each week.
*Hypothesis : 52T of fruits can be sold in one year with one weekly street
market.

```

```

eDS_MIN..
vDS
=G=
( sum (DS (ACTIVITY) , sum (QUALITY, vSOLD (ACTIVITY, QUALITY) ) ) )
/52
;
eDS_MAX..
vDS
=L=
10000* sum (DS (ACTIVITY) , X (ACTIVITY) )
;
*The 2 following equations calculate the binary variable vSELLING which
indicates each month if there are fruits to sell.
eSELLING_MIN (MONTH) ..
vSELLING (MONTH)
=G=
sum (ACTIVITY, X (ACTIVITY) * (SELLING (ACTIVITY, MONTH) /4) )
;
eSELLING_MAX (MONTH) ..
vSELLING (MONTH)
=L=
sum (ACTIVITY, X (ACTIVITY) *SELLING (ACTIVITY, MONTH) )
;
*Calculation of the total needed workforce
*Hypothesis : in DS one weekly street market corresponds to 43 hours each
month
eWORKFORCE (MONTH) ..
sum (ACTIVITY, NEED_WORKFORCE (ACTIVITY, MONTH) *vAREA (ACTIVITY) )
+vHARVEST (MONTH)
+T_SELLING*vSELLING (MONTH)
+vDS*43
=E=
vWORKFORCE (MONTH)
+vSUBS_WORKFORCE (MONTH)
;
*Workforce is limited to a maximum in some production units.
eLIMIT_WORKFORCE (MONTH) ..
vWORKFORCE (MONTH)
=L=
TOTAL_WORKFORCE
;
*Workforce is limited to a minimum in some production units, to keep permanent
workers.
eEMPLOYEE (MONTH) ..
vWORKFORCE (MONTH)
=G=
MIN_WORKFORCE
;
*ENTICIP could simulate subsidized workforce for OF production.
eLIMIT_SUBS_WORKFORCE (MONTH) ..
vSUBS_WORKFORCE (MONTH)
=L=
MAX_SUBS_WORKFORCE* sum (OF (ACTIVITY) , vAREA (ACTIVITY) )
;

*Calculation of total subsidies for the production unit
eSUBSIDIES..

```

```

vSUBSIDIES
=E=
sum (ACTIVITY, vAREA (ACTIVITY) *SUBSIDIES_HA (ACTIVITY) )
+sum ( (ACTIVITY, QUALITY) , vSOLD (ACTIVITY, QUALITY) *SUBSIDIES_T (ACTIVITY) )
;
*Subsidies conditions require a minimum of 0,3 ha of tangor
eMIN_SUBS..
sum (TANGOR (ACTIVITY) , vAREA (ACTIVITY) )
=G=
sum (TANGOR (ACTIVITY) , 0.3*X (ACTIVITY) )
;
*eCERTIFICATION..
*vCERTIFICATION_COST
*=G=
*sum (OF (ACTIVITY) , X (ACTIVITY) /16)
*;
*The following equations calculate environmental indicators.
eNB_TREATMENTS..
vNB_TREATMENTS
=E=
sum (ACTIVITY, vAREA (ACTIVITY) *NB_TREATMENTS (ACTIVITY) ) /TOTAL_AREA
;
eORG_TREATMENTS..
vORG_TREATMENTS
=E=
sum (ACTIVITY, vAREA (ACTIVITY) *ORG_TREATMENTS (ACTIVITY) ) /TOTAL_AREA
;
eHERBICIDE..
vHERBICIDE
=E=
sum (ACTIVITY, vAREA (ACTIVITY) *HERBICIDE (ACTIVITY) ) /TOTAL_AREA
;
eMULCH..
vMULCH
=E=
sum (ACTIVITY, vAREA (ACTIVITY) *MULCH (ACTIVITY) )
;
eFERT_UNITS..
vFERT_UNITS
=E=
sum (ACTIVITY, vAREA (ACTIVITY) *FERT_UNITS (ACTIVITY) ) /TOTAL_AREA
;
eORG_FERT..
vORG_FERT
=E=
sum (ACTIVITY, vAREA (ACTIVITY) *ORG_FERT (ACTIVITY) ) /TOTAL_AREA
;
eTILLAGE..
vTILLAGE
=E=
sum (ACTIVITY, vAREA (ACTIVITY) *TILLAGE (ACTIVITY) )
;
*~~~~~ SOLUTION
~~~~~*
*Alternative production unit in direct selling in zone 1 (DA1)
model AD1
/

```

```

all
/
;
*Yields in zone 1, area: 1ha, workforce: 100h/month, direct selling
IYIELDS (ACTIVITY,QUALITY)=YIELDS (ACTIVITY,QUALITY,'2');
TOTAL_AREA=1;
TOTAL_WORKFORCE=100;
MIN_WORKFORCE=0;
T_SELLING=0;
*Constraints updates on possible activities
vAREA.up (SHORT_CYCLE (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (DS (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (LONG_CYCLE (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (NON_OF (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (RETAIL (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (COOP_VIC_LOCAL (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (COOP_TANG_LOCAL (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (COOP_PROCESS (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (COOP_EXPORT (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (INNOV (ACTIVITY) )=0;
*Selection of a mixed integer solver to deal with binary and integer variables
Option MINLP = Bonmin;
*The model maximize the gross margin of the production unit.
solve AD1 using MINLP maximizing vMARGIN;
*Model outputs are stored in a Excel file named AD1.
execute unload
'AD1.gdx',vAREA,vWORKFORCE,vSUBS_WORKFORCE,vSUBSIDIES,vMARGIN,vSOLD,vNB_TREATM
ENTS,vORG_TREATMENTS,vHERBICIDE,vMULCH,vFERT_UNITS,vORG_FERT,vTILLAGE;
execute 'gdxxrw.exe AD1.gdx var=vAREA rng=area!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe AD1.gdx var=vWORKFORCE rng=workforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe AD1.gdx var=vSUBS_WORKFORCE rng=subsworkforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe AD1.gdx var=vSUBSIDIES rng=subsidies!A1';
execute 'gdxxrw.exe AD1.gdx var=vMARGIN rng=margin!A1';
execute 'gdxxrw.exe AD1.gdx var=vSOLD rng=v_sold!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe AD1.gdx var=vNB_TREATMENTS rng=nb_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe AD1.gdx var=vORG_TREATMENTS rng=org_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe AD1.gdx var=vHERBICIDE rng=herbicide!A1';
execute 'gdxxrw.exe AD1.gdx var=vMULCH rng=plastic_mulch!A1';
execute 'gdxxrw.exe AD1.gdx var=vFERT_UNITS rng=fert_units!A1';
execute 'gdxxrw.exe AD1.gdx var=vORG_FERT rng=org_fert!A1';
execute 'gdxxrw.exe AD1.gdx var=vTILLAGE rng=deep_tillage!A1';
*~~~~~ SOLUTION
*~~~~~
*Alternative production unit in direct selling in zone 2 (DA2)
model AD2
/
all
/
;
IYIELDS (ACTIVITY,QUALITY)=YIELDS (ACTIVITY,QUALITY,'3');
display IYIELDS;
TOTAL_AREA=1;
TOTAL_WORKFORCE=100;
MIN_WORKFORCE=0;
T_SELLING=0;
vAREA.up (LONG_CYCLE (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (DS (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;

```

```

vAREA.up (NON_OF (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (SHORT_CYCLE (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (RETAIL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_VIC_LOCAL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_TANG_LOCAL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_PROCESS (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_EXPORT (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (INNOV (ACTIVITY))=0;
Option MINLP = Bonmin;
solve AD2 using MINLP maximizing vMARGIN;
execute unload
'AD2.gdx',vAREA,vWORKFORCE,vSUBS_WORKFORCE,vSUBSIDIES,vMARGIN,vSOLD,vNB_TREATM
ENTS,vORG_TREATMENTS,vHERBICIDE,vMULCH,vFERT_UNITS,vORG_FERT,vTILLAGE;
execute 'gdxxrw.exe AD2.gdx var=vAREA rng=area!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe AD2.gdx var=vWORKFORCE rng=workforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe AD2.gdx var=vSUBS_WORKFORCE rng=subsworkforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe AD2.gdx var=vSUBSIDIES rng=subsidies!A1';
execute 'gdxxrw.exe AD2.gdx var=vMARGIN rng=margin!A1';
execute 'gdxxrw.exe AD2.gdx var=vSOLD rng=v_sold!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe AD2.gdx var=vNB_TREATMENTS rng=nb_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe AD2.gdx var=vORG_TREATMENTS rng=org_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe AD2.gdx var=vHERBICIDE rng=herbicide!A1';
execute 'gdxxrw.exe AD2.gdx var=vMULCH rng=plastic_mulch!A1';
execute 'gdxxrw.exe AD2.gdx var=vFERT_UNITS rng=fert_units!A1';
execute 'gdxxrw.exe AD2.gdx var=vORG_FERT rng=org_fert!A1';
execute 'gdxxrw.exe AD2.gdx var=vTILLAGE rng=deep_tillage!A1';
~~~~~ SOLUTION
~~~~~*
*Traditional production unit in direct selling in zone 1 (DT1)
model SD1
/
all
/
;
IYIELDS (ACTIVITY,QUALITY)=YIELDS (ACTIVITY,QUALITY,'2');
TOTAL_AREA=1;
TOTAL_WORKFORCE=125;
MIN_WORKFORCE=0;
T_SELLING=0;
vAREA.up (SHORT_CYCLE (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (DS (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (NON_OF (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (LONG_CYCLE (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (RETAIL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_VIC_LOCAL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_TANG_LOCAL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_PROCESS (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_EXPORT (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (INNOV (ACTIVITY))=0;
Option MINLP = Bonmin;
solve SD1 using MINLP maximizing vMARGIN;
execute unload
'SD1.gdx',vAREA,vWORKFORCE,vSUBS_WORKFORCE,vSUBSIDIES,vMARGIN,vSOLD,vNB_TREATM
ENTS,vORG_TREATMENTS,vHERBICIDE,vMULCH,vFERT_UNITS,vORG_FERT,vTILLAGE;
execute 'gdxxrw.exe SD1.gdx var=vAREA rng=area!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SD1.gdx var=vWORKFORCE rng=workforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SD1.gdx var=vSUBS_WORKFORCE rng=subsworkforce!A1 clear';

```

```

execute 'gdxxrw.exe SD1.gdx var=vSUBSIDIES rng=subsidies!A1';
execute 'gdxxrw.exe SD1.gdx var=vMARGIN rng=margin!A1';
execute 'gdxxrw.exe SD1.gdx var=vSOLD rng=v_sold!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SD1.gdx var=vNB_TREATMENTS rng=nb_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe SD1.gdx var=vORG_TREATMENTS rng=org_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe SD1.gdx var=vHERBICIDE rng=herbicide!A1';
execute 'gdxxrw.exe SD1.gdx var=vMULCH rng=plastic_mulch!A1';
execute 'gdxxrw.exe SD1.gdx var=vFERT_UNITS rng=fert_units!A1';
execute 'gdxxrw.exe SD1.gdx var=vORG_FERT rng=org_fert!A1';
execute 'gdxxrw.exe SD1.gdx var=vTILLAGE rng=deep_tillage!A1';
*~~~~~ SOLUTION
~~~~~*
*Traditional production unit in direct selling in zone 2 (DT2)
model SD2
/
all
/
;
IYIELDS (ACTIVITY,QUALITY)=YIELDS (ACTIVITY,QUALITY,'3');
TOTAL_AREA=1;
TOTAL_WORKFORCE=125;
MIN_WORKFORCE=0;
T_SELLING=0;
vAREA.up (LONG_CYCLE (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (DS (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (NON_OF (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (SHORT_CYCLE (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (RETAIL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_VIC_LOCAL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_TANG_LOCAL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_PROCESS (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_EXPORT (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (INNOV (ACTIVITY))=0;
Option MINLP = Bonmin;
solve SD2 using MINLP maximizing vMARGIN;
execute_unload
'SD2.gdx',vAREA,vWORKFORCE,vSUBS_WORKFORCE,vSUBSIDIES,vMARGIN,vSOLD,vNB_TREATM
ENTS,vORG_TREATMENTS,vHERBICIDE,vMULCH,vFERT_UNITS,vORG_FERT,vTILLAGE;
execute 'gdxxrw.exe SD2.gdx var=vAREA rng=area!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SD2.gdx var=vWORKFORCE rng=workforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SD2.gdx var=vSUBS_WORKFORCE rng=subsworkforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SD2.gdx var=vSUBSIDIES rng=subsidies!A1';
execute 'gdxxrw.exe SD2.gdx var=vMARGIN rng=margin!A1';
execute 'gdxxrw.exe SD2.gdx var=vSOLD rng=v_sold!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SD2.gdx var=vNB_TREATMENTS rng=nb_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe SD2.gdx var=vORG_TREATMENTS rng=org_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe SD2.gdx var=vHERBICIDE rng=herbicide!A1';
execute 'gdxxrw.exe SD2.gdx var=vMULCH rng=plastic_mulch!A1';
execute 'gdxxrw.exe SD2.gdx var=vFERT_UNITS rng=fert_units!A1';
execute 'gdxxrw.exe SD2.gdx var=vORG_FERT rng=org_fert!A1';
execute 'gdxxrw.exe SD2.gdx var=vTILLAGE rng=deep_tillage!A1';
*~~~~~ SOLUTION
~~~~~*
*Standard production unit with retailers in zone 1 (RS1)
model SR1
/
ALL

```

```

/
;
IYIELDS (ACTIVITY,QUALITY)=YIELDS (ACTIVITY,QUALITY,'2');
TOTAL_AREA=2;
TOTAL_WORKFORCE=200;
MIN_WORKFORCE=0;
T_SELLING=32;
vAREA.up (SHORT_CYCLE (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (RETAIL (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (NON_OF (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (LONG_CYCLE (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (DS (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (COOP_VIC_LOCAL (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (COOP_TANG_LOCAL (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (COOP_PROCESS (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (COOP_EXPORT (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (INNOV (ACTIVITY) )=0;
Option MIP = Cbc;
solve SR1 using MIP maximizing vMARGIN;
execute_unload
'SR1.gdx',vAREA,vWORKFORCE,vSUBS_WORKFORCE,vSUBSIDIES,vMARGIN,vSOLD,vNB_TREATM
ENTS,vORG_TREATMENTS,vHERBICIDE,vMULCH,vFERT_UNITS,vORG_FERT,vTILLAGE;
execute 'gdxrw.exe SR1.gdx var=vAREA rng=area!A1 clear';
execute 'gdxrw.exe SR1.gdx var=vWORKFORCE rng=workforce!A1 clear';
execute 'gdxrw.exe SR1.gdx var=vSUBS_WORKFORCE rng=subworkforce!A1 clear';
execute 'gdxrw.exe SR1.gdx var=vSUBSIDIES rng=subsidies!A1';
execute 'gdxrw.exe SR1.gdx var=vMARGIN rng=margin!A1';
execute 'gdxrw.exe SR1.gdx var=vSOLD rng=v_sold!A1 clear';
execute 'gdxrw.exe SR1.gdx var=vNB_TREATMENTS rng=nb_treatments!A1';
execute 'gdxrw.exe SR1.gdx var=vORG_TREATMENTS rng=org_treatments!A1';
execute 'gdxrw.exe SR1.gdx var=vHERBICIDE rng=herbicide!A1';
execute 'gdxrw.exe SR1.gdx var=vMULCH rng=plastic_mulch!A1';
execute 'gdxrw.exe SR1.gdx var=vFERT_UNITS rng=fert_units!A1';
execute 'gdxrw.exe SR1.gdx var=vORG_FERT rng=org_fert!A1';
execute 'gdxrw.exe SR1.gdx var=vTILLAGE rng=deep_tillage!A1';
*~~~~~ SOLUTION
~~~~~*
*Standard production unit with retailers in zone 2 (RS2)
model SR2
/
ALL
/
;
IYIELDS (ACTIVITY,QUALITY)=YIELDS (ACTIVITY,QUALITY,'3');
TOTAL_AREA=2;
TOTAL_WORKFORCE=200;
MIN_WORKFORCE=0;
T_SELLING=32;
vAREA.up (LONG_CYCLE (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (RETAIL (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (NON_OF (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (SHORT_CYCLE (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (DS (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (COOP_VIC_LOCAL (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (COOP_TANG_LOCAL (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (COOP_PROCESS (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (COOP_EXPORT (ACTIVITY) )=0;

```

```

vAREA.up (INNOV (ACTIVITY)) =0;
Option MIP = Cbc;
solve SR2 using MIP maximizing vMARGIN;
execute_unload
'SR2.gdx', vAREA, vWORKFORCE, vSUBS_WORKFORCE, vSUBSIDIES, vMARGIN, vSOLD, vNB_TREATM
ENTS, vORG_TREATMENTS, vHERBICIDE, vMULCH, vFERT_UNITS, vORG_FERT, vTILLAGE;
execute 'gdxxrw.exe SR2.gdx var=vAREA rng=area!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SR2.gdx var=vWORKFORCE rng=workforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SR2.gdx var=vSUBS_WORKFORCE rng=subsworkforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SR2.gdx var=vSUBSIDIES rng=subsidies!A1';
execute 'gdxxrw.exe SR2.gdx var=vMARGIN rng=margin!A1';
execute 'gdxxrw.exe SR2.gdx var=vSOLD rng=v_sold!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SR2.gdx var=vNB_TREATMENTS rng=nb_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe SR2.gdx var=vORG_TREATMENTS rng=org_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe SR2.gdx var=vHERBICIDE rng=herbicide!A1';
execute 'gdxxrw.exe SR2.gdx var=vMULCH rng=plastic_mulch!A1';
execute 'gdxxrw.exe SR2.gdx var=vFERT_UNITS rng=fert_units!A1';
execute 'gdxxrw.exe SR2.gdx var=vORG_FERT rng=org_fert!A1';
execute 'gdxxrw.exe SR2.gdx var=vTILLAGE rng=deep_tillage!A1';
~~~~~ SOLUTION
~~~~~*
*Standard production unit in cooperative in zone 1 (CS1)
model SC1
/
ALL
/
;
IYIELDS (ACTIVITY, QUALITY) = YIELDS (ACTIVITY, QUALITY, '2');
TOTAL_AREA=2;
TOTAL_WORKFORCE=200;
MIN_WORKFORCE=0;
T_SELLING=16;
vAREA.up (SHORT_CYCLE (ACTIVITY)) =TOTAL_AREA;
vAREA.up (COOP_VIC_LOCAL (ACTIVITY)) =TOTAL_AREA;
vAREA.up (COOP_TANG_LOCAL (ACTIVITY)) =TOTAL_AREA;
vAREA.up (NON_OF (ACTIVITY)) =TOTAL_AREA;
vAREA.up (RETAIL (ACTIVITY)) =0;
vAREA.up (LONG_CYCLE (ACTIVITY)) =0;
vAREA.up (DS (ACTIVITY)) =0;
vAREA.up (COOP_PROCESS (ACTIVITY)) =0;
vAREA.up (COOP_EXPORT (ACTIVITY)) =0;
vAREA.up (INNOV (ACTIVITY)) =0;
Option MIP = Cbc;
solve SC1 using MIP maximizing vMARGIN;
execute_unload
'SC1.gdx', vAREA, vWORKFORCE, vSUBS_WORKFORCE, vSUBSIDIES, vMARGIN, vSOLD, vNB_TREATM
ENTS, vORG_TREATMENTS, vHERBICIDE, vMULCH, vFERT_UNITS, vORG_FERT, vTILLAGE;
execute 'gdxxrw.exe SC1.gdx var=vAREA rng=area!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SC1.gdx var=vWORKFORCE rng=workforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SC1.gdx var=vSUBS_WORKFORCE rng=subsworkforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SC1.gdx var=vSUBSIDIES rng=subsidies!A1';
execute 'gdxxrw.exe SC1.gdx var=vMARGIN rng=margin!A1';
execute 'gdxxrw.exe SC1.gdx var=vSOLD rng=v_sold!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SC1.gdx var=vNB_TREATMENTS rng=nb_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe SC1.gdx var=vORG_TREATMENTS rng=org_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe SC1.gdx var=vHERBICIDE rng=herbicide!A1';
execute 'gdxxrw.exe SC1.gdx var=vMULCH rng=plastic_mulch!A1';

```

```

execute 'gdxxrw.exe SC1.gdx var=vFERT_UNITS rng=fert_units!A1';
execute 'gdxxrw.exe SC1.gdx var=vORG_FERT rng=org_fert!A1';
execute 'gdxxrw.exe SC1.gdx var=vTILLAGE rng=deep_tillage!A1';
*~~~~~ SOLUTION
~~~~~*
*Standard production unit in cooperative in zone 2 (RS2)
model SC2
/
ALL
/
;
IYIELDS (ACTIVITY,QUALITY)=YIELDS (ACTIVITY,QUALITY,'3');
TOTAL_AREA=2;
TOTAL_WORKFORCE=200;
MIN_WORKFORCE=0;
T_SELLING=16;
vAREA.up (LONG_CYCLE (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (COOP_VIC_LOCAL (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (COOP_TANG_LOCAL (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (NON_OF (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (RETAIL (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (SHORT_CYCLE (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (DS (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (COOP_PROCESS (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (COOP_EXPORT (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (INNOV (ACTIVITY) )=0;
Option MIP = Cbc;
solve SC2 using MIP maximizing vMARGIN;
execute unload
'SC2.gdx',vAREA,vWORKFORCE,vSUBS_WORKFORCE,vSUBSIDIES,vMARGIN,vSOLD,vNB_TREATM
ENTS,vORG_TREATMENTS,vHERBICIDE,vMULCH,vFERT_UNITS,vORG_FERT,vTILLAGE;
execute 'gdxxrw.exe SC2.gdx var=vAREA rng=area!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SC2.gdx var=vWORKFORCE rng=workforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SC2.gdx var=vSUBS_WORKFORCE rng=subsworkforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SC2.gdx var=vSUBSIDIES rng=subsidies!A1';
execute 'gdxxrw.exe SC2.gdx var=vMARGIN rng=margin!A1';
execute 'gdxxrw.exe SC2.gdx var=vSOLD rng=v_sold!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SC2.gdx var=vNB_TREATMENTS rng=nb_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe SC2.gdx var=vORG_TREATMENTS rng=org_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe SC2.gdx var=vHERBICIDE rng=herbicide!A1';
execute 'gdxxrw.exe SC2.gdx var=vMULCH rng=plastic_mulch!A1';
execute 'gdxxrw.exe SC2.gdx var=vFERT_UNITS rng=fert_units!A1';
execute 'gdxxrw.exe SC2.gdx var=vORG_FERT rng=org_fert!A1';
execute 'gdxxrw.exe SC2.gdx var=vTILLAGE rng=deep_tillage!A1';
*~~~~~ SOLUTION
~~~~~*
*Standard production unit for processing in zone 1 (PS1)
model SP1
/
ALL
/
;
IYIELDS (ACTIVITY,QUALITY)=YIELDS (ACTIVITY,QUALITY,'2');
TOTAL_AREA=2;
TOTAL_WORKFORCE=200;
MIN_WORKFORCE=0;
T_SELLING=16;

```

```

vAREA.up (SHORT_CYCLE (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (COOP_PROCESS (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (NON_OF (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (RETAIL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (LONG_CYCLE (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (DS (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_VIC_LOCAL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_TANG_LOCAL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_EXPORT (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (INNOV (ACTIVITY))=0;
Option MIP = Cbc;
solve SP1 using MIP maximizing vMARGIN;
execute_unload
'SP1.gdx', vAREA, vWORKFORCE, vSUBS_WORKFORCE, vSUBSIDIES, vMARGIN, vSOLD, vNB_TREATM
ENTS, vORG_TREATMENTS, vHERBICIDE, vMULCH, vFERT_UNITS, vORG_FERT, vTILLAGE;
execute 'gdxxrw.exe SP1.gdx var=vAREA rng=area!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SP1.gdx var=vWORKFORCE rng=workforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SP1.gdx var=vSUBS_WORKFORCE rng=subsworkforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SP1.gdx var=vSUBSIDIES rng=subsidies!A1';
execute 'gdxxrw.exe SP1.gdx var=vMARGIN rng=margin!A1';
execute 'gdxxrw.exe SP1.gdx var=vSOLD rng=v_sold!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SP1.gdx var=vNB_TREATMENTS rng=nb_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe SP1.gdx var=vORG_TREATMENTS rng=org_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe SP1.gdx var=vHERBICIDE rng=herbicide!A1';
execute 'gdxxrw.exe SP1.gdx var=vMULCH rng=plastic_mulch!A1';
execute 'gdxxrw.exe SP1.gdx var=vFERT_UNITS rng=fert_units!A1';
execute 'gdxxrw.exe SP1.gdx var=vORG_FERT rng=org_fert!A1';
execute 'gdxxrw.exe SP1.gdx var=vTILLAGE rng=deep_tillage!A1';
~~~~~ SOLUTION
~~~~~*
*Standard production unit for processing in zone 2 (PS2)
model SP2
/
ALL
/
;
IYIELDS (ACTIVITY, QUALITY)=YIELDS (ACTIVITY, QUALITY, '3');
TOTAL_AREA=2;
TOTAL_WORKFORCE=200;
MIN_WORKFORCE=0;
T_SELLING=16;
vAREA.up (LONG_CYCLE (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (COOP_PROCESS (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (NON_OF (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (RETAIL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (SHORT_CYCLE (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (DS (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_VIC_LOCAL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_TANG_LOCAL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_EXPORT (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (INNOV (ACTIVITY))=0;
Option MIP = Cbc;
solve SP2 using MIP maximizing vMARGIN;
execute_unload
'SP2.gdx', vAREA, vWORKFORCE, vSUBS_WORKFORCE, vSUBSIDIES, vMARGIN, vSOLD, vNB_TREATM
ENTS, vORG_TREATMENTS, vHERBICIDE, vMULCH, vFERT_UNITS, vORG_FERT, vTILLAGE;
execute 'gdxxrw.exe SP2.gdx var=vAREA rng=area!A1 clear';

```

```

execute 'gdxxrw.exe SP2.gdx var=vWORKFORCE rng=workforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SP2.gdx var=vSUBS_WORKFORCE rng=subsworkforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SP2.gdx var=vSUBSIDIES rng=subsidies!A1';
execute 'gdxxrw.exe SP2.gdx var=vMARGIN rng=margin!A1';
execute 'gdxxrw.exe SP2.gdx var=vSOLD rng=v_sold!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SP2.gdx var=vNB_TREATMENTS rng=nb_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe SP2.gdx var=vORG_TREATMENTS rng=org_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe SP2.gdx var=vHERBICIDE rng=herbicide!A1';
execute 'gdxxrw.exe SP2.gdx var=vMULCH rng=plastic_mulch!A1';
execute 'gdxxrw.exe SP2.gdx var=vFERT_UNITS rng=fert_units!A1';
execute 'gdxxrw.exe SP2.gdx var=vORG_FERT rng=org_fert!A1';
execute 'gdxxrw.exe SP2.gdx var=vTILLAGE rng=deep_tillage!A1';
*~~~~~ SOLUTION
~~~~~*
*Standard production unit for export in zone 1 (ES1)
model SE1
/
ALL
/
;
IYIELDS (ACTIVITY,QUALITY)=YIELDS (ACTIVITY,QUALITY,'2');
TOTAL_AREA=2;
TOTAL_WORKFORCE=200;
MIN_WORKFORCE=0;
T_SELLING=16;
vAREA.up (SHORT_CYCLE (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (COOP_EXPORT (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (COOP_TANG_LOCAL (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (NON_OF (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (RETAIL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (LONG_CYCLE (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (DS (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_PROCESS (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_VIC_LOCAL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (INNOV (ACTIVITY))=0;
Option MIP = Cbc;
solve SE1 using MIP maximizing vMARGIN;
execute_unload
'SE1.gdx',vAREA,vWORKFORCE,vSUBS_WORKFORCE,vSUBSIDIES,vMARGIN,vSOLD,vNB_TREATM
ENTS,vORG_TREATMENTS,vHERBICIDE,vMULCH,vFERT_UNITS,vORG_FERT,vTILLAGE;
execute 'gdxxrw.exe SE1.gdx var=vAREA rng=area!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SE1.gdx var=vWORKFORCE rng=workforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SE1.gdx var=vSUBS_WORKFORCE rng=subsworkforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SE1.gdx var=vSUBSIDIES rng=subsidies!A1';
execute 'gdxxrw.exe SE1.gdx var=vMARGIN rng=margin!A1';
execute 'gdxxrw.exe SE1.gdx var=vSOLD rng=v_sold!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SE1.gdx var=vNB_TREATMENTS rng=nb_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe SE1.gdx var=vORG_TREATMENTS rng=org_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe SE1.gdx var=vHERBICIDE rng=herbicide!A1';
execute 'gdxxrw.exe SE1.gdx var=vMULCH rng=plastic_mulch!A1';
execute 'gdxxrw.exe SE1.gdx var=vFERT_UNITS rng=fert_units!A1';
execute 'gdxxrw.exe SE1.gdx var=vORG_FERT rng=org_fert!A1';
execute 'gdxxrw.exe SE1.gdx var=vTILLAGE rng=deep_tillage!A1';
*~~~~~ SOLUTION
~~~~~*
*Standard production unit for export in zone 2 (ES2)
model SE2

```

```

/
ALL
/
;
IYIELDS (ACTIVITY,QUALITY)=YIELDS (ACTIVITY,QUALITY,'3');
TOTAL_AREA=2;
TOTAL_WORKFORCE=200;
MIN_WORKFORCE=0;
T_SELLING=16;
vAREA.up (LONG_CYCLE (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (COOP_EXPORT (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (COOP_TANG_LOCAL (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (NON_OF (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (RETAIL (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (SHORT_CYCLE (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (DS (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (COOP_PROCESS (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (COOP_VIC_LOCAL (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (INNOV (ACTIVITY) )=0;
Option MIP = Cbc;
solve SE2 using MIP maximizing vMARGIN;
execute_unload
'SE2.gdx',vAREA,vWORKFORCE,vSUBS_WORKFORCE,vSUBSIDIES,vMARGIN,vSOLD,vNB_TREATM
ENTS,vORG_TREATMENTS,vHERBICIDE,vMULCH,vFERT_UNITS,vORG_FERT,vTILLAGE;
execute 'gdxxrw.exe SE2.gdx var=vAREA rng=area!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SE2.gdx var=vWORKFORCE rng=workforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SE2.gdx var=vSUBS_WORKFORCE rng=subsworkforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SE2.gdx var=vSUBSIDIES rng=subsidies!A1';
execute 'gdxxrw.exe SE2.gdx var=vMARGIN rng=margin!A1';
execute 'gdxxrw.exe SE2.gdx var=vSOLD rng=v_sold!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe SE2.gdx var=vNB_TREATMENTS rng=nb_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe SE2.gdx var=vORG_TREATMENTS rng=org_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe SE2.gdx var=vHERBICIDE rng=herbicide!A1';
execute 'gdxxrw.exe SE2.gdx var=vMULCH rng=plastic_mulch!A1';
execute 'gdxxrw.exe SE2.gdx var=vFERT_UNITS rng=fert_units!A1';
execute 'gdxxrw.exe SE2.gdx var=vORG_FERT rng=org_fert!A1';
execute 'gdxxrw.exe SE2.gdx var=vTILLAGE rng=deep_tillage!A1';
~~~~~ SOLUTION
~~~~~*
*Large production unit in cooperative in zone 1 (CL1)
model BC1
/
ALL
/
;
IYIELDS (ACTIVITY,QUALITY)=YIELDS (ACTIVITY,QUALITY,'2');
TOTAL_AREA=4;


*pas de limite de main d'oeuvre maximum


TOTAL_WORKFORCE=10000;
MIN_WORKFORCE=85;
T_SELLING=16;
vAREA.up (SHORT_CYCLE (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (COOP_VIC_LOCAL (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (COOP_TANG_LOCAL (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (NON_OF (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (RETAIL (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (LONG_CYCLE (ACTIVITY) )=0;

```

```

vAREA.up (DS (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (COOP_PROCESS (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (COOP_EXPORT (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (INNOV (ACTIVITY) )=0;
Option MIP = Cbc;
solve BC1 using MIP maximizing vMARGIN;
execute_unload
'BC1.gdx', vAREA, vWORKFORCE, vSUBS_WORKFORCE, vSUBSIDIES, vMARGIN, vSOLD, vNB_TREATM
ENTS, vORG_TREATMENTS, vHERBICIDE, vMULCH, vFERT_UNITS, vORG_FERT, vTILLAGE;
execute 'gdxxrw.exe BC1.gdx var=vAREA rng=area!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe BC1.gdx var=vWORKFORCE rng=workforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe BC1.gdx var=vSUBS_WORKFORCE rng=subsworkforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe BC1.gdx var=vSUBSIDIES rng=subsidies!A1';
execute 'gdxxrw.exe BC1.gdx var=vMARGIN rng=margin!A1';
execute 'gdxxrw.exe BC1.gdx var=vSOLD rng=v_sold!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe BC1.gdx var=vNB_TREATMENTS rng=nb_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe BC1.gdx var=vORG_TREATMENTS rng=org_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe BC1.gdx var=vHERBICIDE rng=herbicide!A1';
execute 'gdxxrw.exe BC1.gdx var=vMULCH rng=plastic_mulch!A1';
execute 'gdxxrw.exe BC1.gdx var=vFERT_UNITS rng=fert_units!A1';
execute 'gdxxrw.exe BC1.gdx var=vORG_FERT rng=org_fert!A1';
execute 'gdxxrw.exe BC1.gdx var=vTILLAGE rng=deep_tillage!A1';
~~~~~ SOLUTION
~~~~~*
*Large production unit in cooperative in zone 2 (CL2)
model BC2
/
ALL
/
;
IYIELDS (ACTIVITY, QUALITY) = YIELDS (ACTIVITY, QUALITY, '3');
TOTAL_AREA=4;
TOTAL_WORKFORCE=10000;
MIN_WORKFORCE=85;
T_SELLING=16;
vAREA.up (LONG_CYCLE (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (COOP_VIC_LOCAL (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (COOP_TANG_LOCAL (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (NON_OF (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (RETAIL (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (SHORT_CYCLE (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (DS (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (COOP_PROCESS (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (COOP_EXPORT (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (INNOV (ACTIVITY) )=0;
Option MIP = Cbc;
solve BC2 using MIP maximizing vMARGIN;
execute_unload
'BC2.gdx', vAREA, vWORKFORCE, vSUBS_WORKFORCE, vSUBSIDIES, vMARGIN, vSOLD, vNB_TREATM
ENTS, vORG_TREATMENTS, vHERBICIDE, vMULCH, vFERT_UNITS, vORG_FERT, vTILLAGE;
execute 'gdxxrw.exe BC2.gdx var=vAREA rng=area!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe BC2.gdx var=vWORKFORCE rng=workforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe BC2.gdx var=vSUBS_WORKFORCE rng=subsworkforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe BC2.gdx var=vSUBSIDIES rng=subsidies!A1';
execute 'gdxxrw.exe BC2.gdx var=vMARGIN rng=margin!A1';
execute 'gdxxrw.exe BC2.gdx var=vSOLD rng=v_sold!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe BC2.gdx var=vNB_TREATMENTS rng=nb_treatments!A1';

```

```

execute 'gdxxrw.exe BC2.gdx var=vORG_TREATMENTS rng=org_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe BC2.gdx var=vHERBICIDE rng=herbicide!A1';
execute 'gdxxrw.exe BC2.gdx var=vMULCH rng=plastic_mulch!A1';
execute 'gdxxrw.exe BC2.gdx var=vFERT_UNITS rng=fert_units!A1';
execute 'gdxxrw.exe BC2.gdx var=vORG_FERT rng=org_fert!A1';
execute 'gdxxrw.exe BC2.gdx var=vTILLAGE rng=deep_tillage!A1';
~~~~~ SOLUTION
~~~~~*
*Large production unit for processing in zone 1 (PL1)
model BP1
/
ALL
/
;
IYIELDS (ACTIVITY,QUALITY)=YIELDS (ACTIVITY,QUALITY,'2');
TOTAL_AREA=4;
TOTAL_WORKFORCE=10000;
MIN_WORKFORCE=85;
T_SELLING=16;
vAREA.up (SHORT_CYCLE (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (COOP_PROCESS (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (NON_OF (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (RETAIL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (LONG_CYCLE (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (DS (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_VIC_LOCAL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_TANG_LOCAL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_EXPORT (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (INNOV (ACTIVITY))=0;
Option MIP = Cbc;
solve BP1 using MIP maximizing vMARGIN;
execute_unload
'BP1.gdx',vAREA,vWORKFORCE,vSUBS_WORKFORCE,vSUBSIDIES,vMARGIN,vSOLD,vNB_TREATM
ENTS,vORG_TREATMENTS,vHERBICIDE,vMULCH,vFERT_UNITS,vORG_FERT,vTILLAGE;
execute 'gdxxrw.exe BP1.gdx var=vAREA rng=area!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe BP1.gdx var=vWORKFORCE rng=workforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe BP1.gdx var=vSUBS_WORKFORCE rng=subsworkforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe BP1.gdx var=vSUBSIDIES rng=subsidies!A1';
execute 'gdxxrw.exe BP1.gdx var=vMARGIN rng=margin!A1';
execute 'gdxxrw.exe BP1.gdx var=vSOLD rng=v_sold!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe BP1.gdx var=vNB_TREATMENTS rng=nb_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe BP1.gdx var=vORG_TREATMENTS rng=org_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe BP1.gdx var=vHERBICIDE rng=herbicide!A1';
execute 'gdxxrw.exe BP1.gdx var=vMULCH rng=plastic_mulch!A1';
execute 'gdxxrw.exe BP1.gdx var=vFERT_UNITS rng=fert_units!A1';
execute 'gdxxrw.exe BP1.gdx var=vORG_FERT rng=org_fert!A1';
execute 'gdxxrw.exe BP1.gdx var=vTILLAGE rng=deep_tillage!A1';
~~~~~ SOLUTION
~~~~~*
*Large production unit for processing in zone 2 (PL2)
model BP2
/
ALL
/
;
IYIELDS (ACTIVITY,QUALITY)=YIELDS (ACTIVITY,QUALITY,'3');
TOTAL_AREA=4;

```

```

TOTAL_WORKFORCE=10000;
MIN_WORKFORCE=85;
T_SELLING=16;
vAREA.up (LONG_CYCLE (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (COOP_PROCESS (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (NON_OF (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (RETAIL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (SHORT_CYCLE (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (DS (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_VIC_LOCAL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_TANG_LOCAL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_EXPORT (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (INNOV (ACTIVITY))=0;
Option MIP = Cbc;
solve BP2 using MIP maximizing vMARGIN;
execute unload
'BP2.gdx', vAREA, vWORKFORCE, vSUBS_WORKFORCE, vSUBSIDIES, vMARGIN, vSOLD, vNB_TREATM
ENTS, vORG_TREATMENTS, vHERBICIDE, vMULCH, vFERT_UNITS, vORG_FERT, vTILLAGE;
execute 'gdxxrw.exe BP2.gdx var=vAREA rng=area!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe BP2.gdx var=vWORKFORCE rng=workforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe BP2.gdx var=vSUBS_WORKFORCE rng=subsworkforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe BP2.gdx var=vSUBSIDIES rng=subsidies!A1';
execute 'gdxxrw.exe BP2.gdx var=vMARGIN rng=margin!A1';
execute 'gdxxrw.exe BP2.gdx var=vSOLD rng=v_sold!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe BP2.gdx var=vNB_TREATMENTS rng=nb_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe BP2.gdx var=vORG_TREATMENTS rng=org_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe BP2.gdx var=vHERBICIDE rng=herbicide!A1';
execute 'gdxxrw.exe BP2.gdx var=vMULCH rng=plastic_mulch!A1';
execute 'gdxxrw.exe BP2.gdx var=vFERT_UNITS rng=fert_units!A1';
execute 'gdxxrw.exe BP2.gdx var=vORG_FERT rng=org_fert!A1';
execute 'gdxxrw.exe BP2.gdx var=vTILLAGE rng=deep_tillage!A1';
*For the last two production units, the calculation of activities gross
margins is added.
equations
eGROSS_MARGIN_TANG                                calcul of the variable
eGROSS_MARGIN_VIC                                calcul of the variable
;
*Calculation of all the gross margins but only tangor margins are valid.
eGROSS_MARGIN_TANG (ACTIVITY) ..
vGROSS_MARGIN_TANG (ACTIVITY)
=E=
sum (MONTH, HARVEST (ACTIVITY, MONTH)) * sum (QUALITY, IYIELDS (ACTIVITY, QUALITY) * (PRIC
E_PRODUCT (ACTIVITY, QUALITY) + SUBSIDIES_T (ACTIVITY)))
+ SUBSIDIES_HA (ACTIVITY)
- INPUT_COST (ACTIVITY)
- sum (MONTH, NEED_WORKFORCE (ACTIVITY, MONTH) * COST_WORKFORCE)
- sum (MONTH, 70 * HARVEST (ACTIVITY, MONTH) * sum (QUALITY, IYIELDS (ACTIVITY, QUALITY)))
;
*Calculation of all the gross margins but only victoria margins are valid.
eGROSS_MARGIN_VIC (ACTIVITY) ..
vGROSS_MARGIN_VIC (ACTIVITY)
=E=
sum (MONTH, HARVEST (ACTIVITY, MONTH)) * sum (QUALITY, IYIELDS (ACTIVITY, QUALITY) * (PRIC
E_PRODUCT (ACTIVITY, QUALITY) + SUBSIDIES_T (ACTIVITY)))
+ SUBSIDIES_HA (ACTIVITY)
- INPUT_COST (ACTIVITY)
- sum (MONTH, NEED_WORKFORCE (ACTIVITY, MONTH) * COST_WORKFORCE)

```

```

-sum(MONTH,100*HARVEST (ACTIVITY,MONTH) *sum(QUALITY,IYIELDS (ACTIVITY,QUALITY) )
;
*~~~~~ SOLUTION
~~~~~*
*Large production unit for export en zone 1 (EL1)
model BE1
/
ALL
/
;
IYIELDS (ACTIVITY,QUALITY)=YIELDS (ACTIVITY,QUALITY,'2');
TOTAL_AREA=4;
TOTAL_WORKFORCE=10000;
MIN_WORKFORCE=85;
T_SELLING=16;
vAREA.up (SHORT_CYCLE (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (COOP_EXPORT (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (COOP_TANG_LOCAL (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (NON_OF (ACTIVITY) )=TOTAL_AREA;
vAREA.up (RETAIL (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (LONG_CYCLE (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (DS (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (COOP_PROCESS (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (COOP_VIC_LOCAL (ACTIVITY) )=0;
vAREA.up (INNOV (ACTIVITY) )=0;
Option MIP = Cbc;
solve BE1 using MIP maximizing vMARGIN;
execute_unload
'BE1.gdx',vAREA,vWORKFORCE,vSUBS_WORKFORCE,vSUBSIDIES,vMARGIN,vSOLD,vNB_TREATM
ENTS,vORG_TREATMENTS,vHERBICIDE,vMULCH,vFERT_UNITS,vORG_FERT,vTILLAGE,vGROSS_M
ARGIN_TANG,vGROSS_MARGIN_VIC;
execute 'gdxxrw.exe BE1.gdx var=vAREA rng=area!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe BE1.gdx var=vWORKFORCE rng=workforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe BE1.gdx var=vSUBS_WORKFORCE rng=subsworkforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe BE1.gdx var=vSUBSIDIES rng=subsidies!A1';
execute 'gdxxrw.exe BE1.gdx var=vMARGIN rng=margin!A1';
execute 'gdxxrw.exe BE1.gdx var=vSOLD rng=v_sold!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe BE1.gdx var=vNB_TREATMENTS rng=nb_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe BE1.gdx var=vORG_TREATMENTS rng=org_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe BE1.gdx var=vHERBICIDE rng=herbicide!A1';
execute 'gdxxrw.exe BE1.gdx var=vMULCH rng=plastic_mulch!A1';
execute 'gdxxrw.exe BE1.gdx var=vFERT_UNITS rng=fert_units!A1';
execute 'gdxxrw.exe BE1.gdx var=vORG_FERT rng=org_fert!A1';
execute 'gdxxrw.exe BE1.gdx var=vTILLAGE rng=deep_tillage!A1';
execute 'gdxxrw.exe BE1.gdx var=vGROSS_MARGIN_TANG rng=margin_tangor!A1';
execute 'gdxxrw.exe BE1.gdx var=vGROSS_MARGIN_VIC rng=margin_victoria!A1';
*~~~~~ SOLUTION
~~~~~*
*Large production unit for export en zone 2 (EL2)
model BE2
/
ALL
/
;
IYIELDS (ACTIVITY,QUALITY)=YIELDS (ACTIVITY,QUALITY,'3');
TOTAL_AREA=4;
TOTAL_WORKFORCE=10000;

```

```

MIN_WORKFORCE=85;
T_SELLING=16;
vAREA.up (LONG_CYCLE (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (COOP_EXPORT (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (COOP_TANG_LOCAL (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (NON_OF (ACTIVITY))=TOTAL_AREA;
vAREA.up (RETAIL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (SHORT_CYCLE (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (DS (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_PROCESS (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (COOP_VIC_LOCAL (ACTIVITY))=0;
vAREA.up (INNOV (ACTIVITY))=0;
Option MIP = Cbc;
solve BE2 using MIP maximizing vMARGIN;
execute unload
'BE2.gdx', vAREA, vWORKFORCE, vSUBS_WORKFORCE, vSUBSIDIES, vMARGIN, vSOLD, vNB_TREATM
ENTS, vORG_TREATMENTS, vHERBICIDE, vMULCH, vFERT_UNITS, vORG_FERT, vTILLAGE, vGROSS_M
ARGIN_TANG;
execute 'gdxxrw.exe BE2.gdx var=vAREA rng=area!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe BE2.gdx var=vWORKFORCE rng=workforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe BE2.gdx var=vSUBS_WORKFORCE rng=subsworkforce!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe BE2.gdx var=vSUBSIDIES rng=subsidies!A1';
execute 'gdxxrw.exe BE2.gdx var=vMARGIN rng=margin!A1';
execute 'gdxxrw.exe BE2.gdx var=vSOLD rng=v_sold!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe BE2.gdx var=vNB_TREATMENTS rng=nb_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe BE2.gdx var=vORG_TREATMENTS rng=org_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe BE2.gdx var=vHERBICIDE rng=herbicide!A1';
execute 'gdxxrw.exe BE2.gdx var=vMULCH rng=plastic_mulch!A1';
execute 'gdxxrw.exe BE2.gdx var=vFERT_UNITS rng=fert_units!A1';
execute 'gdxxrw.exe BE2.gdx var=vORG_FERT rng=org_fert!A1';
execute 'gdxxrw.exe BE2.gdx var=vTILLAGE rng=deep_tillage!A1';
execute 'gdxxrw.exe BE2.gdx var=vGROSS_MARGIN_TANG rng=margin_tangor!A1';

*ENTICIP model version for the production area.
*Adapted to scenarii on OF conversion on tangor and pineapple value chains in
La Réunion.
*~~~~~ INDICES
~~~~~*

sets
FARM                farm type (farm resources*geographical zone)
/AD1,AD2,SD1,SD2,SR1,SR2,SC1,SC2,BC1,BC2,SP1,SP2,BP1,BP2,SE1,SE2,BE1,BE2/
Z1 (FARM)           farms in low elevations
/AD1,SD1,SR1,SC1,BC1,SP1,BP1,SE1,BE1/
Z2 (FARM)           farms in high elevations
/AD2,SD2,SR2,SC2,BC2,SP2,BP2,SE2,BE2/
MONTH               month /1*12/
*Each activity corresponds to a market segment, except for long and short cycle
pineapple activities which correspond to the same market segment
MARKET              markets segments
/CTR,CTD,CTC,CTP,OTR,OTD,OTC,OTP,CVR,CVD,CVC,CVP,CVE,OV,OV,OV,OV,OV,OV,OV,OV/
;
*~~~~~ DATA ~~~~~*

scalar
*ENTICIP could limit the areas available in zone 1 and 2 (no limitation in our
example).
*After a first simulation run, the resulting total area is indicated here to
run a second simulation for environmental indicators.

```

```

AREA1                                arable land area in zone 1
/1/
AREA2                                arable land area in zone 1
/1/
AREA_TOT                             arable land area on the island
/626/
;
*The 2 following parameters are defined in an Excel file to describe the
scenario market context.
parameter
VOL_MAX(MARKET) maximal volume sold per market segment on the island
$CALL GDXXRW.EXE i=ParametersISLAND2.xlsx o=VOL_MAX.gdx par=VOL_MAX
rng=market_limits!A2:B19 rdim=1
$GDXIN VOL_MAX.gdx
$LOAD VOL_MAX
$GDXIN
;
parameter
VOL_MIN(MARKET) minimal volume sold per market segment on the island
$CALL GDXXRW.EXE i=ParametersISLAND2.xlsx o=VOL_MIN.gdx par=VOL_MIN
rng=market_limits!E2:F19 rdim=1
$GDXIN VOL_MIN.gdx
$LOAD VOL_MIN
$GDXIN
;
*The 12 following parameters are the outputs of the production units model.
*There are stored in Excel files.
parameter
pMARGIN(FARM)                        margin per farm type(euros)
$CALL GDXXRW.EXE i=ParametersISLAND2.xlsx o=pMARGIN.gdx par=pMARGIN
rng=margin!A2:B19 rdim=1
$GDXIN pMARGIN.gdx
$LOAD pMARGIN
$GDXIN
;
parameter
pAREA(FARM)                          cultivated area per farm type(ha)
$CALL GDXXRW.EXE i=ParametersISLAND2.xlsx o=pAREA.gdx par=pAREA
rng=resources!A2:B19 rdim=1
$GDXIN pAREA.gdx
$LOAD pAREA
$GDXIN
;
parameter
pWORKFORCE(FARM,MONTH)              workforce per farm type(h per month)
$CALL GDXXRW.EXE i=ParametersISLAND2.xlsx o=pWORKFORCE.gdx par=pWORKFORCE
rng=resources!D2:P19 rdim=1 cdim=1
$GDXIN pWORKFORCE.gdx
$LOAD pWORKFORCE
$GDXIN
;
parameter
pSUBSIDIES(FARM)                    total amount of subsidies per farm
type(euros)
$CALL GDXXRW.EXE i=ParametersISLAND2.xlsx o=pSUBSIDIES.gdx par=pSUBSIDIES
rng=margin!D2:E19 rdim=1
$GDXIN pSUBSIDIES.gdx

```

```

$LOAD pSUBSIDIES
$GDXIN
;
parameter
pVOL_SOLD(MARKET,FARM) volume sold per market segments per farm type
$CALL GDXXRW.EXE i=ParametersISLAND2.xlsx o=pVOL_SOLD.gdx par=pVOL_SOLD
rng=market!A2 rdim=1 cdim=1
$GDXIN pVOL_SOLD.gdx
$LOAD pVOL_SOLD
$GDXIN
;
parameter
pNB_TREATMENTS(FARM) mean number of protection treatments per ha per farm type
$CALL GDXXRW.EXE i=ParametersISLAND2.xlsx o=pNB_TREATMENTS.gdx
par=pNB_TREATMENTS rng=environment!A2:B19 rdim=1
$GDXIN pNB_TREATMENTS.gdx
$LOAD pNB_TREATMENTS
$GDXIN
;
parameter
pORG_TREATMENTS(FARM) mean percentage of organic protection treatments per
farm type
$CALL GDXXRW.EXE i=ParametersISLAND2.xlsx o=pORG_TREATMENTS.gdx
par=pORG_TREATMENTS rng=environment!D2:E19 rdim=1
$GDXIN pORG_TREATMENTS.gdx
$LOAD pORG_TREATMENTS
$GDXIN
;
parameter
pHERBICIDE(FARM) mean number of herbicide treatments per ha per farm type
$CALL GDXXRW.EXE i=ParametersISLAND2.xlsx o=pHERBICIDE.gdx par=pHERBICIDE
rng=environment!G2:H19 rdim=1
$GDXIN pHERBICIDE.gdx
$LOAD pHERBICIDE
$GDXIN
;
parameter
pMULCH(FARM) area with plastic mulch per farm type (ha)
$CALL GDXXRW.EXE i=ParametersISLAND2.xlsx o=pMULCH.gdx par=pMULCH
rng=environment!J2:K19 rdim=1
$GDXIN pMULCH.gdx
$LOAD pMULCH
$GDXIN
;
parameter
pFERT_UNITS(FARM) mean number of nitrogen units per ha per farm type
$CALL GDXXRW.EXE i=ParametersISLAND2.xlsx o=pFERT_UNITS.gdx par=pFERT_UNITS
rng=environment!M2:N19 rdim=1
$GDXIN pFERT_UNITS.gdx
$LOAD pFERT_UNITS
$GDXIN
;
parameter
pORG_FERT(FARM) mean percentage of nitrogen units from organic fertilizers per
farm type
$CALL GDXXRW.EXE i=ParametersISLAND2.xlsx o=pORG_FERT.gdx par=pORG_FERT
rng=environment!P2:Q19 rdim=1

```

```

$GDXIN pORG_FERT.gdx
$LOAD pORG_FERT
$GDXIN
;
parameter
pTILLAGE(FARM) area with highly disturbing soil preparation per farm type (ha)
$CALL GDXXRW.EXE i=ParametersISLAND2.xlsx o=pTILLAGE.gdx par=pTILLAGE
rng=environment!S2:T19 rdim=1
$GDXIN pTILLAGE.gdx
$LOAD pTILLAGE
$GDXIN
;
*~~~~~ MODEL ~~~~~*
integer variable
N(FARM) number of farms per farm type on the
island
;
*ENTICIP could limit the number of farms (max or min) per production unit
types.
N.up(FARM)=+INF;
*Potential variables to be maximized or minimized are defined as free
variables.
free variable
vTOT_SOLD Volume total of fruits produced on
the island (T)
vMARGIN total gross margin of all the
farmers(euros)
U Utilty corresponding to the demand
met by the production
;
positive variable
vTOT_SUBSIDIES total amount of subsidies for all the
island (euros)
vTOT_WORKFORCE(MONTH) number of people living from
agricultural activities per month
vSOLD(MARKET) volume sold per market segments on
the production area (T)
vNB_TREATMENTS mean number of protection treatments
per ha on the production area
vORG_TREATMENTS mean number of organic protection
treatments per ha on the production area
vHERBICIDE mean number of herbicide treatments
per ha on the production area
vMULCH area with plastic mulch on the
production area (ha)
vFERT_UNITS mean number of nitrogen units per ha
on the production area
vORG_FERT mean number of organic nitrogen units
per ha on the production area
vTILLAGE area with highly disturbing soil
tillage on the production area (ha)
;
equations
eOBJECTIVE calcul of the total production in the
production area
eMARGIN calcul of the variable
eMARKETING calcul of the total volume sold per market

```

```

eMAX_MARKETING          constraints on volumes sold per market
segment
eMARKET_TD              OF tangor can be sold as conventional
eMARKET_TR              OF tangor can be sold as conventional
eMARKET_TC              OF tangor can be sold as conventional
eMARKET_VD              OF victoria can be sold as conventional
eMARKET_VR              OF victoria can be sold as conventional
eMARKET_VC              OF victoria can be sold as conventional
eMARKET_VE              OF victoria can be sold as conventional
eMARKET_TP              OF tangor can be sold as conventional
eMARKET_VP              OF victoria can be sold as conventional
*eMIN_MARKETING         constraints on volumes sold per market
segment
*eLIMIT_AREA_OF         constraint to reach 15% of land area in OF
*eLIMIT_AREA1           constraint on arable land available in zone
1
*eLIMIT_AREA2           constraint on arable land available in zone
2
eTOT_WORKFORCE          calcul of the variable
eTOT_SUBSIDIES           calcul of the variable
*eLIM_SUBSIDIES         possible constraint on the maximum amount of
subsidies
eNB_TREATMENTS          calcul of the variable
eORG_TREATMENTS         calcul of the variable
eHERBICIDE              calcul of the variable
eMULCH                  calcul of the variable
eFERT_UNITS             calcul of the variable
eORG_FERT               calcul of the variable
eTILLAGE                 calcul of the variable
*eCUT                   test to seek other existing optimal solution
;
*In our example, the objective function is the total gross margin of the
production area.
eOBJECTIVE..
U
=E=
vMARGIN
;
eMARGIN..
sum (FARM, N (FARM) *pMARGIN (FARM) )
=E=
vMARGIN
;
eMARKETING (MARKET) ..
vSOLD (MARKET)
=E=
sum (FARM, N (FARM) *pVOL_SOLD (MARKET, FARM) )
;
*Constraints on volumes marketed at value chain scale : each market segment is
limited to a maximum.
eMAX_MARKETING (MARKET) ..
vSOLD (MARKET)
=L=
VOL_MAX (MARKET)
;
*The nine following equations allow to meet the OF potential demand with
conventional products (at convntional prices) if the OF production is lacking.

```

```

eMARKET_TD..
vSOLD('CTD')+vSOLD('OTD')
=L=
VOL_MAX('CTD')
;
eMARKET_TR..
vSOLD('CTR')+vSOLD('OTR')
=L=
VOL_MAX('CTR')
;
eMARKET_TC..
vSOLD('CTC')+vSOLD('OTC')
=L=
VOL_MAX('CTC')
;
eMARKET_TP..
vSOLD('CTP')+vSOLD('OTP')
=L=
VOL_MAX('CTP')
;
eMARKET_VD..
vSOLD('CVD')+vSOLD('OVD')
=L=
VOL_MAX('CVD')
;
eMARKET_VR..
vSOLD('CVR')+vSOLD('OVR')
=L=
VOL_MAX('CVR')
;
eMARKET_VC..
vSOLD('CVC')+vSOLD('OVC')
=L=
VOL_MAX('CVC')
;
eMARKET_VP..
vSOLD('CVP')+vSOLD('OVP')
=L=
VOL_MAX('CVP')
;
eMARKET_VE..
vSOLD('CVE')+vSOLD('OVE')
=L=
VOL_MAX('CVE')
;
$Ontext
ENTICIP could define minimum volumes to fullfil in each market segment.
eMIN_MARKETING(MARKET)..
vSOLD(MARKET)
=G=
VOL_MIN(MARKET)
;
ENTICIP could limit cultivated area in each zone.
eLIMIT_AREA1..
sum(Z1,pAREA(Z1)*N(Z1))
=L=
AREA1

```

```

;
eLIMIT_AREA2..
sum(Z2,pAREA(Z2)*N(Z2))
=L=
AREA2
;
$Offtext
eTOT_SUBSIDIES..
sum(FARM,pSUBSIDIES(FARM)*N(FARM))
=E=
vTOT_SUBSIDIES
;
*ENTICIP could limit the total amount of subsidies available (no limit in our
example).
*eLIM_SUBSIDIES..
*vTOT_SUBSIDIES
*=L=
*1000000
*;
eTOT_WORKFORCE(MONTH)..
sum(FARM,pWORKFORCE(FARM,MONTH)*N(FARM))/152
=E=
vTOT_WORKFORCE(MONTH)
;
*The 7 following equations calculate the environmental indicators at value
chain scale.
eNB_TREATMENTS..
vNB_TREATMENTS
=E=
sum(FARM,N(FARM)*pAREA(FARM)*pNB_TREATMENTS(FARM))
/AREA_TOT
;
eORG_TREATMENTS..
vORG_TREATMENTS
=E=
sum(FARM,N(FARM)*pAREA(FARM)*pNB_TREATMENTS(FARM)*(pORG_TREATMENTS(FARM)/100))
/AREA_TOT
;
eHERBICIDE..
vHERBICIDE
=E=
sum(FARM,N(FARM)*pAREA(FARM)*pHERBICIDE(FARM))
/AREA_TOT
;
eMULCH..
vMULCH
=E=
sum(FARM,N(FARM)*pMULCH(FARM))
;
eFERT_UNITS..
vFERT_UNITS
=E=
sum(FARM,N(FARM)*pAREA(FARM)*pFERT_UNITS(FARM))
/AREA_TOT
;
eORG_FERT..
vORG_FERT

```

```

=E=
sum(FARM,N(FARM)*pAREA(FARM)*pFERT_UNITS(FARM)*(pORG_FERT(FARM)/100))
/AREA_TOT
;
eTILLAGE..
vTILLAGE
=E=
sum(FARM,N(FARM)*pTILLAGE(FARM))
;
*The cut option enables to manually exclude the solution found to test if
other equivalent solutions exist.
*eCUT..
*abs(N('AD1')-6)
*=G=
*0;

model ModelIsland_Obj1
/
ALL
/
;
*~~~~~ SOLUTION
~~~~~*
Option MINLP = Bonmin;
solve ModelIsland_Obj1 using MINLP maximizing U;
*Model outputs are stored in a Excel file named Island2.
execute_unload
'Island2.gdx',N,vMARGIN,vSOLD,vTOT_WORKFORCE,vTOT_SUBSIDIES,vNB_TREATMENTS,vOR
G_TREATMENTS,vHERBICIDE,vMULCH,vFERT_UNITS,vORG_FERT,vTILLAGE;
execute 'gdxxrw.exe Island2.gdx var=N rng=farms!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe Island2.gdx var=vMARGIN rng=margin!A1';
execute 'gdxxrw.exe Island2.gdx var=vSOLD rng=v_sold!A1 clear';
execute 'gdxxrw.exe Island2.gdx var=vTOT_WORKFORCE rng=tot_workforce!A1
clear';
execute 'gdxxrw.exe Island2.gdx var=vTOT_SUBSIDIES rng=tot_subsidies!A1';
execute 'gdxxrw.exe Island2.gdx var=vNB_TREATMENTS rng=nb_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe Island2.gdx var=vORG_TREATMENTS rng=org_treatments!A1';
execute 'gdxxrw.exe Island2.gdx var=vHERBICIDE rng=herbicide!A1';
execute 'gdxxrw.exe Island2.gdx var=vMULCH rng=plastic_mulch!A1';
execute 'gdxxrw.exe Island2.gdx var=vFERT_UNITS rng=fert_units!A1';
execute 'gdxxrw.exe Island2.gdx var=vORG_FERT rng=org_fert!A1';
execute 'gdxxrw.exe Island2.gdx var=vTILLAGE rng=v_tillage!A1';

```

Annexe 7 : Version publiée du chapitre 2



Diverse dynamics in agroecological transitions on fruit tree farms



Marie Dupré^{a,*}, Thierry Michels^a, Pierre-Yves Le Gal^b

^a CIRAD, UPR HORTSYS, 97455 Saint-Pierre Cedex, France

^b CIRAD, UMR Innovation, F-34398 Montpellier, France

ARTICLE INFO

Keywords:

Farming practices
Farm typology
Drivers
Lock-in effects
Citrus
La Réunion

ABSTRACT

Agroecological transition refers to the adoption by farmers of practices based on on-farm biological processes rather than imported or non-renewable inputs. Drawing from a comprehensive survey of 31 diversified farms cultivating citrus on Réunion Island (Indian Ocean, France), this study aims to understand the diverse dynamics in farmers' agroecological transitions and to identify the factors and processes driving farmers' choices. The analysis considers both the current protection, fertilization and weed control practices implemented by farmers in their orchards and the trajectories of change they have followed over the last thirty years. Orchard management was categorized according to the kind of inputs mobilized (i.e., "synthetic inputs", "alternative off-farm inputs" and "alternative on-farm inputs"). Diverse managements were observed, targeting security, autonomy, ecology or simplicity. The six types of practice trajectories identified illustrate the diverse and incremental nature of agroecological transition. Drawing from these results, drivers of alternative practice adoption and lock-in effects in synthetic input reliance were characterized. Internal drivers, depending directly on the farmer and his/her farm, included the characteristics of the orchard and its environment, the labor force, and the farmer's environmental concerns. External drivers included local citrus markets, public legislation, access to extension services, the organization of input supply and the social environment. The combination of these internal and external drivers at the farm level makes each farm relatively unique. However, three factors determine the main differences in practices: the marketing channel used, the farmer's environmental objectives, and the farmer's economic behavior, which is linked to the weight of the crop activity in farm revenue. Understanding farmers' points of view and decisions regarding agroecological transition deserves the attention of scientists, agricultural advisors and policy makers when designing innovative cropping systems, new support methodologies and incentives to respond effectively to farmers' objectives and contexts of action.

1. Introduction

A key challenge facing agricultural sciences is to identify ways to support farmers' efforts to reduce the negative impacts of agriculture on health and the environment while increasing global food security. Agroecology is increasingly proposed as a solution (De Schutter, 2012), but this complex concept remains difficult to translate into agricultural practices. A strict definition considers practices to be agroecological when they rely only on on-farm biological processes (Rosset and Altieri, 1997). A broader definition also includes practices such as physical control or off-farm biological inputs (Wezel et al., 2014). Regardless of the definition used, agroecological practices are supposed to reduce the use and negative environmental impacts of synthetic inputs.

Many research studies have aimed to define and evaluate at the plot level the best practices based on agroecological principles (Reckling et al., 2016). Only a few have focused on understanding how farmers shift from conventional practices (i.e., based on synthetic inputs) to

agroecological ones by taking into account the whole farm level, considered as a system (Le Gal et al., 2010). These studies have investigated either the diversity of farmers' current practices or their trajectories of practice changes. Analyses of current practices have sought to clarify the reasons alternative practices are adopted, based either on statistical analyses of quantitative questionnaires applied to large samples (Epule and Bryant, 2016; Fairweather and Campbell, 2003) or in-depth explorations of a few case studies (Brodt et al., 2007). Studies based on statistical analyses have highlighted interactions between socio-economic characteristics of farms/farmers and current practices (Pannell et al., 2006). Meanwhile, studies based on case studies have highlighted the drivers of current practices, such as marketing channels and farmers' social, economic and environmental goals (Pissonnier et al., 2016). Analyses of the trajectories of practice changes have focused on either all of the activities on a farm or specific farming activities. At the farm scale, increased agrobiodiversity and off-farm activities have been described as being part of the agroecological transition process (Blesh

* Corresponding author.

E-mail addresses: marie.dupre@cirad.fr, mariedupre92@gmail.com (M. Dupré), thierry.michels@cirad.fr (T. Michels), pierre-yves.le_gal@cirad.fr (P.-Y. Le Gal).

and Wolf, 2014). At the scale of the cropping system, multiple pathways of synthetic input reduction have been described, but disconnected from explanative elements of farm context (Chantre et al., 2015; Lamine, 2011). These trajectories differ in terms of the timeline of intermediary steps classified with the “Efficiency-Substitution-Redesign” (ESR) framework (Hill and MacRae 1996). This framework assumes that farmers first move from an intensive use of synthetic inputs to a more rational use of synthetic inputs to improve “efficiency” (E). They then move to a “substitution” (S) of synthetic inputs by non-synthetic ones, used exactly in the same way and for the same purpose. Eventually, they “redesign” (R) the entire system as an agro-ecosystem based on ecological processes rather than external inputs (e.g., introduction of legumes in the crop sequence). Two weaknesses of the ESR framework limit understanding of farmers’ transitions: (i) the three steps may be implemented at the same time by a farmer at the scale of crop management (Chantre and Cardona 2014); and (ii) some practices are difficult to classify as either “substitution” or “redesign”. For instance, mechanical mowing may correspond to a simple substitution of equipment and inputs or may be part of a redesign strategy aiming to improve biological control.

Most studies of agroecological transition trajectories have focused on farmers who are deeply involved in the transition process. Knowledge is lacking on the trajectories of other farmers, although they remain in the majority. Moreover, to the best of the author’s knowledge, no study has jointly analyzed the drivers of farmers’ choices in both their current practices and their trajectories of practice changes, although these two areas could provide complementary findings. This paper aims to fill these gaps by describing the dynamics of the agroecological transitions of all of the diverse types of citrus farmers and farms on Réunion Island, and clarify the drivers of these transitions. Knowledge about the objectives and constraints of farmers and the progressiveness of change at the farm level should improve the way scientists design innovative cropping/livestock systems by including adoptability in the design process. Policy makers and agricultural extension services could also benefit from this knowledge by adjusting their support of agroecological transition to different farm situations.

The study is based on a comprehensive survey of 31 farms cultivating citrus combined with others crops and livestock on Réunion Island (Indian Ocean, France). This context presents particularly interesting characteristics for studying agroecological transition at the farm level. Firstly, fruit tree farms face high pressure from pests and diseases with constraints such as the absence of annual crop succession, but also enjoy opportunities to enhance conservation biological control, such as the permanence of habitats (Simon et al., 2017). Secondly, Réunion Island applies public regulations and objectives regarding pesticide usage both at European (e.g., the Pesticides Directive 2009/128/EC) and French levels (e.g., Ecophyto 2), which should encourage farmers’ dynamics of change. Thirdly, perennial citrus crops are traditionally grown in orchards in contrasting environments with regard to altitude, crop combinations and marketing channels. This diversity enables a large range of situations to be explored within a small sample of farms. Three management dimensions (protection, fertilization and weed control) were jointly studied to evaluate the progressiveness of change within each farm. These management dimensions were chosen for their range of input use, from conventional synthetic ones to agroecological alternatives, following the broad definition of agroecology. The agronomic, political and economic context of citrus production on Réunion Island is first presented to ground the case study in its explanatory context. An alternative to the ESR framework is then developed in the case study. Current farmers’ practices and trajectories of practice changes are described combining two approaches to construct farm typologies. The drivers behind and barriers to agroecological transition are formalized. Finally, the contributions of the study to research on sustainable farming transitions are discussed.

2. Materials and methods

2.1. Context

Réunion is a small island (2512 km²) in the southwestern part of the Indian Ocean (21°S, 55°E). Due to the mountainous relief, the citrus production area includes a range of altitudes (0–1200 m), average annual rainfall (from 500 to 3500 mm) and temperature conditions (from +15 °C to +25 °C). Compared to Mediterranean regions, citrus face high pest pressure which damages visual quality.

More than 25 species and varieties of citrus are grown on the island. The main cultivars grown are mandarins (*Citrus reticulata* Blanco), oranges (*Citrus sinensis* (L.) Osb.) and lemons (*Citrus limon* (L.) Burm), while combavas (*Citrus hystrix* DC.) and limes (*Citrus aurantiifolia* (Christm.) Swing. and *Citrus latifolia* Tanaka) correspond to niche markets with higher added-value. Most farms combine several citrus species and varieties in their orchards.

At the beginning of the 1960s, local citrus farmers were supported by a reliable network of public extension services. In the 1980s, mainstream orchard management was based on synthetic inputs (systematic synthetic pesticide applications, synthetic fertilizers and chemical weeding in ranks and alleys) (Grisoni et al., 1993). The first agri-environmental measures were proposed to farmers in the late 1990s, when the public extension services supported farmers to establish permanent grass cover in inter-rows controlled with mechanical weeding to reduce erosion. In the 2000s, the extension services began to provide information about the role of grass cover in biological control and to test cover crops with legumes on farmers’ plots. Farmers were also supported in the adoption of chemical traps, biopesticides and removal of fallen fruits. More recently, in the 2010s, support has been given to farmers to recycle wood from pruning instead of burning it to increase soil organic matter.

Since the 1960s, citrus have been sold by farmers to local retailers or directly on street markets. From the 2000 s onwards, public policies have encouraged the formation of co-operatives to integrate farmers into the formal economy, which currently includes only 10% of the Island’s total citrus area. By joining a cooperative, farmers gain access to public subsidies ranging from 195 to 375€/ton of citrus fruit; subsidies can be even higher if the farmer is part of a quality certification process such as organic farming (OF). Cooperative members benefit from technical support for some alternative practices such as mechanical weeding and inundative biological control. Cooperatives mainly sell to local supermarkets. The marketing of citrus thus uses various channels (see Table 1).

2.2. In-depth exploration of farm case studies

A case-study based methodology was chosen as the most relevant

Table 1
Characteristics of the marketing channels used for the hybrid “Tangor” (source: own survey conducted in 2015).

Marketing channel	Selling price (€/kg)	Requirements
Juice producers	0.9	Small fruits
Local retailers	[0.8–1.8]	Large fruits with no visual damage
Cooperatives	[0.9–1.3]	Large fruits with no visual damage
Cooperatives with OF ^a label	[1.8–2.2]	Large fruits with no visual damage – OF label
Direct selling	1.8	Large fruits with no visual damage
Direct selling with OF label	2.8	No biopesticide residues on fruits – OF label

^a Organic Farming.

Table 2

Distribution of agricultural techniques regarding protection, fertilization and weed control in citrus orchards according to the degree of change in inputs.

	Conventional management	Alternative management with off-farm inputs	Alternative management with on-farm processes
Protection	Synthetic pesticides Copper Sulfur	Biopesticides Release of natural enemies Traps Nets Removal of fallen fruits	Conservation biological control (e.g., flower strips, trap plants)
Fertilization	Synthetic fertilizers	Off-farm organic fertilizers	Nutrients recycling (e.g., green manure, livestock integration, restitution of crop residues)
Weed control	Herbicide	Plastic or natural mulch Mowing Tillage	Biological competition (e.g., cover crop, pasture)

approach to tackling an issue as complex as farmers' agroecological transitions (Blesh and Wolf, 2014). This methodology consists in studying a limited number of cases but within their individual contexts to understand their historical and environmental specificities (Eisenhardt and Graebner, 2007). Since the study aimed to cover the diversity of current citrus-based farming systems, the sample included a wide range of farms and not only ones already involved in radical changes (Nave et al., 2013).

Due to the lack of an official list of citrus producers, farmers were contacted directly at open-air markets or through various stakeholders: public extension agents, private advisors, sellers of alternative inputs, consumers' organizations, certifying bodies and cooperatives. The final sample was diversified by selecting farmers based on three easily available farm characteristics that potentially impact crop management choices (Bellon et al., 2001; Pissonnier et al., 2016): main marketing channel, OF certification and citrus orchard area. A minimum orchard area of 0.2 ha (i.e., about 80 citrus trees) was considered to avoid cases of subsistence production. The final sample comprised 31 farms and 83 ha of citrus orchards, corresponding to 6% of the farms cultivating citrus and 27% of the total estimated citrus area in La Réunion (Agreste, 2014).

Farmers were surveyed between December 2015 and September 2016. Face-to-face interviews were conducted during one to three hours and were combined with orchard observations. Some farmers were met twice to build trust and collect missing data. The objective of these semi-structured surveys was to understand each farmer's management strategy. They consequently were structured around an open discussion of the following four main points:

- Current and past practices implemented in the citrus orchard were listed, and farmers were directly asked to identify what drove their choices and changes. How practices evolved was assessed from the beginning of the citrus activity to the moment of the survey. This discussion explored farmers' awareness of the toxicity of inputs, biological processes, their interest in innovation and expectations regarding comfort at work. The choices of practices were grounded in the environmental context of pest pressure, climate, topography and soils.
- Quantitative and qualitative data about farm structure (land, labor force and equipment) were collected to understand the context of the citrus activity. The budget and time dedicated to citrus can be deduced from these data.
- Information on farm functioning also was collected: work organization, marketing channels and involvement in social networks. Marketing strategy was deduced from the choice of marketing channels, the selling prices of citrus, the volume of citrus produced and the yield and visual quality objectives.
- Farmers' current satisfaction and their short and long-term projects were discussed. Satisfaction with current economic results, taking into account potential off-farm revenues and the number of persons living on the revenues generated by the farm, even family or employees, indicate the global economic objectives of a farmer.

The rank of the citrus activity in income generation gives an indication of the economic objective of the citrus activity and the risks taken in this activity. The farmers' interactions with social networks clarify whether a pursuit of prestige is driving their farming choices.

2.3. Designing typologies of farms and practice trajectories focused on agroecological transition

Typologies are useful tools to assist in-depth farming analysis through the simplification of multiple diverse cases into typical groups (Kuivanen et al., 2016; Landais, 1998). Generic phenomena are easier to identify in these roughly homogeneous groups. In a first step, statistic tools were used to create management types following a methodology formalized in previous studies (Köbrich et al., 2003).

Potential practices in tropical orchards identified by Bruchon et al. (2015) were grouped into three management categories reflecting various degrees of change in relation to the nature and origins of inputs used (Table 2). The reference category was 'conventional management', grouping together the practices implemented before the 1990s: use of synthetic pesticides, synthetic fertilizers, copper and sulfur. The 'off-farm alternative management' category groups the practices where the nature of inputs was changed (no more agrochemicals) but not their origin (inputs are still imported). It includes the use of organic inputs and physical control based on fuel (mechanical weeding) or plastic (traps and nets). The 'on-farm alternative management' category includes conservation biological control, nutrients recycling and biological competition. It corresponds to a change both in the nature of inputs (only organic inputs) and their origin (on-farm). Each farmer's citrus management was described, for each of the management dimensions examined (protection, fertilization and weed control), by the use or not ("yes" or "no") of each input category. The management was thus coded with 9 qualitative variables with 2 modalities: "yes" or "no". Each variable was coded "yes" when the farmer implemented at least one of the practices of the category in 2015–2016 in his/her citrus orchard, "no" otherwise. The intensity and extent of use of a practice (quantity of inputs or percentage of the orchard treated) was not taken into account since few farmers recorded these figures. A similar choice has been made in previous works (Brodt et al., 2007).

A Multiple Correspondence Analysis (MCA) was conducted based on the nine binary variables. Farms were then grouped into farm types using an Agglomerative Hierarchical Clustering (AHC) algorithm using the results of the MCA as input variables. Analyses were executed in R (version 3.3.2) with the FactoMineR package (version 1.34) (Josse, 2008). The management types were then enriched with the description of the farmers' underlying strategy. The typology produced was finally proposed to local experts for validation.

The farm trajectories towards agroecology were then analyzed by considering the adoption of alternative practices and the ending of reliance on synthetic inputs. As information on past orchard management was less accurate, they were described more simply. For each farm, a "technical score" was calculated for four dates (1980, 1990, 2000 and

Table 3

The 18 modalities of the data set and their contributions (%) to the construction of the two first axes (Dim. 1 and Dim. 2) of the MCA. Each of the nine variables take two modalities: “yes” when the management is implemented, “no” otherwise.

No	Modality	Name	Dim. 1	Dim. 2
1	Presence of conventional protection	CONV.PROT._yes	8.624	0.055
2	Absence of conventional protection	CONV.PROT._no	18.110	0.115
3	Presence of conventional fertilization	CONV.FERT._yes	12.241	0.225
4	Absence of conventional fertilization	CONV.FERT._no	16.949	0.311
5	Presence of conventional weed control	CONV.WEED._yes	8.145	0.187
6	Absence of conventional weed control	CONV.WEED._no	12.897	0.295
7	Presence of alternative off-farm protection	ALT.OFF.PROT._yes	5.724	2.930
8	Absence of alternative off-farm protection	ALT.OFF.PROT._no	9.063	4.639
9	Presence of alternative off-farm fertilization	ALT.OFF.FERT._yes	0.464	1.450
10	Absence of alternative off-farm fertilization	ALT.OFF.FERT._no	0.564	1.761
11	Presence of alternative off-farm weed control	ALT.OFF.FERT._yes	0.035	2.722
12	Absence of alternative off-farm weed control	ALT.OFF.FERT._no	0.329	25.403
13	Presence of alternative on-farm protection	ALT.ON.PROT._yes	5.031	3.669
14	Absence of alternative on-farm protection	ALT.ON.PROT._no	0.745	0.544
15	Presence of alternative on-farm fertilization	ALT.ON.FERT._yes	0.576	23.320
16	Absence of alternative on-farm fertilization	ALT.ON.FERT._no	0.274	11.105
17	Presence of alternative on-farm weed control	ALT.ON.FERT._yes	0.200	18.525
18	Absence of alternative on-farm weed control	ALT.ON.FERT._no	0.030	2.744

2010) to represent the use of alternative and synthetic inputs (see Fig. 3 for its definition). Farmers with similar “technical score” sequences were grouped in the same trajectory group.

By comparing the actual practices adopted with the farmers’ stated reasoning, it was possible to identify the factors driving the adoption of alternative practices and those locking farmers into the continued use of synthetic inputs. A driver was defined as “any natural or human induced factor that directly or indirectly brings about change in an agricultural production system” (Hazell and Wood, 2008). In contrast, a barrier effect prevents farmers from changing their systems.

3. Results

3.1. A diversity of citrus management types explained by strategies at the farm level

Four management types (MT) were identified based on the combination of MCA and CAH. Absence of conventional protection, fertilization and weed control, and presence of conventional fertilization are the modalities that contributed the most to the first MCA axis (Table 3), i.e., more than twice the mean contribution according to the criteria of Cibois (1997). This axis (Dim. 1) opposed farmers using conventional fertilization (MT1) on the left side to farmers banning all synthetic inputs on the right side (MT3) (Fig. 1, Suppl. Mat. 1). Absence of alternative off-farm weed control and of alternative on-farm fertilization, and presence of alternative on-farm fertilization and weed control are the modalities that contributed the most to the second axis. This axis (Dim. 2) opposed farmers not implementing alternative off-farm weed control nor alternative on-farm fertilization on the top (MT4) to farmers implementing both alternative on-farm fertilization and weed control at the bottom (MT2). These two dimensions explain 49% of the data variance.

These four management types are analyzed below with the complementary data from the in-depth surveys: management practices (Table 4), farm characteristics (Fig. 2), marketing strategy (Table 5) and farmer’s objectives. Among farmers of the same management type, different strategies were identified, demonstrating that there are diverse reasons for implementing comparable practices.

3.1.1. MT1: “Security management”

MT1 is characterized by the farmer’s reliance on synthetic pesticides and fertilizers combined with alternative practices such as bio-pesticides, chemical traps or preventive removal of fallen fruits in order to achieve high yields and perfect visual quality. Citrus is a major

economic crop on their farms. This management type encompasses three types of strategies.

(S1) Business-oriented strategy: farmers seek to maximize revenues through high volumes of large and undamaged fruits to control a part of the local market and negotiate high prices directly with retailers. Located at low elevations (under 100 m), they grow citrus with high added-value such as combavas and limes. They have large farms, large labor forces and young productive orchards (less than 15 years old).

(S2) Zero-risk strategy: farmers seek to obtain large and undamaged fruits to fulfill the demands of cooperatives or loyal local retailers. While these marketing channels are reliable and involve little work for farmers, their purchasing prices are medium to low. Farmers therefore aim to achieve high yields and reduce costs to maximize revenues while minimizing both economic and technical risks. To do so, they use cheap sources of nutrients such as wood pruning or blood and bone meal, and none employ hired labor.

(S3) Prestige strategy: farmers target high yields as a way to be considered “good farmers”. Prestige is also based on farm size, number of employees and eco-friendly practices. With the exception of one farmer, who produces only one ton and sells to local retailers, farmers sell citrus to cooperatives in order to secure the commercialization of large fruit volumes. They consequently use synthetic inputs to protect fruit visual quality. They are more innovative and less risk averse than S2 farmers, and they implement some expensive alternative practices such as the release of natural enemies or fertilization with imported organic fertilizers to both reduce synthetic inputs and increase yields.

3.1.2. MT2: “Greater autonomy management”

MT2 is characterized by a reliance on mechanical weeding and cover crops with legumes. Farmers choose this management type because they aim to both minimize negative environmental impacts and maximize revenues by reducing the costs of labor and inputs. Like MT1 farmers, citrus is a major economic crop on their farms. These objectives correspond to one strategy based on the reduction of off-farm inputs.

(S4) Greater autonomy strategy: farmers market their fruits through conventional channels (local retailers, cooperatives, street markets) in the absence of organic farming certification and of niche markets for agroecological products. While protection practices are similar to those of MT1, aiming to secure large and undamaged fruits to fulfill the demands of their marketing channels, other practices try to conciliate low costs and low environmental impacts. For this, cover crops with legumes are adopted to reduce mowing frequency and to provide a free source of nitrogen. Fertilization and weeding are based on inexpensive

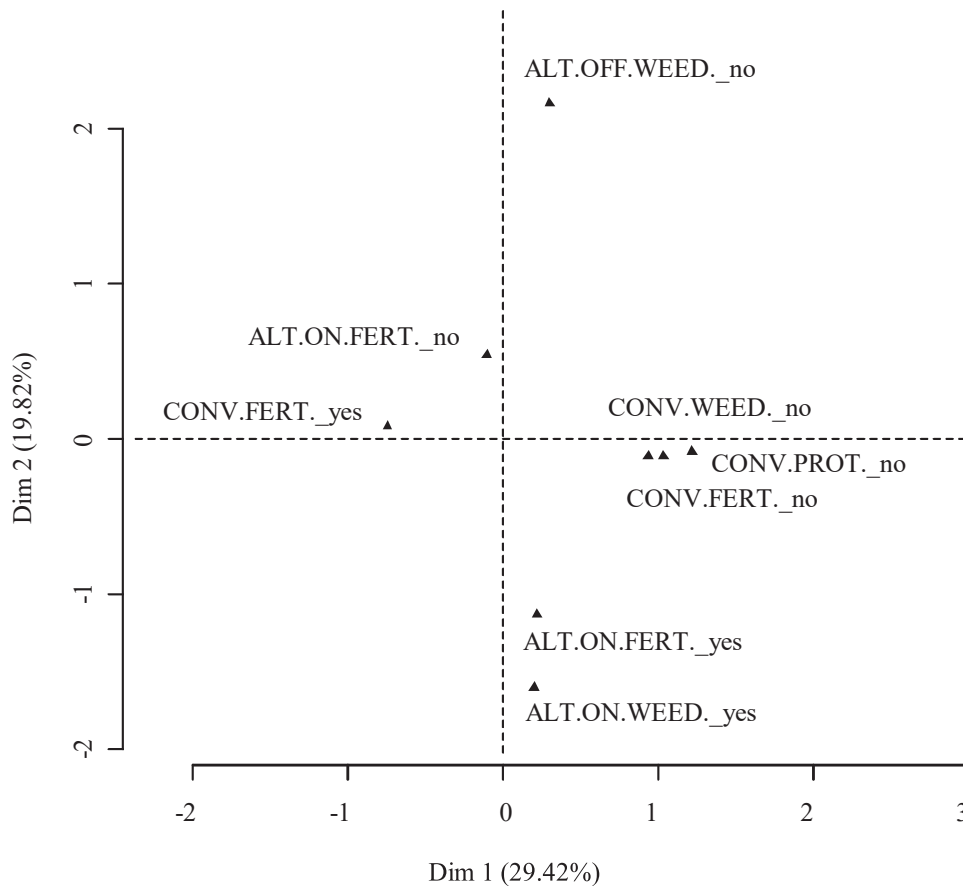


Fig. 1. Representation of the modalities contributing more than twice the mean contribution on the first factorial plan.

Table 4

Adoption of management practices according to the management type [MT_i] and the farmer's strategy [S_j] (% of farms adopting a given practice per S_j).

	MT1			MT2		MT3		MT4		
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	Total	
Number of farms	2	7	7	4	3	5	1	2	31	
Protection practices										
Synthetic pesticides/ Copper/Sulfur	100	100	86	50	33	20	–	100	68	
Chemical traps	50	71	57	50	–	40	–	–	45	
Biopesticides	50	71	57	20	–	40	–	–	42	
Preventive removal of fallen fruits	–	57	28	25	–	20	–	–	26	
Insect-proof nets/Micro- soaking	–	–	14	–	–	20	–	–	6	
Release of natural enemies	–	–	14	–	–	–	–	–	3	
Trap plants/Flower strips	–	–	–	–	–	60	–	–	10	
Fertilization practices										
Synthetic fertilizers	100	71	100	50	–	–	–	100	58	
Manure/Compost	50	14	28	–	66	80	–	–	32	
Processed animal wastes (e.g., meals)	–	28	28	25	–	–	–	–	16	
Imported organic fertilizers	–	–	43	–	–	40	–	–	16	
Restitution of chipped wood pruning	–	28	–	25	–	20	–	–	13	
Weeding practices										
Total herbicide	50	–	14	–	–	–	–	100	13	
Partial herbicide	50	71	86	75	–	–	–	–	48	
Mechanical Weeding	–	100	86	100	66	100	–	–	87	
Plastic mulching	–	–	–	–	33	–	–	–	3	
Natural mulching	50	–	14	75	–	–	–	–	16	
Cover crops	–	–	–	100	–	–	–	–	13	
Animal pasture	–	–	–	25	–	–	–	–	3	

practices requiring little labor, such as synthetic fertilizers and herbicides, concentrated organic fertilizers, pigs or poultry directly grazing in the inter-rows, or mulch.

3.1.3. MT3: “Eco-friendly management”

MT3 is characterized by a limited use of synthetic inputs, reliance on mechanical weeding and a massive adoption of organic fertilization. Farmers choose this management type because they aim to minimize negative environmental impacts and they are prepared to produce low yields and fruits with low visual quality. This type encompasses two different strategies.

(S5) Innovation strategy: farmers seek to reduce the environmental impacts of citrus production, a complementary crop which does not contribute significantly to their revenues. Indeed, these large farms produce small volumes of citrus on young orchards (less than 7 years old) where farmers are keen to experiment eco-friendly practices while accepting low yields and low visual fruit quality. Although they have a large labor force, they use it primarily on their main income generating crops rather than on citrus, where they wish to minimize interventions. Weeding is based on low-frequency mowing or pluri-annual plastic mulch on the rank. They do not protect their trees since they benefit from low pest pressure due to the location of their orchards at high elevations (above 850 m). Citrus are sold through the same conventional marketing channels as their main productions (cooperative or street market).

(S6) Organic farming strategy: farmers are willing to accept low yields and low visual quality as they sell citrus at high prices, even damaged, thanks to OF certification and/or direct selling. Agriculture represents for them a second job, a retirement activity or a reconversion, and they work on small farms producing small volumes of citrus with a small labor force. They do not only respect OF specifications and protect trees with biopesticides, chemical traps and preventive removal of fallen fruits, but also like to implement aesthetic practices such as

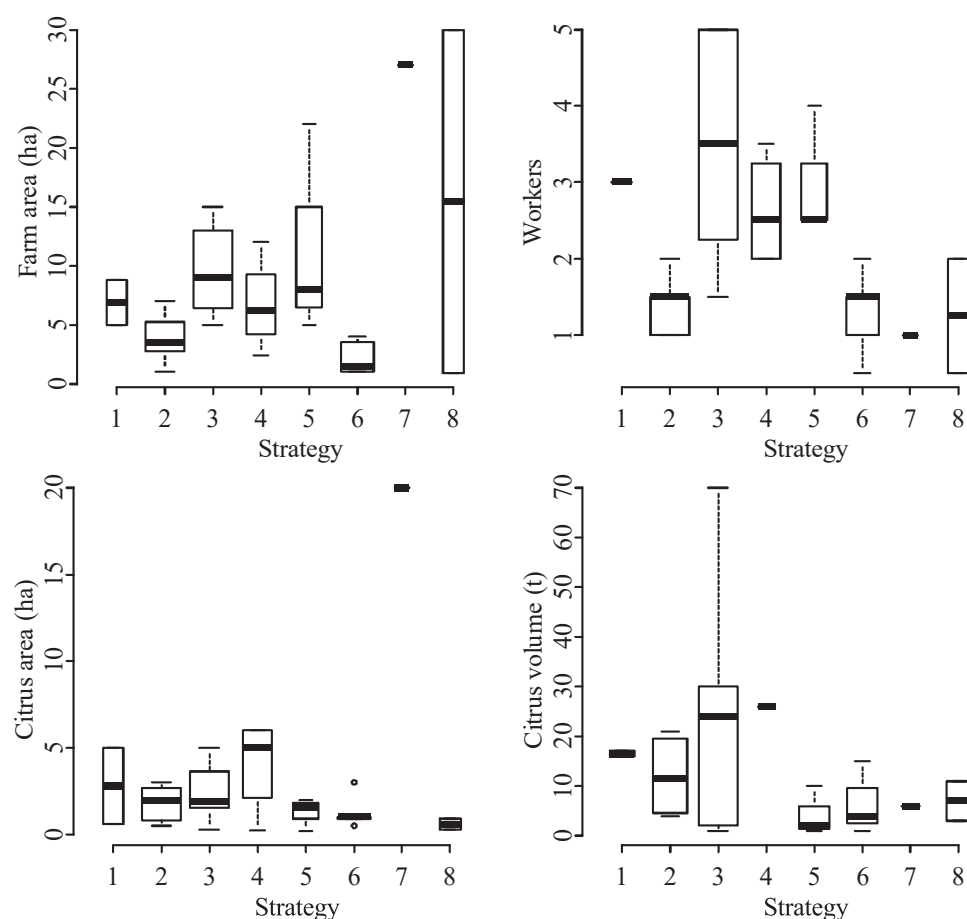


Fig. 2. Farm characteristics of the eight strategy types. Variability of farm size and labor force, citrus area and estimated volumes of citrus production. Bars width is proportional to the number of farms represented.

Table 5
Marketing characteristics of the eight strategy types.

	MT1			MT2		MT3		MT4		
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	Total	
Main market channel (% of farms concerned)										
Local retailers	100	71	14	50	–	20	–	100	42	
Cooperatives	–	29	86	25	66	20	–	–	39	
Direct selling	–	–	–	25	33	60	100	–	19	
Certification (% of farms concerned)										
None	100	100	100	75	100	20	–	100	82	
OF conversion	–	–	–	25	–	60	–	–	12	
OF	–	–	–	–	–	20	100	–	6	
Average selling price (€/kg)										
Tangor	1.75	1.08	1.23	1.00	1.55	1.40	–	–	1.33	
Combava	12	–	16	–	–	–	–	6	11	

flower strips or trap plants. They fertilize with manure, compost or imported organic fertilizers even if it is expensive or labor-intensive, and they control weeds entirely with mechanical weeding.

3.1.4. MT4: “Simplicity management”

MT4 is characterized by extremely simplified management corresponding to two contrasting strategies: (S7) an extensive agroforestry system with harvest as the unique intervention and (S8) mono-cultivar orchards managed exclusively with minimal quantities of synthetic inputs. Citrus is a minor income-generating crop on these farms.

(S7) Patrimonial strategy: observed in one case of a farmer with an agritourism activity based on a botanical garden. The farmer focuses on environment conservation and minimizes citrus interventions. He sells his small OF certified production at high prices in the garden shop,

where he informs visitors about his traditional farming practices. Such a positive economic environment allows him to accept low yields and low visual fruit quality. This type of management can also be seen as a subtype of “eco-friendly management” MT3 because it corresponds to a mature agroecological transition, one that is completely self-sufficient and generating more income than conventional production.

(S8) Withdrawal strategy: farmers intervene little on their orchards to minimize labor and input costs with the intention of eventually ceasing their citrus activity. The visual quality of fruits is low, since they rely exclusively on small amounts of synthetic inputs for protection, fertilization and weed control. Citrus are sold at low prices to local retailers for processing.

3.2. Five dynamics of change towards or away from agroecological practices

Thirty-two percent of the farmers surveyed have pursued the same practices since the beginning of their citrus activity (“No change” category in Table 6). Farmers with this trajectory of stability are represented in every strategy type except S1. Most of them started their citrus activity during the last six years. The remaining 68% of the farmers surveyed have changed their citrus management practices significantly since beginning this activity. Although they have followed specific pathways shaped by their own action context and history, five types of trajectories have been identified based on the adoption of alternative practices and reliance on synthetic inputs for protection, fertilization and weed control (Fig. 3).

Trajectory 1, “Addition”, regroups 14 farmers who started out following conventional management practices with no or rare alternative practices in the 1980s and the 1990s. They then gradually adopted alternative practices in the 2000s and the 2010s, but continued to use

Table 6

Distribution of the 31 citrus farms according to their trajectory for the different management types (MT1 to MT4) and strategies (S1 to S8).

	MT1			MT2	MT3		MT4		Total
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	
No change		1	1	2	2	1	1	2	10
T1	2	5	5	2					14
T2						2			2
T3					1	1			2
T4						1			1
T5		1	1						2
Total	2	7	7	4	3	5	1	2	31

T1 “Addition”; T2 “OF conversion”; T3 “Simplification”; T4 “Complexification”; T5 “Reversion”.

synthetic inputs for protection, fertilization and weed control. Farmers state two reasons for these combinations: (i) synthetic inputs are a back-up option to be used selectively, for example, on highly resistant weeds which are difficult to mow; and (ii) alternative practices are additional means to boost the performance of synthetic inputs, like organic fertilizers to complete synthetic fertilization by increasing organic soil matter.

Farmers following trajectory 2, “OF conversion”, started out in the same way as “Addition” farmers up to the 2010s. They then adopted alternative practices for all dimensions of management over a short period of time while the use of synthetic inputs was stopped completely because of a conversion to OF.

The three other trajectories start later in the 2000s, already with a partial or complete independence from synthetic inputs. In trajectory 3, “Simplification”, farmers started directly with mechanical weeding. They then progressively stopped using all synthetic pesticides and

fertilizers in the 2010s, without replacing them with alternative practices. Indeed, this move corresponds to a reduction of interventions in the orchard. Farmers following trajectory 4, “Complexification”, started directly from organic farming with certification. Their evolution in the 2010s was the adoption of alternative protection practices such as plant traps which require new knowledge. In trajectory 5, “Reversion”, farmers also start with complete independence from synthetic inputs, but are not OF-certified. In the 2010s, there is a quick return to synthetic input use to secure yields or to partially substitute expensive/labor-intensive alternative practices, which have been nevertheless kept after reversion.

All of the trajectories of practice changes thus consist of incremental modifications with the exception of the conversion to organic farming (T2). The security management (MT1) and greater autonomy management (MT2) observed at present result from two different trajectories (Table 6): Addition (T1) and Reversion (T5). Farmers implementing the OF strategy have followed three different pathways: OF conversion (T2), Simplification (T3) and Complexification (T4). This diversity highlights the farmers’ various backgrounds and motivations regarding organic farming. Most of the farmers implementing strategies S5 and S7 started their citrus activity recently and directly with low interventions systems. They did not change their systems by adding new practices, as did S8 farmers who are reluctant to change before stopping their citrus activity.

3.3. Drivers and barriers to adopting alternative practices

The comparison of the different types of management, strategies and trajectories shows that a range of common drivers and barriers have contributed significantly to encouraging or restraining farmers from changing their citrus production agricultural practices. They can be differentiated into two groups according to their position outside

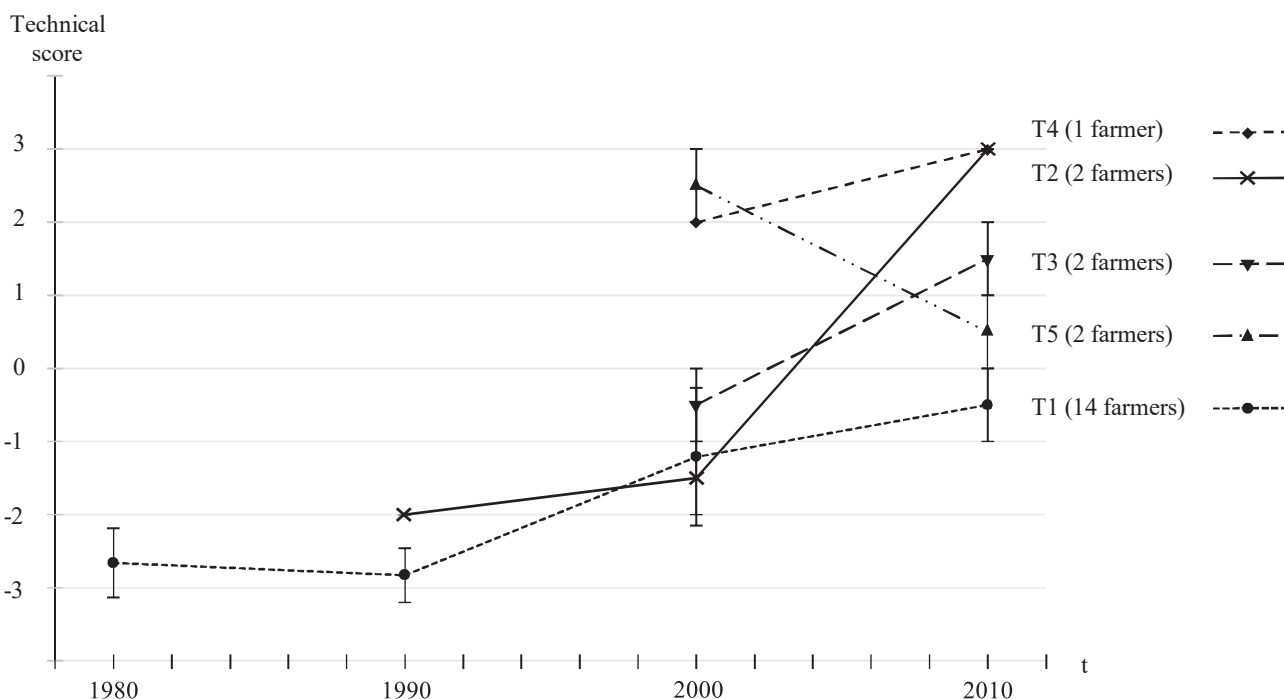


Fig. 3. Evolution of the “technical score” per trajectory of practice change from 1980 to 2010: T1 “Addition”; T2 “OF conversion”; T3 “Simplification”; T4 “Complexification”; T5 “Reversion”. Time is on the X-axis. The Y-axis represents the average value of the “technical score” of the farmers belonging to a same type of trajectory.

$$\text{Eq. 1: } \text{TechnicalScore} = \sum_{i=1}^3 (A_i - C_i)$$

i = index of management dimension (Protection; Fertilization; Weed control)

A_i = 1 if at least one alternative technique is implemented for dimension i ; 0 otherwise

C_i = 1 if at least one synthetic input is used for dimension i ; 0 otherwise

Bars indicate standard deviations.

(external factors) or within (internal factors) the farm.

3.3.1. External factors

The external drivers pushing farmers towards or away from alternative practices include local citrus markets, public legislation, access to extension services, the organization of input supply, and the social environment. The main marketing channels, i.e., local retailers and cooperatives, require large and zero-fault fruits that they purchase at low to medium prices to fulfill local consumer demand. Farmers involved in these marketing channels must maximize their yields by using the practices considered to be the most efficient, even if they are based on costly synthetic pesticides and fertilizers. These constraints affect all farmers selling to cooperatives and/or local retailers, especially if the citrus activity is highly contributing to farmers' revenues (S1, S2, S3 and S4). The reversion trajectory illustrates that non-certified organic farming is not economically viable through these marketing channels.

Consequently, the emergence of new marketing channels for eco-friendly production, with higher prices and lower constraints on visual quality, is a major driver of change towards alternative practices. These channels include organic street markets, tourist shops or communities adopting organic food for schools. Lower constraints on visual quality provide an opportunity to stop using synthetic pesticides, while higher selling prices allow the adoption of expensive alternative inputs such as insect-proof nets, bio-pesticides and imported organic fertilizers, and also allow an eventual decrease in yields. This driver is significant for farmers implementing an organic farming strategy (S6) and explains the OF conversion trajectory.

French public legislation increasingly forbids the use of synthetic molecules. Synthetic input prices also are increasing while alternative inputs are more efficient, easily available and, for some, cheaper than synthetics. This combination explains the adoption of bio-pesticides, chemical traps, cheap organic fertilizers and mechanical weeding to save on herbicide costs. This evolving context is one of the drivers of change in the addition trajectory. Although agri-environmental measures have been proposed to farmers since the 1990s, and in 2016 supported the adoption of chemical traps, mechanical weeding and organic farming, they did not appear to be a factor in the adoption of alternative practices, except for one farmer using no herbicides to receive subsidies. This could be explained by the specific orientation of public subsidies on Réunion Island, which primarily aim to encourage farmers to join organized marketing channels.

Public and private advisors are also significant promoters of these alternative practices. They provide knowledge on some alternative practices which do not rely on purchased inputs, such as the preventive removal of fallen fruits and restitution of chipped wood pruning. They also may provide alternative inputs such as purchased natural enemies and cover crop seeds. Agricultural extension advisors are major drivers of change for farmers in addition and complexification trajectories.

Social factors also influence farmers' management decisions, especially on a small island such as La Réunion. Recognition of performance by peers is still based on high yields, green trees with large fruits and the absence of pests and uncontrolled weeds in the orchard. To fulfill these standards, farmers use synthetic pesticides to eradicate pests, synthetic fertilizers to control fruit size and implement high frequency mechanical weeding and herbicide if needed. This barrier effect is particularly significant for farmers implementing the prestige strategy (S3).

3.3.2. Internal factors

Shifting from synthetic-based practices to alternative ones also relies on factors that depend directly on the farmer and his/her farm, including the characteristics of the orchard and its environment, the labor force, the weight of the citrus activity in farm revenue and the farmer's environmental concerns. Certain environmental features play a role in relation to specific practices. For instance, orchard sensitivity to erosion was a major driver behind the adoption of mechanical weeding

in addition and OF conversion trajectories because the preservation of perennial ground cover reduces soil run-off in sloping orchards. High elevations favored the reduction of synthetic pesticides for protection in the simplification trajectory due to lower pest pressure. Yet surprisingly, aside from these two exceptions, local environmental conditions did not appear to be a major factor driving farmers' choices, probably because they are overshadowed by other factors.

In some cases without organic farming constraints, the continued use of synthetic inputs can also be due to the presence of young orchards. Citrus orchards are unproductive during their first 3–4 years and some farmers implement vegetable alley cropping to earn some revenue during this period. Mechanization is then more constrained and some farmers use herbicides in these young orchards rather than mechanical weed control. Moreover, young trees are more affected by weed competition and farmers are more reluctant to preserve a permanent grass cover.

The combination of labor force availability, the weight of citrus in farm revenue and environmental concerns push farmers towards contrasting positions regarding the adoption of alternative practices. Environmental concerns explain the adoption of alternative practices such as bio-pesticides, chemical traps, plant traps, flower strips, insect-proof nets, micro-soaking against pests, preventive removal of fallen fruits, organic fertilization, green manure and mechanical mowing. They explain why farmers aiming to reduce negative environmental impacts (S3, S4, S5, S6 and S7) followed addition, OF conversion or simplification trajectories. However, some farmers make trade-offs between reducing environmental impacts, production risks and the workforce needed. Farmers who rely on citrus revenues but cannot obtain higher prices for fruit cultivated with environmentally-friendly practices (S3 and S4) have to cut labor costs. When labor constraints are combined with mechanization constraints (e.g., sloping orchards), they continue to fall back on synthetic fertilizers and herbicides which enable them to fertilize orchards and control weeds more quickly compared to respectively manure or mowing. Farmers who do not rely on citrus revenues because citrus is not a major income generating crop on their farm (S5) also face labor constraints, but they can accept more production risks and use low frequency fertilization and mowing rather than synthetic inputs.

In contrast, some alternative practices such as mulching improve work organization. They were adopted by farmers facing labor shortages due to competition from other crops. Indeed, mulching with straw, on the rank or on the whole orchard, requires only one intervention a year (spreading it), whereas herbicides or mechanical mowing require an intervention once a month or every two months. This was a driver of change in the addition trajectories of two farmers, one growing vegetables, the other bananas, which are both labor-intensive crops grown throughout the year.

4. Discussion

4.1. Agroecological transition as a diversified and incremental process

Despite their geographic proximity and shared agricultural policy context, and despite their small number, the farms in this study were diverse in terms of their adoption of alternative practices and use of synthetic inputs to manage their citrus crops. Three generic factors were identified to explain this diversity: marketing channels, farmers' environmental objectives and farmers' economic behavior, linked to the weight of the citrus crop activity in farm revenue.

Marketing channels impact crop management because selling prices and specifications requested by retailers and processors determine yield objectives and the quality attributes of raw material. These downstream requirements explain why farmers with similar environmental concerns, such as S4 ("greater autonomy") and S6 ("organic farming"), did or did not adopt alternative practices according to their marketing channels (respectively conventional ones for S4 and alternative ones for

S6). This mechanism was also observed in arable crops, for instance when downstream requirements regarding high-protein wheat impact farmers' fertilization choices (Magrini et al., 2016).

The priority given to environmental objectives strongly determines farmers' technical choices, even when they rely on similar marketing channels, as illustrated by comparing S2 (“zero-risk”) and S4 farmers. Both sold their fruits to conventional marketing channels and aimed to ensure sufficient income for their families, but S4 adopted alternative practices due to his higher environmental and health awareness. These differences of awareness among farmers may be based on psycho-social factors, such as having experienced health problems from use of chemicals (Fairweather, 1999). The impacts on technical choices were recently demonstrated with the adoption of biological control in American and European orchards (Goldberger and Lehrer, 2016, Pissonnier et al., 2016).

Farmers' economic behavior and objectives also strongly determine their choices regarding these practices. Indeed, farmers who do not expect high revenues from a given production are ready to take more risks. For instance, S5 (“innovative strategy”) and S3 farmers (“prestige strategy”) had similar farm structures, environmental concerns and economic objectives. However, as citrus was a secondary activity for S5 farmers, they were ready to switch from synthetic to alternative inputs since the potential effects on yields would not significantly affect their farm revenue. This lower risk aversion was also observed for part-time farmers compared to full-time farmers, as off-farm income secures their revenue (Lien et al., 2006). Personal aversion to risk is also a key factor for not adopting alternative practices, as illustrated by S2 farmers. Organic farmers seem to have lower risk aversion, as was demonstrated among arable crop farmers in the Netherlands (Gardebroek, 2006) and hazelnut farmers in Turkey (Demiryürek et al., 2012).

The combinations of these three factors on each farm explain the main farmers' positions regarding change toward agroecology. This study furthermore confirms that whatever the position of the farmer, most of the change trajectories are progressive (Chantre and Cardona, 2014). The findings point out three reasons which potentially are combined on each farm: step-by-step learning processes, risk minimization and lack of confidence in alternative practices. Most of the farmers studied are conducting personal experiments on their farms, generally by varying a single practice at a time, validated with observations after a complete crop cycle. This learning process is thus very slow and progressive. For instance, a T3 farmer first stopped using herbicides, then synthetic fertilizers, and finally synthetic pesticides. At each step, he checked whether the trees' vigor, the visual quality of fruit, and the yield were affected. Farmers adopt this “trial and error” approach because small changes imply low risk (Lyon, 1996). When farmers lack confidence in new alternative practices they may implement incremental changes by first combining these alternative practices with the synthetic inputs they are accustomed to using, as illustrated by T1 farmers who preferred adding alternative practices to their conventional management rather than substituting synthetic inputs. Farmers' confidence in new inputs and practices may grow gradually, as illustrated by the adoption of pheromones to protect apple trees (Goldberger et al., 2013).

Efforts to support farmers' transitions must cope with this constraint of progressivity linked to farmers' learning and risk management processes. However, some authors claim that research should explore solutions which break away from existing systems, such as permaculture, to address sustainability challenges (Weiner, 2003). Due to their complex, holistic nature, implementing these solutions may imply re-designing production systems within farms. Scientists currently are developing various tools and methods to support this re-design process, especially when it involves multiple stakeholders, such as participatory modeling and game-based approaches (Berthet et al., 2016). This involvement of farmers and extension agents in the re-design process should improve both their own learning processes and that of researchers. For instance, Brazilian farmers involved in a partnership to

design agroforestry systems were able to argue with scientists about the systems' agronomic performances (Cardoso et al., 2001). Such participatory approaches have already been tested to design agro-ecological weed managements in citrus orchards on the French island of Guadeloupe (Le Bellec et al., 2012). However, these experiments continue to focus on the plot level and do not sufficiently consider farm, supply chain and public policy levels which impact the dynamics of agro-ecological transition. Our results are a reminder that agroecology does not only require changes in farming practices, but also in agro-industries and consumers' requirements. For instance, agro-industries should adapt to wheat with lower protein rates and consumers should accept fruit with low visual quality. Moreover, the risks taken by farmers adopting alternative practices should be shared. It could be supported by public policies, such as European agri-environmental schemes (Defrancesco et al., 2008), or supported directly by consumers, like solidarity-based marketing channels helping farmers involved in alternative farming systems (Dumont et al., 2016). Thus, farming, processing and consumption practices should evolve together to share the efforts and benefits of agro-ecological transition (Meynard et al., 2016).

4.2. Is agroecological transition crop specific?

Citrus, as a fresh product with medium added-value, grown in perennial orchards vulnerable to pests, presents four crop specificities for agroecological transition. Agricultural practices involving non-processed agricultural products such as fruits and vegetables are easier to explain to consumers. Indeed, these products can be marketed directly and farmers can directly inform consumers about their “good practices” even when they do not hold a quality certification, such as one S6 farmer was doing. Alternatively, the products can be sold on marketing channels which are long but with better traceability than those for processed products. These two options are more difficult to implement for arable crops (Lamine, 2011).

The level of added value specific to each agricultural product influences the capacity to invest cash or labor in costly alternative practices. In the case of citrus, a product with medium added value, only one farmer out of 31 considered the adoption of insect-proof nets. These economic considerations have to be combined with the pest sensitivity and visual quality expectations of each product. In La Réunion, with the exception of those located at high elevations, all of the farmers had to implement robust protection practices to control fruit flies. In California, wine grape farmers were particularly dynamic in adopting agroecology due to their high profit margins and the absence of visual grape quality specifications (Brodt et al., 2007, Guthman, 2000, Warner, 2007). Perennial crops also present specificities linked to the unproductive stage of young orchards with accompanying economic and agronomic constraints, and to their spatial design limiting changes in plant material and orchard structure. These latter aspects were not developed in this study but should be further investigated for orchard agroecological redesign (Simon et al., 2017).

4.3. Methodological perspectives

Management decisions regarding agroecological transition have been categorized in this study according to the kind of inputs used for crop protection, fertilization and weed control, namely “synthetic inputs”, “alternative off-farm inputs” and “alternative on-farm inputs”. Compared to the ESR classification (Hill and Macrae, 1996), these categories offer the following three advantages:

- (i) Unlike the ESR framework, in which some practices could be classified differently by different scientists, the categories are clearly defined. For instance, one farmer in the study relied mainly on substitution practices but grew trap plants along the borders of the citrus plots, a combination that is difficult to classify as either

substitution or redesign.

- (ii) The classification developed in this study provides a detailed view of the complexity of agroecological transition. It can differentiate types of management according to the combination of different types of inputs. To evaluate the Redesign paradigm, scientists using the ESR framework must consider the whole cropping system. At this scale, no difference would have been noticed between “security” and “greater autonomy” types of management because Efficiency, Substitution and even Redesign paradigms (e.g., cover crops or restitution of wood pruning) were mobilized in both cases.
- (iii) This classification leads to the identification of more steps in farmers’ trajectories compared to the ESR framework. It described for instance how farmers had progressively increased the number of substitution practices implemented in the Addition trajectory, a dynamic difficult to identify with the ESR framework since it combines both Efficiency and Substitution decisions.

5. Conclusion

Although based on a limited sample of farms, this study shows that agroecological transition is not a linear and homogenous process leading to the reduced use of synthetic inputs, but is rather characterized by its diversity and step-by-step dynamic. Numerous internal and external drivers push or prevent farmers from adopting alternative practices, and their combination on each farm makes each one more or less unique. However, farmers can be grouped according to their strategies regarding the adoption process based on four distinct objectives: security, autonomy, ecology and simplicity. This complex interaction between farmers’ objectives, strategies, and contexts explains why the Redesign component included in the ESR framework is barely found at the farm level in our sample except for organic farming conversion. Indeed, economic constraints, risk aversion and implementation difficulties lead farmers to prefer incremental change dynamics with easy ways to turn back in case of failure.

This result calls for a better consideration of farmers’ points of view, objectives, opportunities and constraints when designing research and policy strategies regarding agroecological transitions. Efforts to design eco-friendly cropping systems remain crucial to expand the range of technical solutions, but they must be carried out within a broader perspective including both farmers’, processors’ and consumers’ considerations. Similarly, public policies encouraging farmers to adopt these agroecological solutions must take into account the diversity of farming contexts observed in a given area. This diversity is also a key issue for extension agencies, which should combine technical advice at the plot level with strategic support at the farm level. Agroecological transition is thus emblematic of the challenges and developments that researchers, politics and civil society must tackle to make agriculture and food production more sustainable in the future.

Acknowledgements

We are very grateful to the citrus growers and all of the stakeholders we met for the valuable data they provided and the rich discussions we shared with them. We thank Grace Delobel for editing the paper in English and the anonymous reviewer for providing valuable comments to improve the paper. This work was supported by the French Agricultural Research Centre for International Development (CIRAD) and the European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD).

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data associated with this article can be found, in the online version, at <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2017.07.002>.

References

- Agreste, 2014. La Production Fruitière à La Réunion. (Accessed 10.05.17). <http://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/Fruits>.
- Bellon, S., Lescourret, F., Calmet, J.-P., 2001. Characterisation of apple orchard management systems in a French Mediterranean Vulnerable Zone. *Agronomie* 21, 203–213. <http://dx.doi.org/10.1051/agro:2001118>.
- Berthet, E.T.A., Barnaud, C., Girard, N., Labatut, J., Martin, G., 2016. How to foster agroecological innovations? A comparison of participatory design methods. *J. Environ. Plann. Manage.* 59, 280–301. <http://dx.doi.org/10.1080/09640568.2015.1009627>.
- Blesh, J., Wolf, S.A., 2014. Transitions to agroecological farming systems in the Mississippi River Basin: toward an integrated socioecological analysis. *Agric. Hum. Values* 31, 621–635. <http://dx.doi.org/10.1007/s10460-014-9517-3>.
- Brodt, S., Klonsky, K., Tourte, L., Duncan, R., Hendricks, L., Ohmart, C., Verdegaa, P., 2007. Influence of farm management style on adoption of biologically integrated farming practices in California. *Renew. Agric. Food Syst.* 19, 237–247. <http://dx.doi.org/10.1079/rafs200488>.
- Bruchon, L., Vannière, H., Ehret, P., Vincenot, D., De Bon, H., Marion, D., Deguine, J.-P., 2015. In: Le Bellec, F. (Ed.), *Guide Tropical-Guide Pratique De Conception De Systèmes De Culture Tropicaux économes En Produits Phytosanitaires*, Paris.
- Cardoso, I.M., Guijt, I., Franco, F.S., Carvalho, A.F., Neto, P.S. Ferreira, 2001. Continual learning for agroforestry system design: university, NGO and farmer partnership in Minas Gerais, Brazil. *Agric. Syst.* 69, 235–257. [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-521X\(01\)00028-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-521X(01)00028-2).
- Chantre, E., Cardona, A., 2014. Trajectories of french field crop farmers moving toward sustainable farming practices: change, learning, and links with the advisory services. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 38, 573–602. <http://dx.doi.org/10.1080/21683565.2013.876483>.
- Chantre, E., Cerf, M., Le Bail, M., 2015. Transitional pathways towards input reduction on French field crop farms. *Int. J. Agric. Sustain.* 13, 69–86. <http://dx.doi.org/10.1080/14735903.2014.945316>.
- Cibois, P., 1997. Les pièges de l'analyse des correspondances. *Histoire Mesure* 299–320.
- De Schutter, O., 2012. Agroecology, a Tool for the Realization of the Right to Food. In: Lichtfouse, E. (Ed.), *Agroecology and Strategies for Climate Change*. Springer, Netherlands Dordrecht, pp. 1–16. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-1905-7_1.
- Defrancesco, E., Gatto, P., Runge, F., Trestini, S., 2008. Factors affecting farmers’ participation in agri-environmental measures: a Northern Italian perspective. *J. Agric. Econ.* 59, 114–131. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1477-9552.2007.00134.x>.
- Demiryürek, K., Ceyhan, V., Bozoğlu, M., 2012. Risk attitudes of organic and conventional hazelnut producers in Turkey. *Hum. Ecol. Risk Assess.* 18, 471–482. <http://dx.doi.org/10.1080/10807039.2012.652475>.
- Dumont, A.M., Vanloqueren, G., Stassart, P.M., Baret, P.V., 2016. Clarifying the socio-economic dimensions of agroecology: between principles and practices. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 40, 24–47. <http://dx.doi.org/10.1080/21683565.2015.1089967>.
- Eisenhardt, K.M., Graebner, M.E., 2007. Theory building from cases: opportunities and challenges. *Acad. Manage. J.* 50, 25. <http://dx.doi.org/10.5465/AMJ.2007.24160888>.
- Epule, T.E., Bryant, C.R., 2016. The adoption of agroecology and conventional farming techniques varies with socio-demographic characteristics of small-scale farmers in the Fako and Meme divisions of Cameroon. *GeoJournal* 1–20. <http://dx.doi.org/10.1007/s10708-016-9734-y>.
- Fairweather, J.R., Campbell, H.R., 2003. Environmental beliefs and farm practices of New Zealand farmers: Contrasting pathways to sustainability. *Agric. Human Values* 20, 287–300. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1026148613240>.
- Fairweather, J.R., 1999. Understanding how farmers choose between organic and conventional production: results from New Zealand and policy implications. *Agric. Hum. Values* 16, 51–63. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1007522819471>.
- Gardebreek, C., 2006. Comparing risk attitudes of organic and non-organic farmers with a Bayesian random coefficient model. *Eur. Rev. Agric. Econ.* 33, 485–510. <http://dx.doi.org/10.1093/erae/jbl029>.
- Goldberger, J.R., Lehrer, N., 2016. Biological control adoption in western U.S. orchard systems: results from grower surveys. *Biol. Control* 102, 101–111. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.09.004>.
- Goldberger, J.R., Lehrer, N., Brunner, J.F., 2013. Adoption of organophosphate alternatives in Washington apple IPM programs: survey evidence from pest management consultants and growers. *J. Integr. Pest Manage.* 4, 1–8. <http://dx.doi.org/10.1603/jipm12023>.
- Grisoni, M., Bertin, Y., Didier, C., Ducelier, D., Pruvost, O., Quilici, S., 1993. *La Culture Des Agrumes à l'île De La Réunion*. In: CIRAD-FLHOR (Ed.), Ste Clotilde.
- Guthman, J., 2000. Raising organic: an agro-ecological assessment of grower practices in California. *Agric. Hum. Values* 17, 257–266. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1007688216321>.
- Hazell, P., Wood, S., 2008. Drivers of change in global agriculture. *Phil. Trans. R. Soc. B: Biol. Sci.* 363, 495–515. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2007.2166>.
- Hill, S.B., MacRae, R.J., 1996. Conceptual framework for the transition from conventional to sustainable agriculture. *J. Sustain. Agric.* 7, 81–87. http://dx.doi.org/10.1300/J064v07n01_07.
- Josse, J.H.F., 2008. FactoMineR: an R package for multivariate analysis. *J. Stats. Softw.* 25, 1–18. <http://dx.doi.org/10.18637/jss.v025.i01>.
- Köbrich, C., Rehman, T., Khan, M., 2003. Typification of farming systems for constructing representative farm models: two illustrations of the application of multi-variate analyses in Chile and Pakistan. *Agric. Syst.* 76, 141–157. [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00013-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00013-6).
- Kuivanen, K.S., Alvarez, S., Michalscheck, M., Adjei-Nsiah, S., Descheemaeker, K.,

- Mellon-Bedi, S., Groot, J.C.J., 2016. Characterising the diversity of smallholder farming systems and their constraints and opportunities for innovation: a case study from the Northern Region, Ghana. *NJAS Wageningen J. Life Sci.* 78, 153–166. <http://dx.doi.org/10.1016/j.njas.2016.04.003>.
- Lamine, C., 2011. Transition pathways towards a robust ecologization of agriculture and the need for system redesign. Cases from organic farming and IPM. *J. Rural. Stud.* 27, 209–219. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrurstud.2011.02.001>.
- Landais, E., 1998. Modelling farm diversity: new approaches to typology building in France. *Agric. Syst.* 58, 505–527. [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-521X\(98\)00065-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-521X(98)00065-1).
- Le Bellec, F., Rajaud, A., Ozier-Lafontaine, H., Bockstaller, C., Malezieux, E., 2012. Evidence for farmers' active involvement in co-designing citrus cropping systems using an improved participatory method. *Agron. Sustain. Dev.* 32, 703–714. <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-011-0070-9>.
- Le Gal, P.-Y., Merot, A., Moulin, C.-H., Navarrete, M., Wery, J., 2010. A modelling framework to support farmers in designing agricultural production systems. *Environ. Model. Softw.* 25, 258–268. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.12.013>.
- Lien, G., Flaten, O., Jervell, A.M., Ebbesvik, M., Koesling, M., Valle, P.S., 2006. Management and risk characteristics of part-time and full-time farmers in Norway. *Appl. Econ. Perspect. P.* 28, 111–131. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9353.2006.00276.x>.
- Lyon, F., 1996. How farmers research and learn: the case of arable farmers of East Anglia, UK. *Agric. Hum. Values* 13, 39–47. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01530522>.
- Magrini, M.-B., Anton, M., Cholez, C., Corre-Hellou, G., Duc, G., Jeuffroy, M.-H., Meynard, J.-M., Pelzer, E., Voisin, A.-S., Walrand, S., 2016. Why are grain-legumes rarely present in cropping systems despite their environmental and nutritional benefits? Analyzing lock-in in the French agrifood system. *Ecol. Econ.* 126, 152–162. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.03.024>.
- Meynard, J.-M., Jeuffroy, M.-H., Le Bail, M., Lefèvre, A., Magrini, M.-B., Michon, C., 2016. Designing coupled innovations for the sustainability transition of agrifood systems. *Agric. Syst.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2016.08.002>. in press.
- Nave, S., Jacquet, F., Jeuffroy, M.-H., 2013. Why wheat farmers could reduce chemical inputs: evidence from social, economic, and agronomic analysis. *Agron. Sustain. Dev.* 33, 795–807. <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-013-0144-y>.
- Pannell, D.J., Marshall, G.R., Barr, N., Curtis, A., Vanclay, F., Wilkinson, R., 2006. Understanding and promoting adoption of conservation practices by rural landholders. *Aust. J. Exp. Agric.* 46, 1407–1424. <http://dx.doi.org/10.1071/EA05037>.
- Pissonnier, S., Lavigne, C., Toubon, J.F., Le Gal, P.Y., 2016. Factors driving growers' selection and implementation of an apple crop protection strategy at the farm level. *Crop Protect.* 88, 109–117. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2016.06.007>.
- Reckling, M., Hecker, J.-M., Bergkvist, G., Watson, C.A., Zander, P., Schläpke, N., Stoddard, F.L., Eory, V., Topp, C.F.E., Maire, J., Bachinger, J., 2016. A cropping system assessment framework—Evaluating effects of introducing legumes into crop rotations. *Eur. J. Agron.* 76, 186–197. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2015.11.005>.
- Rosset, P.M., Altieri, M.A., 1997. Agroecology versus input substitution: a fundamental contradiction of sustainable agriculture. *Soc. Nat. Resour.* 10, 283–295. <http://dx.doi.org/10.1080/08941929709381027>.
- Simon, S., Lesueur-Jannoyer, M., Plénet, D., Lauri, P.-É., Le Bellec, F., 2017. Methodology to design agroecological orchards: learnings from on-station and on-farm experiences. *Eur. J. Agron.* 82, 320–330. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2016.09.004>.
- Warner, K.D., 2007. The quality of sustainability: agroecological partnerships and the geographic branding of California winegrapes. *J. Rural Stud.* 23, 142–155. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrurstud.2006.09.009>.
- Weiner, J., 2003. Ecology—the science of agriculture in the 21st century. *J. Agric. Sci.* 141, 371–377. <http://dx.doi.org/10.1017/S0021859603003605>.
- Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J.-F., Ferrer, A., Peigné, J., 2014. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 34, 1–20. <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-013-0180-7>.

Résumé

Les consommateurs demandent aux producteurs de fruits, via leurs achats ou leurs représentants politiques, de réduire les impacts négatifs des pratiques agricoles sur l'environnement et la santé. Les pratiques agroécologiques, mobilisant des processus ou produits naturels, permettent de réduire l'utilisation problématique des produits de synthèse. Mais les agriculteurs font face à des décisions complexes pour organiser la transition agroécologique dans leurs exploitations, souvent diversifiées, et l'accompagnement politique de ces transitions est encore hésitant. Face à ces défis, notre étude s'est intéressée aux processus de transition agroécologique dans les exploitations agrumicoles de La Réunion pour comprendre la diversité de leurs dynamiques et mieux les accompagner via des politiques d'aides.

La diversité des transitions agroécologiques au sein de 31 exploitations diversifiées a été analysée dans une première étape. Une typologie d'exploitations a été formalisée, sur laquelle s'est appuyée la deuxième phase de la démarche basée sur la conception d'un outil opérationnel d'évaluation *ex-ante* des politiques publiques. L'outil ENTICIP (Evaluation Territoriale des Interactions entre Consommation, Interventions publiques et Production agricole) est un modèle bioéconomique d'optimisation couplant les échelles exploitation et bassin de production. ENTICIP permet de simuler les choix des agriculteurs et leurs conséquences économiques, environnementales et sociales pour des scénarios exploratoires de politiques d'aides sous divers contextes de marché.

De nombreux facteurs internes et externes à l'exploitation interviennent dans l'adoption de pratiques agroécologiques, les principaux étant le circuit de vente, la sensibilité environnementale de l'agriculteur et le rôle économique de la production dans l'exploitation. Au sein des exploitations diversifiées, des interactions entre productions favorisant les pratiques agroécologiques apparaissent : échanges de biomasse et de connaissances, ou mutualisations d'intrants alternatifs. L'étude a mis en évidence quelques trajectoires « en rupture » conduisant rapidement à une forte écologisation, mais la majorité des trajectoires est beaucoup plus progressive, avec parfois des retours en arrière. Les vitesses d'écologisation des productions peuvent être hétérogènes au sein de l'exploitation, permettant notamment de minimiser les risques liés à l'adoption de pratiques agroécologiques.

ENTICIP a été appliqué au cas de l'ananas et du tanger à La Réunion (*Ananas comosus* (L.) Merr. et *Citrus reticulata* Blanco x *Citrus sinensis* (L.) Osb.). Des scénarios d'augmentation des aides pour l'Agriculture Biologique (AB) dans un contexte de marché favorable ont permis d'identifier les conditions d'un développement massif de l'AB. Les montants d'aides déclenchant la conversion à l'AB sont variables selon la production et le type d'exploitation, en fonction de leurs conditions bioclimatiques et de leurs circuits de vente. Plus les produits conventionnels sont bien valorisés, comme sur le marché export, plus le montant d'aides nécessaire pour passer à l'AB est élevé. Ces scénarios ont été présentés à des décideurs politiques réunionnais, avec qui le modèle a été utilisé de manière participative.

La démarche permet de rassembler des connaissances sur le fonctionnement des systèmes productifs et de proposer des pistes d'améliorations pour les politiques agricoles à visée environnementale. Ce travail devrait contribuer à renforcer le partenariat chercheurs-décideur politiques initié à La Réunion, afin de doter les acteurs locaux d'outils pour d'organiser la transition agroécologique de leur territoire. Dans cette perspective, les efforts de recherche pourraient s'orienter vers le développement d'un dispositif multi-échelles et interdisciplinaire autour de l'analyse et de l'accompagnement des changements des agriculteurs.

Mots clés : agroécologie, trajectoires de pratiques, accompagnement, exploitation agricole, filière, citrus.