



HAL
open science

Conception collective d'organisations territoriales innovantes pour une évolution coordonnée de systèmes de production agricoles. Cas d'une réduction de la pollution herbicide d'une rivière en Martinique

Pauline Della Rossa

► **To cite this version:**

Pauline Della Rossa. Conception collective d'organisations territoriales innovantes pour une évolution coordonnée de systèmes de production agricoles. Cas d'une réduction de la pollution herbicide d'une rivière en Martinique. Environnement et Société. Université Paris-Saclay, 2020. Français. NNT : 2020UPASA005 . tel-03153276

HAL Id: tel-03153276

<https://pastel.hal.science/tel-03153276>

Submitted on 26 Feb 2021

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

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

Conception collective d'organisations
territoriales innovantes pour une
évolution coordonnée de systèmes de
production agricoles

*Cas d'une réduction de la pollution
herbicide d'une rivière en Martinique*

Thèse de doctorat de l'université Paris-Saclay

École doctorale n°581 : Agriculture, Alimentation, Biologie,
Environnement et Santé (ABIES)
Spécialité de doctorat : Sciences Agronomiques
Unité de recherche : Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR SAD-APT,
75005, Paris, France.
Réfèrent : AgroParisTech

Thèse présentée et soutenue à Paris, le 25 février 2020, par

Pauline DELLA ROSSA

Composition du Jury

Marie-Hélène JEUFFROY Directrice de Recherche, INRAE (UMR-Agronomie)	Présidente
Marc BENOIT Directeur de Recherche, INRAE (UMR-SAD-ASTER)	Rapporteur & Examineur
Delphine LEENHARDT Directrice de Recherche, INRAE (UMR-AGIR)	Rapporteuse & Examinatrice
Cécile BARNAUD Chargée de Recherche, INRAE (UMR-DYNAFOR)	Examinatrice
Eric SCOPEL Chercheur HDR, CIRAD (UR-AIDA)	Examineur
Marianne LE BAIL Professeur, AgroParisTech (UMR-SAD-APT)	Directrice de thèse
Philippe CATTAN Chercheur HDR, CIRAD (UMR-TETIS)	Co-Directeur de thèse et Examineur
Magalie JANNOYER Chercheur HDR, CIRAD (UR-HortSys)	Co-Encadrante
Charles MOTTES Chercheur, CIRAD (UR-HortSys)	Co-Encadrant

Université Paris-Saclay

Espace Technologique / Immeuble Discovery

Route de l'Orme aux Merisiers RD 128 / 91190 Saint-Aubin, France

Remerciements

Cette thèse est l'aboutissement d'un travail d'équipe rondement mené ! Je tiens à remercier toute les personnes qui ont participé de près ou de loin à son élaboration.

Tout d'abord, je tiens à remercier mon encadrement, Marianne Le Bail, Philippe Cattan et Charles Mottes. Je les remercie tous de leur présence, de leur patience (surtout pendant la phase de rédaction, qui ne semble pas être mon fort !), de m'avoir guidée dans mes idées qui étaient parfois, je l'avoue, un peu nébuleuses. Je les remercie surtout pour le temps qu'ils ont su m'accorder tout au long de ces trois ans (notamment lors de visioconférences qui ont pu durer jusqu'à 6h, et lors de leurs nombreuses relectures du mémoire). Je remercie Marianne pour toutes les connaissances qu'elle m'a apportées, la façon dont elle a su m'aider à construire mes idées, et ses explications assorties d'exemples probants (à l'aide de messieurs « Duchmol » et « Duraton »). Je remercie Philippe pour sa confiance en mes capacités, pour sa persévérance à essayer de comprendre ce que j'écrivais (de même pour Marianne) et pour ses conseils de rédaction (la topic sentence !). Je remercie Charles pour son soutien indéfectible, en particulier pendant la phase d'ateliers, et m'avoir rassurée dans mes choix « c'est TA thèse Pauline, celle de personne d'autre ».

Je tiens également à remercier Magalie Jannoyer, qui a accompagné la première année de ce travail, et surtout sans qui je n'aurais pas eu l'opportunité de faire cette thèse. Je remercie Magalie pour son éternelle bonne humeur, et la confiance qu'elle m'a accordée pendant mon VSC puis ma thèse. J'en profite pour remercier les financeurs de cette thèse que Magalie a réussi à réunir, à savoir Agropolis Fondation, le ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (MEDDE), ainsi que les fonds européens de développement régional (FEDER).

Je tiens à remercier les autres personnes qui m'ont aidées pendant les ateliers, en particulier Landry Deffontaines sans qui la participation aux ateliers aurait sans doute été divisée par deux ! Merci à Landry pour m'avoir accompagnée sur le terrain pendant ces deux années. Je remercie également Roxanne Anckaert qui a pris sa suite.

Je remercie Marc Benoît et Delphine Leenhardt d'avoir accepté d'être rapporteurs de cette thèse, ainsi qu'aux membres du jury d'avoir accepté de participer : Marie-Hélène Jeuffroy, Eric Scopel et Cécile Barnaud.

Je remercie également les membres de mon comité de thèse pour leur temps et leurs précieux conseils pendant cette thèse, à savoir Marie Houdart, Jean-Marc Meynard, Bernard Triomphe, Lorène Prost et Elsa Berthet. Je tiens à remercier tout particulièrement Elsa Berthet pour ses très précieux conseils et les connaissances qu'elle m'a apportées sur la conception innovante, et surtout le temps qu'elle m'a accordé.

Je souhaite adresser un grand merci à toutes les personnes qui ont participé à mes ateliers de conception et mes entretiens, car que serait une conception collective sans collectif ? C'est pourquoi je remercie dans l'ordre les agriculteurs et les agriculteurs-transformateurs (en particulier Madame Mouriesse qui a bien voulu nous accueillir chez elle), et dans le désordre le contrat de rivière du Galion, l'ODE, Canne Union, le CTCS, Banamart, le SEA, la DAAF, l'AVJT, le PARM, Denel, les élus locaux, l'IT2, Phytocenter, la SCIC, le CAEC, l'UGPBAN.

Je remercie chaleureusement les collègues du Campus Agro-Environnemental Caraïbes (ou CAEC, ou encore PRAM pour les anciens, à ne pas confondre avec PARM) pour avoir accepté de faire des présentations à mon premier atelier. Je remercie également tous les collègues du CAEC qui m'ont aidé en acceptant de participer à des crash-test de mes ateliers (encore à l'état de prototypes, ce qui n'était pas une mince affaire). Je remercie également tout le personnel du CAEC qui m'ont accueillie chaleureusement pendant mes 4 années en Martinique (notamment l'équipe administrative avec Evelyne, Jacqueline et Jacqueline, et Marie-France). Mais aussi l'unité de recherche HortSys, en Martinique et à Montpellier, un grand merci pour votre accueil, notamment Fabrice et Ghislaine grâce à qui j'ai pu continuer les deux mois supplémentaires en toute tranquillité depuis chez moi.

Je tiens à remercier les collègues de la pause-café martiniquaise, Manu, Claire, Céline, Mathieu, Jérôme, parce qu'on a bien rigolé quand même ! Manu grâce à qui le café a toujours coulé à flot, et les ordinateurs ont toujours ronronné à la perfection. Claire grâce à qui j'ai appris à faire une balancelle en palette (ou plutôt j'ai appris à regarder comment on faisait une balancelle en palettes, très instructif !). Cécé parce que la thèse c'est quand même plus sympa quand on peut s'en plaindre ! Mathieu parce que les petites bêtes finalement ça a du bon. Jérôme parce que sinon je n'aurais pas eu mon contrôle technique (non, non, rien d'illégal...). Je remercie les collègues de la pause-café qui ont pris leur suite à Montpellier, Yannick, Julien, Damien, Irina, Marc et Marc, Fabrice (et plein d'autres, mais à Montpellier y a vraiment du monde à la pause-café aussi !).

Je remercie tous les copains et colocataires qui m'ont soutenue en Martinique, dans le désordre : Charles et Delphine pour les vendredi soirs aux débats enflammés arrosés de bière et à jouer à Mario-Kart, Léna et Zoé parce qu'elles sont trop mignonnes (et oui, y en a qui ont eu moins d'effort à faire que d'autres pour être dans les remerciements), Cécé et Guigui parce que j'avais jamais été témoin d'un mariage avant, Marine et Jean parce que j'adore refaire le monde en buvant de la bonne bière artisanale, Alice et Tutu parce que j'adore manger thaï et que je n'avais jamais offert de cailles auparavant (RIP Pomme et Tauline). Méliissa parce que la bière de 18h est maintenant devenue une tradition sacrée ! Tom parce que découvrir la Martinique c'est quand même plus sympa à deux, Etienne parce que tout ce que tu cuisines est toujours très bon (voilà, comme ça, c'est écrit noir sur blanc !), Clémence et Marilyn parce que maintenant j'adore le rugby féminin (même que je comprends certaines règles en plus !), François parce

que maintenant je sais ce qu'est un maître d'œuvre et un maître d'ouvrage (enfin j'ai peut-être oublié depuis...), Camille parce que parler potins j'adore ça !

Et la relève montpelliéraine, Eva parce qu'une amitié indéfectible depuis 19 ans ce n'est pas commun, Irina parce que j'ai maintenant l'esprit un peu plus ouvert.

Je tiens à remercier ma famille, mes parents Claude et Edith, ma sœur Juliette et son (tout nouveau) mari Jean-Alain, les plus belles nièces de la terre Amélie et Manon, Tata Catherine et tonton Georges, pour leur soutien pendant toutes ces années (enfin Amélie et Manon je les remercie surtout pour les bisous !!!).

Je remercie toutes les personnes qui se sont sacrifiées à relire les fautes d'orthographe (parce qu'elles savent bien se cachées é er !), tata Catherine (de tonton Georges), mes parents, mes beaux-parents (Martine et Christian),

Et pour finir, je veux remercier Tom, qui est mon potomitan depuis plus d'un an maintenant, et qui m'a merveilleusement coachée, soutenue, entourée, fait des papouilles, pendant cette dernière année. Même que maintenant il sait ce que c'est que la théorie C-K (si, si ! ou presque...).

Et enfin, je me remercie moi-même (bah oui, parce que tout de même j'y suis arrivée, et que trois ans et deux mois c'est long !).

Titre : Conception collective d'organisations territoriales innovantes pour une évolution coordonnée de systèmes de production agricoles. Cas d'une réduction de la pollution herbicide d'une rivière en Martinique

Mots clés : agronomie des territoires, conception collective, herbicide, bassin versant, conception innovante

Résumé : Dans le contexte des Antilles, entre climat très favorable aux adventices et monocultures très dépendantes des intrants, la pression herbicide est importante. En Martinique la pollution par ces molécules, via des mécanismes de transfert fortement spatialisés à l'échelle des bassins versants, dégrade la qualité de l'eau des rivières. Dans ce contexte, la thèse propose, en s'appuyant sur la construction d'une méthode de conception collective originale, des organisations territoriales innovantes pour générer des changements coordonnés dans des systèmes de production agricoles visant à réduire durablement la concentration d'herbicides dans les rivières.

La démarche est mise en œuvre sur un bassin versant particulièrement concerné par la pollution herbicide et combine : un diagnostic du système sociotechnique, une phase d'atelier de conception innovante inspirée de la théorie C-K et une phase visant à évaluer les concepts innovants en simulant leur mise en œuvre dans un jeu sérieux. Les innovations portent tant sur la répartition spatiale de techniques innovantes sur le territoire du bassin versant que sur les dispositifs, aménagements, organisations à créer pour assurer leur succès et leur durabilité. La thèse s'inscrit à la fois dans une agronomie des territoires et dans une agronomie de la conception innovante.

Title : Collective conception of innovative territorial to implement coordinated changes in agricultural production systems. The case of the reduction of herbicides in a river of Martinique

Keywords : landscape agronomy, collective design, herbicide, watershed, innovative design

Abstract : In the West Indies, the climate is favorable for the growth of weeds and monocultures need chemical inputs, which increases the pesticide pressure. In Martinique, pollution by chemical molecules, via spatialized transfer mechanisms at the watershed scale, degrades the quality of river water. In this context, the thesis proposes an original collective design method to design innovative territorial organizations that coordinate changes in agricultural production systems, which reduce the concentration of herbicide in rivers.

The approach is applied to a watershed polluted by herbicides and combines: a socio-technical system diagnosis, a phase of innovative design workshops inspired by the CK theory and a phase of evaluation of innovative concepts by simulation in a role-playing game. Innovations involve a spatial distribution of innovative techniques on the territory of the watershed and devices, facilities, organizations to ensure their success and sustainability. The thesis is in the fields of Landscape Agronomy and Innovative Design Agronomy.

Liste des acronymes, abréviations et sigles

AVJT : Association Vergers et Jardins Tropicaux

CIRAD : centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

CTCS : Centre Technique de la Canne et du Sucre

CTM : Collectivité Territoriale de Martinique, issue de la fusion en 2014 du Conseil Général et du Conseil Départemental

DAAF : Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt de la Martinique

DEPHY: Démonstration, Expérimentation et Production de références sur les systèmes économes en PHYtosanitaires

Fredon : Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles

Ha: hectare

IRD : Institut de Recherche pour le Développement

IT2 : Institut Technique Tropical

MaNA : Marché Nord Atlantique

ODE : Office De l'Eau de Martinique

PARM : Pôle Agroalimentaire Régional de Martinique

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

SAU : Surface Agricole Utile

SEA : Service d'Expérimentation en Agroécologie de la Collectivité Territoriale de Martinique

UGPBAN : Union des Groupements de Producteurs de Bananes des Antilles

Lexique agricole

Adventice : appellation d'une herbe lorsqu'elle est considérée comme un ravageur des cultures

Binage : à l'aide d'outils manuels, action d'ameublir la couche superficielle du sol autour des plants

Buttage : action de ramener la terre au pied des plants sous forme de butte

Cercosporiose : maladie foliaire du bananier causée par un champignon. Il existe actuellement deux types de cercosporiose aux Antilles, noire et jaune

Charançon : coléoptère dont la larve creuse des galeries dans le bulbe, la tige et parfois le pseudo-tronc du bananier

Coupe-feuille : technique culturale de lutte contre la cercosporiose qui vise à couper les feuilles de bananiers atteints par le champignon pour ralentir sa prolifération

Fauche : à l'aide d'outils manuels ou mécanisés (selon l'antécédent), action de couper les adventices

Régime de banane : ensemble des bananes, issues de l'inflorescence d'un bananier

Grand rang : dans le cas d'une plantation en rangs jumelés, constitue le rang ayant le plus d'écart entre deux lignes de plants attenants

Gyrobroyeur : outil tracté qui coupe et broie les végétaux

Herbicide Pré-émergent ou pré-levée : herbicide utilisé avant la levée des adventices

Herbicide Post-émergent ou post-levée : herbicide utilisé après la levée des adventices

Herse : outil tracté qui permet un travail superficiel du sol

Koudmen : système d'entraide informel entre agriculteurs (principalement dans le secteur agricole de la diversification) pour des tâches au champ

Petit rang : dans le cas d'une plantation en rang jumelés, constitue le rang ayant le moins d'écart entre deux lignes de plants attenants

Sarclage manuel : arrachage manuel des adventices

Sillonage : action de fabriquer des sillons, tranchées creusées dans la terre

Soins aux régimes : ensemble de techniques culturales manuelles sur les régimes de banane qui visent à obtenir des bananes répondant aux standards de qualité

Sous-solage : se pratique à l'aide d'une sous-soleuse tractée, qui éclate le sol en superficie

Sommaire

REMERCIEMENTS	1
LISTE DES ACRONYMES, ABREVIATIONS ET SIGLES	5
LEXIQUE AGRICOLE	6
SOMMAIRE	7
INTRODUCTION GENERALE	11
CHAPITRE 1 : POSITIONNEMENT SCIENTIFIQUE DE LA THESE ET PROBLEMATIQUE	14
1. Les herbicides, un problème particulièrement présent en Martinique	14
1.1. Une agriculture martiniquaise à deux vitesses	14
1.2. Une pollution herbicide chronique des rivières	23
2. Les pollutions diffuses demandent aux agronomes de considérer le territoire	28
2.1. Des processus de transfert spatialisés qui impliquent de relier les pratiques parcellaires par des processus biophysiques continus	28
2.2. Un territoire doté de deux dimensions : l'espace physique, et les agriculteurs qui le cultivent	30
2.3. Des espaces d'impacts lieu d'actions collectives	32
3. Quel processus de conception mettre en œuvre pour développer des solutions agronomiques à l'échelle d'un territoire ?	34
3.1. Evolution actuelle de la conception en agronomie	34
3.2. Proposition d'un cadre théorique pour la conception agronomique à l'échelle d'un espace d'impact	37
4. Problématique et questions de recherche	50
4.1. Problématique générale	50
4.2. Présentation des sous-hypothèses de la thèse, en lien avec le cadre théorique choisi	51
4.3. Comment ce dispositif de conception dans notre démarche de recherche allie théorie de la transition, conception innovante et jeu sérieux	53
5. Organisation générale du manuscrit de thèse	55
CHAPITRE 2 : MISE EN PLACE D'UN DISPOSITIF PARTICIPATIF DE CONCEPTION D'INNOVATIONS AGRICOLES TERRITORIALES, A L'ECHELLE D'UN BASSIN VERSANT	56
1. Choix de la zone d'étude : le bassin versant du Galion	56
1.1. Un bassin versant représentatif de l'agriculture martiniquaise	56
1.2. Les techniques actuelles de gestion de l'enherbement sur le bassin versant du Galion : un désherbage chimique dominant associé aux systèmes monoculturaux	58
1.3. La pollution herbicide de la rivière du Galion	67
2. Présentation du dispositif expérimental de conception mis en place dans la thèse	68
3. Les différentes étapes du processus de conception	70

3.1.	Le diagnostic du système sociotechnique qui se restreint à des innovations peu originales en gestion de l'enherbement en Martinique	70
3.2.	Une méthodologie de conception originale pour concevoir des innovations à l'échelle d'un bassin versant	72
CHAPITRE 3 : UN DIAGNOSTIC DU SYSTEME SOCIOTECHNIQUE ET DE SES EFFETS SUR LES INNOVATIONS DEVELOPPEES AU SEIN DU BASSIN VERSANT DU GALION		83
Introduction		86
1.	Material and method	88
1.1.	Analysis framework	88
	Sub-regimes are transverse to scales and most actors are not present in the watershed, but have an influence on it. Consequently, the actors we studied are beyond the watershed scale, and we have to study the sociotechnical regime at the scale of Martinique to understand its impact on the watershed.	91
1.2.	Data acquisition	91
2.	Results and discussion	94
2.1.	Dominant chemical surface weeding	95
2.2.	Actors and networks: organization by supply chain	96
2.3.	A complex system of weed management artefacts and rules disconnected from local impacts	99
2.4.	Hindrances to innovation: example of service plants in banana and sugarcane	104
3.	Conclusion	107
4.	Deux autres innovations en discussion dans le système sociotechnique : la mécanisation et l'agriculture biologique	109
4.1.	La mécanisation, une innovation visant à conserver les monocultures	109
4.2.	L'agriculture biologique, peu encouragée dans les filières monoculturelles et privilégiée par la diversification	112
5.	Conséquence pour le bassin versant du Galion	117
CHAPITRE 4 : DE NOUVELLES VOIES D'INNOVATION POUR GERER L'ENHERBEMENT, COMBINANT CREATIVITE ET CONNAISSANCES		121
1.	Mise en place du dispositif de conception KC	123
1.1.	Quelques rappels	123
1.2.	Déroulé de l'étape KC du dispositif de conception	124
2.	Résultats : Elaboration de nouvelles voies d'innovation Les résultats de la première phase de conception KCP du dispositif	128
2.1.	Initier le processus de conception à partir du régime d'innovation actuel	128
2.2.	Premier atelier de conception : partager les connaissances existantes, repérer les connaissances manquantes	141
2.3.	Seconde étape de conception : les ateliers d'exploration d'idées nouvelles	154
2.4.	Dépassement des effets de fixation	163
CHAPITRE 5 : LE JEU SERIEUX POUR DISCUTER DE LA MISE EN PLACE ET DE LA PERTINENCE DES INNOVATIONS TERRITORIALES		168
1.	Formalisation du jeu sérieux	170
1.1.	Mobilisation des résultats des phases précédentes	170
1.2.	Principaux éléments de la session du jeu sérieux	178

1.3.	La méthode d'analyse des résultats du jeu sérieux _____	181
2.	Résultats de la session du jeu sérieux _____	182
2.1.	Déroulé des différentes phases de jeu, au regard du changement à l'échelle collective _____	182
2.2.	Influence des stratégies collectives sur les exploitations et la pollution de la rivière _____	198
2.3.	Les éléments considérés par les joueurs-agriculteurs dans leur choix de gestion de l'enherbement _____	203
2.4.	Pour évaluer les résultats du jeu, une comparaison de trois situation-types contrastées _____	204
CHAPITRE 6 : DISCUSSION GENERALE _____		217
1.	Les résultats scientifiques _____	217
1.1.	Diagnostic du système sociotechnique sur l'innovation en gestion de l'enherbement en Martinique _____	217
1.2.	Des innovations en rupture pour réduire la pollution herbicide _____	221
2.	Une méthode originale pour accompagner les transformations des pratiques dans un territoire ____	230
2.1.	Difficultés et pistes d'amélioration de la méthode utilisée _____	231
2.2.	La recherche-action participative _____	241
2.3.	Reformulation de la méthode pour une utilisation générique _____	246
3.	Perspectives pour une poursuite opérationnelle de la conception sur le bassin versant du Galion ____	249
3.1.	Sur les innovations _____	250
3.2.	Sur l'évolution du dispositif de conception _____	252
CONCLUSION GENERALE _____		254
BIBLIOGRAPHIE _____		256
ANNEXE 1 : TABLEAU DE BORD _____		269
ANNEXE 2 : EVALUATION ATELIER _____		275
ANNEXE 3: COMPOSITION DES GROUPES D'ACTEURS PENDANT LES DIFFERENTS ATELIERS DE CONCEPTION _____		278
ANNEXE 4 : CARACTERISATION DES INNOVATIONS DES FILIERES AGRICOLES POUR LA CONSTRUCTION DU REFERENTIEL C-K _____		279
ANNEXE 5 : EXEMPLE DU COMPTE-RENDU DE DEUX PRESENTATIONS D'EXPERTS PENDANT L'ATELIER K, DISTRIBUE AUX PARTICIPANTS _____		281
ANNEXE 6 : PRESENTATION DU MODULE AGRONOMIQUE _____		296
ANNEXE 7 : PANNEAU INFORMATIF SUR LE FONCTIONNEMENT DU MODULE TRANSFERT ____		300
ANNEXE 8 : FICHE EXPLOITATION EA1 DE COUT DES ACTIONS DE GESTION DE L'ENHERBEMENT _____		301

ANNEXE 9 : FICHE TECHNIQUE _____	302
ANNEXE 10 : EXEMPLE D'UN PANNEAU D'INNOVATION PRESENTE PENDANT LE JEU _____	303
ANNEXE 11 : ENHERBEMENT MOYEN DANS LES EXPLOITATIONS, PAR TRIMESTRE _____	304
ANNEXE 12 : PRATIQUES DE GESTION DE L'ENHERBEMENT DES EXPLOITATIONS, PAR TRIMESTRE _____	305
ANNEXE 13: SITUATION DE DEPART DES EXPLOITATIONS AGRICOLES DU JEU SERIEUX _____	307
LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES _____	308

Introduction générale

Aux Antilles françaises, les herbicides représentent les pesticides aujourd'hui les plus utilisés par les agriculteurs (DAAF, 2015), en raison de conditions subtropicales humides qui favorisent la croissance des adventices sur toute l'année. Mais ces conditions climatiques particulières facilitent le transfert des herbicides vers les rivières (Mottes, 2013), rendant les agriculteurs responsables d'une pollution chronique des rivières où les herbicides représentent la deuxième source de pollution pesticide (Gresser and Arque, 2018). Cette pollution participe grandement à la dégradation de la qualité de l'eau des rivières mesurée lors des états des lieux prévus par la Directive Cadre sur l'Eau de l'Union Européenne, qui fixe un objectif de bon état écologique et chimique des masses d'eau pour 2025.

En réponse à cela, la diminution des herbicides est le nouvel axe fort du Plan Ecophyto II de Martinique (DAAF, 2014), qui vise au niveau national une diminution de 50% des usages pesticides, avec une sortie du glyphosate pour fin 2020. La question est d'autant plus forte en Martinique que l'agriculture est fortement dépendante des intrants chimiques, dont les herbicides, principalement dans les productions monoculturelles de la banane et de la canne pour l'export, qui représentent à elles seules 44% de la Surface Agricole Utile de l'île. Hors de ces filières, les agriculteurs appliquant une agriculture dite de diversification, à destination du marché local, ont des pratiques très hétérogènes dans leur gestion de l'enherbement avec, pour certains, un usage non négligeable d'herbicides. Toutes ces cultures possèdent la double originalité d'être cultivées en milieu tropical et soumises à une législation européenne établie principalement pour des cultures de milieu tempéré. Aussi, les acteurs locaux de l'agriculture se plaignent d'une législation inadaptée (pression parasitaire accrue, croissance des adventices sur toute l'année etc.). Dans ce contexte législatif et agricole particulier, les innovations agricoles visant à réduire l'utilisation d'herbicides se développent de plus en plus.

Pour autant, les innovations proposées actuellement sont pensées principalement à l'échelle de la parcelle, tandis que les mécanismes de transfert sont fortement spatialisés et se différencient selon le moment, l'endroit et la façon dont les herbicides sont appliqués (Mottes, 2013). Au final, c'est l'ensemble des parcelles d'un territoire qui contribuent à la pollution d'une rivière (Della Rossa et al., 2017), reliées par des processus hydrologiques continus jusqu'à l'exutoire. Cela demande de repenser le paradigme de conception d'innovations en agronomie, en suggérant que certaines solutions impliquent de réfléchir à des échelles territoriales définies par des processus biologiques et physiques continus (Deffontaines and Brossier, 2000).

Pour réfléchir à ces questions, le CIRAD coordonne deux projets de recherche en Martinique. Le projet RESYST a pour objectif de développer un dispositif d'accompagnement de l'innovation en agriculture, ciblé sur la réduction des impacts environnementaux liés à l'usage des pesticides.

Pour cela, il s'appuie sur un diagnostic des freins et leviers à l'innovation, et la construction participative d'un modèle de représentation partagé du fonctionnement des processus de transfert vers le sol et les eaux superficielles. Le projet RIVAGE propose de mettre en place un dispositif d'accompagnement de la transition écologique s'appuyant sur un observatoire des pollutions, appelé OPALÉ (Observatoire des Pollutions Agricoles aux Antilles) qui comprend un système de surveillance de la qualité des eaux de rivière. Le projet cherche à développer une démarche territoriale intégrée afin de proposer des solutions adaptées aux différentes pollutions observées. La thèse s'inscrit dans ces deux projets de recherche.

S'interroger sur la conception d'innovations agricoles à l'échelle d'un territoire suppose de réfléchir sur un système complexe d'interactions entre pratiques agricoles et milieu biologique et physique, à des échelles emboîtées de la parcelle au territoire (Bühler et al., 2010). D'autant plus que la diminution de la pollution résultant d'un ensemble de pratiques individuelles, elle implique des actions concertées entre usagers, donc de mettre en place d'espaces de concertation et d'apprentissages entre acteurs (Deffontaines and Brossier, 2000). Cependant, l'espace sur lequel se positionnent les mécanismes responsables de l'impact des pollutions des rivières, à savoir les bassins versants, ne représentent pas une entité de gestion pour les acteurs agricoles. On peut alors se demander comment est-il possible de développer des solutions à la pollution herbicide agricole d'une rivière à l'échelle d'un bassin versant ? Or, si l'agronomie aujourd'hui a bien investi l'échelle territoriale comme échelle d'analyse, elle ne l'a pas encore suffisamment investi comme échelle d'action (Boiffin et al., 2014). Pourtant, le problème de pollution diffuse appelle à une conception de nouveaux objets par l'agronomie, qui manque d'outils pertinents pour développer ce type d'objets (Prost et al., 2017). C'est pourquoi il apparaît intéressant de se tourner vers d'autres cadres scientifiques qui répondent à tout ou partie de cette question.

Dans le cadre de cette thèse, nous traitons la question de comment concevoir de nouveaux objets agronomiques, par la mise en place d'un dispositif de conception qui mêlent trois cadres théoriques et méthodologiques différents. Ce travail méthodologique aborde les questions suivantes : quels sont les freins et leviers actuels à l'innovation de gestion de l'enherbement en Martinique ? Comment concevoir des solutions originales, qui s'opèrent à l'échelle supra-exploitation ? Comment définir les conditions de succès des innovations dans un système complexe qui mêle processus physiques de transfert des herbicides et réseaux d'acteurs ? Pour répondre à ces questions, la thèse se déclinera en 6 chapitres.

Tout d'abord, l'élaboration de ce dispositif original de conception et ses hypothèses de recherche s'appuient sur un état de l'art (chapitre 1) qui définit le positionnement scientifique de la thèse et le choix du cadre théorique sur lequel s'appuie la co-conception menée dans cette thèse. Ce chapitre sera suivi d'une présentation des grands principes méthodologiques de ce dispositif en chapitre 2.

Ensuite, nous présenterons les résultats du dispositif suivant les trois étapes du processus de conception.

La première étape (chapitre 3) consiste en la réalisation d'un diagnostic du système sociotechnique, adapté à l'échelle d'un bassin versant, afin d'identifier d'une part les freins et les leviers à l'innovation en gestion de l'enherbement en Martinique, et d'autre part à repérer quels sont les biais cognitifs des acteurs en présence qui interviennent dans les processus d'innovation.

La deuxième étape (chapitre 4) consiste en la mise en place d'une première phase de conception participative, inspirée des méthodes de conception innovante, afin d'amener les acteurs à concevoir des innovations originales, c'est-à-dire à l'échelle du bassin versant.

La troisième étape (chapitre 5) consiste en la mise en place d'une deuxième phase de conception participative, inspirée de la modélisation d'accompagnement par l'utilisation d'un jeu sérieux, afin de discuter des conditions d'implémentation et de succès des innovations originales précédemment conçues.

Chapitre 1 : positionnement scientifique de la thèse et problématique

1. Les herbicides, un problème particulièrement présent en Martinique

Les Antilles sont très exposées au risque de pollution par les pesticides. Le climat de type tropical maritime humide, favorisant la croissance des mauvaises herbes et la prolifération des pathogènes sur toute l'année, incite à l'utilisation de pesticides. Les cultures principales étant des monocultures semi-pérennes, ceci accroît la prolifération de pathogènes et donc la demande en intrants chimiques. Le scandale de la contamination à la chlordécone, encore très présent dans les esprits, témoigne de l'impact potentiel de l'agriculture sur l'environnement martiniquais (Cannon et al., 1978; Clostre et al., 2015; Coat et al., 2011).

Les rapports de surveillance de la qualité de l'eau des rivières par l'ODE (Office Départemental de l'Eau de Martinique) sont alarmants. 80 molécules de pesticides sont retrouvées dans les eaux de surface entre 2008 et 2012, et 24 de leurs stations de mesures sont touchées sur les 28 présentes sur tout le territoire (ODE, 2013). Il est donc nécessaire, pour des raisons sanitaires et écologiques évidentes, de faire évoluer les pratiques agricoles afin de diminuer leur impact sur l'environnement, notamment sur la qualité de l'eau.

1.1. Une agriculture martiniquaise à deux vitesses

1.1.1. Un milieu naturel propice au transfert des pesticides vers les rivières

La Martinique est une île des petites Antilles qui s'étend sur 1 128km². Avec une population de 386 000 habitants, elle est le 13e département de France par sa densité de population (342 en 2013 d'après l'INSEE). Le climat est de type tropical maritime, avec des températures moyennes mensuelles variant entre 25°C (janvier) et 28°C (juin), et un gradient de précipitations important entre le nord (6000 mm) et le sud (2000 mm), mais également entre l'est (2500 à 6000 mm) et l'ouest (1500 à 4000 mm) (Mottes, 2013). L'agriculture représente 3,5% des emplois sur l'île en 2015 (IEDOM, 2015).

Le relief de la Martinique dessine trois types de zones : une zone littorale aux pentes faibles, des reliefs montagneux importants avec des pentes fortes (la chaîne des pitons, la montagne Pelée), juxtaposition de petits mornes (collines) avec des pentes moyennes à fortes. A cela s'ajoute un réseau hydrographique dense constitué de rivières et de ravines, ainsi qu'un gradient pluviométrique important entre le nord et le sud de l'île.

La ressource en eau superficielle est répartie entre 70 cours d'eau majeurs et 200 cours d'eau permanents, et se concentre surtout dans la partie nord de l'île. La forte pluviométrie de cette région, associée à son relief accidenté, impliquent un fort risque de transfert des pesticides vers les rivières par des flux de surfaces et sub-surfaces, mais également par des flux souterrains via les aquifères. Or, la qualité de l'eau des rivières de Martinique est un enjeu majeur sur une île où l'eau potable dépend à 94% de l'eau superficielle (Comité de bassin Martinique, 2015). Les autres prélèvements sont dédiés à l'irrigation (3%) et à d'autres usages économiques (3%). C'est pourquoi l'un des principaux enjeux du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux de Martinique (SDAGE) est « *la lutte contre toutes les pollutions quelles que soient leurs origines* » (Comité de bassin Martinique, 2015).

L'agriculture, on l'a dit, est un secteur qui consomme beaucoup de pesticides, notamment en lien avec ses deux secteurs de production monocultureaux, la canne et la banane, mais aussi avec l'agriculture dite de « diversification » qui présentent des usages hétérogènes. L'historique de la naissance de cette agriculture explique l'actuelle organisation du monde agricole martiniquais, à la fois spatialement (répartition des cultures sur l'île) mais aussi socialement (quels acteurs sont concernés, conflits sous-jacents).

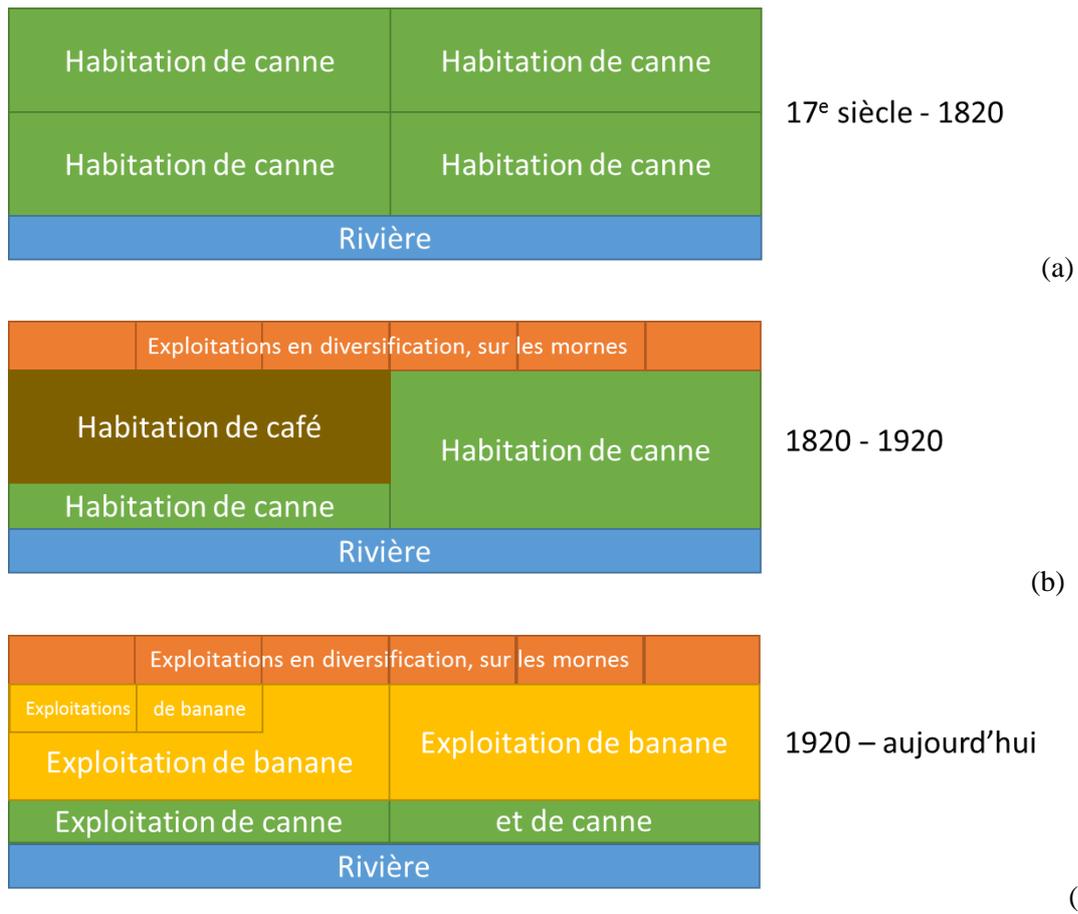


Figure 1: représentation schématique de l'occupation du sol agricole au cours de l'histoire Martiniquaise : (a) du 17^e siècle à 1820, (b) de 1820 à 1920, (c) de 1920 à nos jours

1.1.2. Une histoire qui explique l'actuelle organisation du monde agricole Martiniquais

Dans cette partie, nous illustrons l'évolution historique de l'occupation du sol à travers trois schémas (Figure 1 (a), (b) et (c) ci-contre) qui représentent un versant agricole martiniquais.

Au début de la colonisation des petites Antilles, l'objectif principal était la mise en valeur agricole de ces îles afin de satisfaire les besoins de la métropole. La canne devient rapidement la production principale de l'île, sans pour autant être la seule. Il existe en effet des habitations spécialisées en productions de vivres pour la population locale, des exploitations de pétun et d'indigo (Dumaz, 1986; Huygues Belrose, 2010). Cependant, la canne à sucre occupe déjà les meilleures terres, en plaine. On commence à observer dès le XVII^e siècle une concentration foncière visant à amortir le coût des outils de transformation (Mbolidi-Baron, 2002). (Illustration de cette occupation du sol Figure 1 (a)).

Entre 1820 et 1848, la filière canne fait face à des problèmes structureaux, en même temps qu'à un repli du cours du sucre, ce qui amène une baisse générale du profit sucrier. Certaines habitations décident de se spécialiser dans d'autres spéculations comme le café (Dumaz, 1986). En 1848 arrivent deux événements qui vont de nouveau mettre en difficulté la filière sucre des Antilles. Tout d'abord la fin de l'esclavage qui implique une augmentation du coût de la main d'œuvre, et le développement en Europe de la betterave sucrière qui vient concurrencer le sucre de canne (Mbolidi-Baron, 2002). A partir de cette époque, les anciens esclaves/nouveaux ouvriers agricoles accèdent à la propriété foncière, ou à l'usufruit par colonat ou contrat d'association après discussion avec l'ancien maître. De cette façon débute le morcellement du foncier, avec la vente des plus mauvaises terres, les plus pentues (situées le plus souvent sur les mornes), aux anciens esclaves devenus salariés (Mbolidi-Baron, 2002). Les années 1882-1884 connaissent la première grave crise sucrière post-esclavagiste qui marque l'échec et la fin de la révolution industrielle sucrière dans la région des Antilles. Pour les anciennes habitations sucrières les plus favorisées géographiquement (pente inférieure à 15% et microrelief peu marqué), il devient rentable de se lancer dans la fabrication de rhum (Mbolidi-Baron, 2002). Les autres exploitations décident de changer de spéculation et se tournent notamment vers le café. (Illustration de cette occupation du sol Figure 1 (b)).

La culture de la banane est présente aux Antilles depuis le début de la colonisation, et servait à l'alimentation des populations locales ainsi que d'ombrière pour le café (Dumaz, 1986). Le consommateur français découvre la banane à partir des années 1890, mais l'idée d'exporter des bananes depuis les Antilles n'apparaît qu'en 1922. L'année 1928 connaît un gros cyclone qui détruit en grande partie les exploitations caféières, les cacaoyers et les autres cultures. Dans un premier temps, il s'agit de relancer les productions de café et de cacao, en reprenant les fonctions habituelles des bananiers en ombrière, pour protéger les plants qui ont survécu et les nouveaux plants (Dumaz, 1986).

C'est ainsi qu'on observe une première intensification bananière, avec la densité du bananier qui double sur les exploitations de café et cacao. En 1930, sur 700 000 régimes produits, 1/5 seulement est exporté, le reste pourrit sur place car ne peut pas être exporté (Dumaz, 1986). Et c'est ce fort gâchis, la présence d'un marché porteur, et les fortes importations de bananes en France qui vont sensibiliser les exportateurs et les hommes politiques en France. On décide alors de faire de la banane des Antilles une culture de rente à destination de la métropole, d'où la mise en place d'un fort protectionnisme de la part de l'Etat français. Les productions de bananes croissent en prenant une part de plus en plus importante dans l'association café/banane, et se développent dès les années 1920 aussi en culture pure à la place d'autres cultures ou sur des friches. On observe déjà de fortes inégalités entre les exploitations. En Guadeloupe en 1960, 9 grands planteurs cultivent plus de 100ha (0.26% des planteurs pour 28% des plantations, soient 2 700 ha) tandis que 91% des planteurs ont moins de 5 ha et ont 11% des bananeraies (3400 planteurs) (Dumaz, 1986). En effet, le morcellement foncier inachevé du 19e siècle n'a pas concerné toutes les exploitations (Dumaz, 1986), et ces inégalités se retrouvent également dans les inégalités de structures de production de bananes. (Illustration de cette occupation du sol Figure 1 (c))

On observe aujourd'hui encore cette organisation spatiale, avec les monocultures d'exportation dans les plaines mécanisables, et l'agriculture de diversification sur les terres en pentes, principalement sur les mornes et zones montagneuses. La canne à sucre est historiquement répartie sur tout le territoire martiniquais, lié au fait qu'il faille extraire le jus dans les heures qui suivent la coupe, ce qui explique la répartition des moulins (puis autres outils de transformation) sur toute l'île (Mbolidi-Baron, 2002). Les reconversions des exploitations de canne en banane ont principalement eu lieu dans le nord de l'île, qui possède une pluviométrie importante nécessaire à la culture du bananier (Houdart, 2005). La caste béké¹ a su, par une organisation interne, garder indivises l'essentiel de ses grandes exploitations (Mbolidi-Baron, 2002), ce qui explique encore l'actuelle concentration foncière. L'utilisation massive de l'insecticide chlordécone entre 1971 et 1993 pour lutter contre le charançon du bananier a contaminé pour plusieurs siècles les terres agricoles de Martinique (Lesueur Jannoyer et al., 2016). Cette pollution contamine aussi les denrées alimentaires quand elles sont produites en contact avec le sol, ce qui limite fortement l'utilisation agricole de ces terres selon leur degré de pollution, où les terres hautement contaminées sont impropres à la culture de tubercules et de certaines productions maraîchères (Clostre et al., 2015). Cette contamination a contribué à fixer davantage l'actuelle occupation de la surface agricole en diminuant les possibilités de reconversion des exploitations de banane.

¹ Békés : les békés sont les descendants des anciens colons. Ils forment une communauté et représentent 1% de la population en Martinique. En 2009, ils possédaient encore 52% des terres agricoles.

Tout au long de l'histoire et jusqu'à aujourd'hui, un habitat diffus s'est construit sur les terres agricoles du territoire martiniquais, ce qui tend à effacer les frontières urbain/rural. L'urbanisation est aujourd'hui la pression la plus forte s'exerçant sur le foncier agricole. Selon le Plan de Développement Rural de la Martinique, la surface agricole utile de l'île a été réduite de 36% au cours des trente dernières années, et continue de diminuer chaque année de 500 ha en moyenne en construction ou en friches (FEADER, 2015) sous la pression d'une densité de population très élevée (354 hab/km²).

En conclusion (Figure 2), on observe tout d'abord une forte inégalité foncière qui date de la colonisation, avec une concentration des meilleures terres chez les békés principalement, et un morcellement des terres sur les mornes qui constituent encore aujourd'hui les petites exploitations principalement en diversification. On observe également que la monoculture de canne a subi au cours de l'histoire une série de crises financières amenant à une concentration des terres, à une diminution des structures de transformation et à une forte mécanisation de son itinéraire technique pour amortir les coûts de sa production. On observe enfin que le développement de la monoculture de banane, fortement encouragée par l'Etat français pour approvisionner la métropole, porte les stigmates des inégalités foncières et économiques de l'histoire coloniale. Son utilisation massive de chlordécone a contribué à fixer davantage l'occupation actuelle de la surface agricole. Enfin, les zones urbaines exercent une très forte pression sur les terres agricoles.

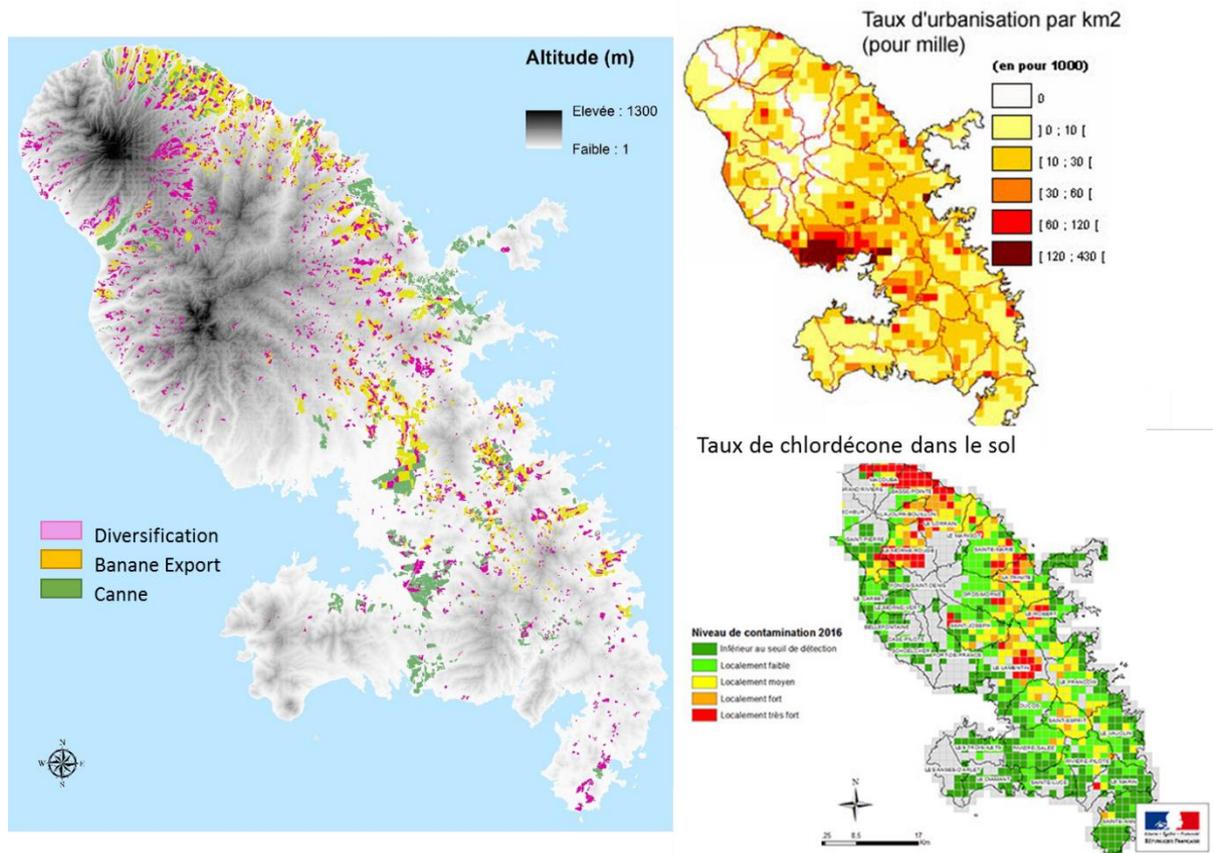


Figure 2: cartographie de l'occupation agricole en Martinique, au regard de l'urbanisation et de la contamination des sols à la chlordécone (source : DAAF, (Barbazan, 2003), BRGM/RP-66297-FR)

1.1.3. Les principales cultures présentes en Martinique

L'historique précédent explique la présence actuelle de deux types d'agriculture très distincts. Les principales cultures sont la monoculture de banane (27,1% de la SAU) et la monoculture de canne à sucre (16,7% de la SAU) (Agreste Martinique, 2015; IEDOM, 2015). Les cultures maraîchères et fruitières, destinées au marché local, ne représentent que 13,9% de la SAU, ce qui implique une forte dépendance alimentaire de la Martinique aux fruits et légumes importés avec, en 2014, 57% des légumes frais et 66% des fruits frais consommés qui sont importés (Agreste Martinique, 2015). Le reste de la SAU est occupée par des friches et pâturages.

Le Tableau 1 montre que ces deux types d'agriculture de fruits et légumes en Martinique se distinguent selon 6 critères : (i) le passé colonial, (ii) la dépendance aux subventions nationales et européennes, (iii) la destination de la production, (iv) les circuits de commercialisation (v) les systèmes de cultures, (vi) l'ancrage dans le paysage martiniquais (surface et nombre d'exploitations).

Tableau 1: les différents types d'agriculture en Martinique et leurs caractéristiques principales

	Banane	Canne	Diversification (légumes, fruits)
Passé colonial	Histoire principalement liée aux colons et à leurs descendants		Histoire principalement liée aux esclaves et à leurs descendants
Dépendance aux subventions nationales et européennes	100% des producteurs y ont accès (grâce à un groupement unique des producteurs pour chaque filière) Représente presque 50% du revenu d'une exploitation (Agreste, 2016)		80% des agriculteurs hors des groupements (20% répartis dans 5-6 groupements) En 2014, 172 agriculteurs sur 2 700 environ ont touché des aides européennes (Agreste, 2015)
Destination de la production	Exportation (99%)	Exportation (78% du rhum) Local (100% du sucre, 22% du rhum)	Local (100% de la production)
Circuit de commercialisation	Long (2 intermédiaires ou plus)		Court, semi-court (0-1 intermédiaire)
Systèmes de culture	Monoculture <i>Canne : C (5ans) – C (5ans)</i> <i>Banane : B (5ans) – J (1-2 ans) – B (5 ans)</i>		Monoculture <i>Verger</i> <i>Certains légumes (dachine)</i> Polyculture, élevage
SAU Martinique	27%	17%	14%
Nombre d'exploitations	374	201	Environ 2 700

Les deux filières monoculturelles que sont la banane et la canne se distinguent bien de l'agriculture de diversification (Tableau 1). Houdart (Houdart, 2005) parle de deux organisations contrastées : politique d'exportation versus paysannerie, que nous décrivons ci-après.

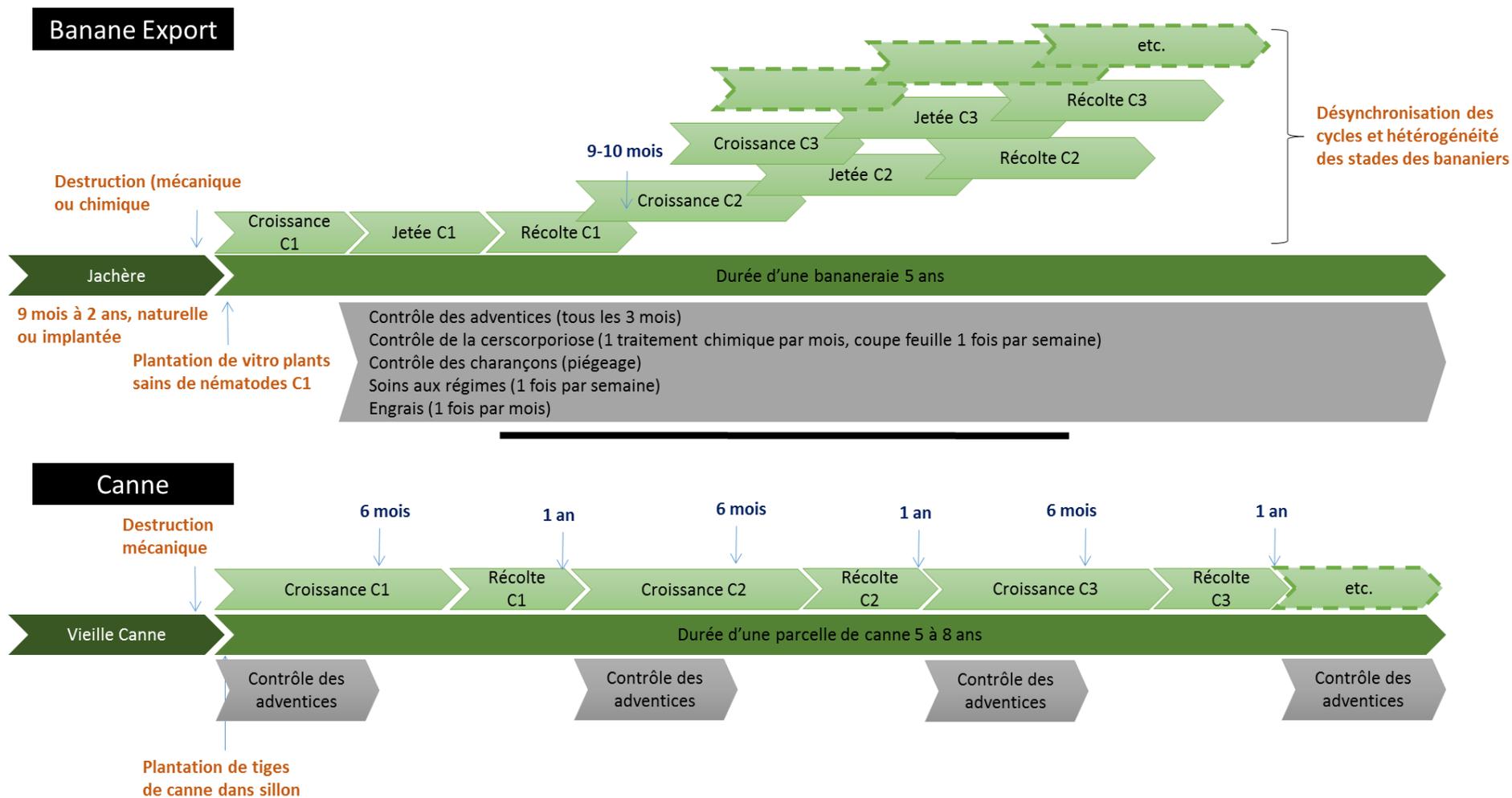


Figure 3: systèmes de culture classiques des deux principales monocultures (Banane Export et canne, à partir de (Mottes, 2013))

1.1.3.1. Les monocultures d'exportation et leurs systèmes de culture classiques

La monoculture de banane est à destination quasi-exclusive de l'exportation vers la métropole (99% de sa production), pour la grande distribution. La banane export martiniquaise forme une filière structurée avec une union de producteurs à l'échelle des Antilles françaises (Martinique et Guadeloupe) chargée de sa commercialisation qui répond ainsi à 40% de la demande métropolitaine (FruiTrop, 2017).

La monoculture de canne est destinée à la transformation locale et ne peut pas être exportée ou importée en tant que matière première, car trop fragile. Le sucre est livré au marché local (via la grande distribution), tandis que le rhum part majoritairement à l'exportation. Ces transformations font la valeur ajoutée de la canne (65% de la canne récoltée de l'île pour le rhum dans sept distilleries ; 35% pour le sucre dans une sucrerie) (DAAF, 2016). La canne est la deuxième culture d'exportation après la banane car 78% du rhum produit est exporté vers la métropole (DAAF, 2016), soit l'équivalent de la moitié des cannes de l'île.

Ces deux filières sont caractérisées par des systèmes monoculturaux (Figure 3 ci-contre) dans lesquels la gestion des ravageurs se pense sur des pas de temps différents : continue sur l'année pour la banane, discontinue pour la canne pendant les 6 premiers mois de la croissance de chaque cycle annuel. De même, la production de banane devient continue sur l'année à partir de 2 ans d'âge de la parcelle, tandis que la canne produit tous les ans sur une période fixe (récolte entre février et juin). Les tâches en banane sont beaucoup plus nombreuses et fréquentes qu'en canne, liées aux soins nécessaires à apporter aux régimes pour assurer la qualité du produit récolté.

Diversification

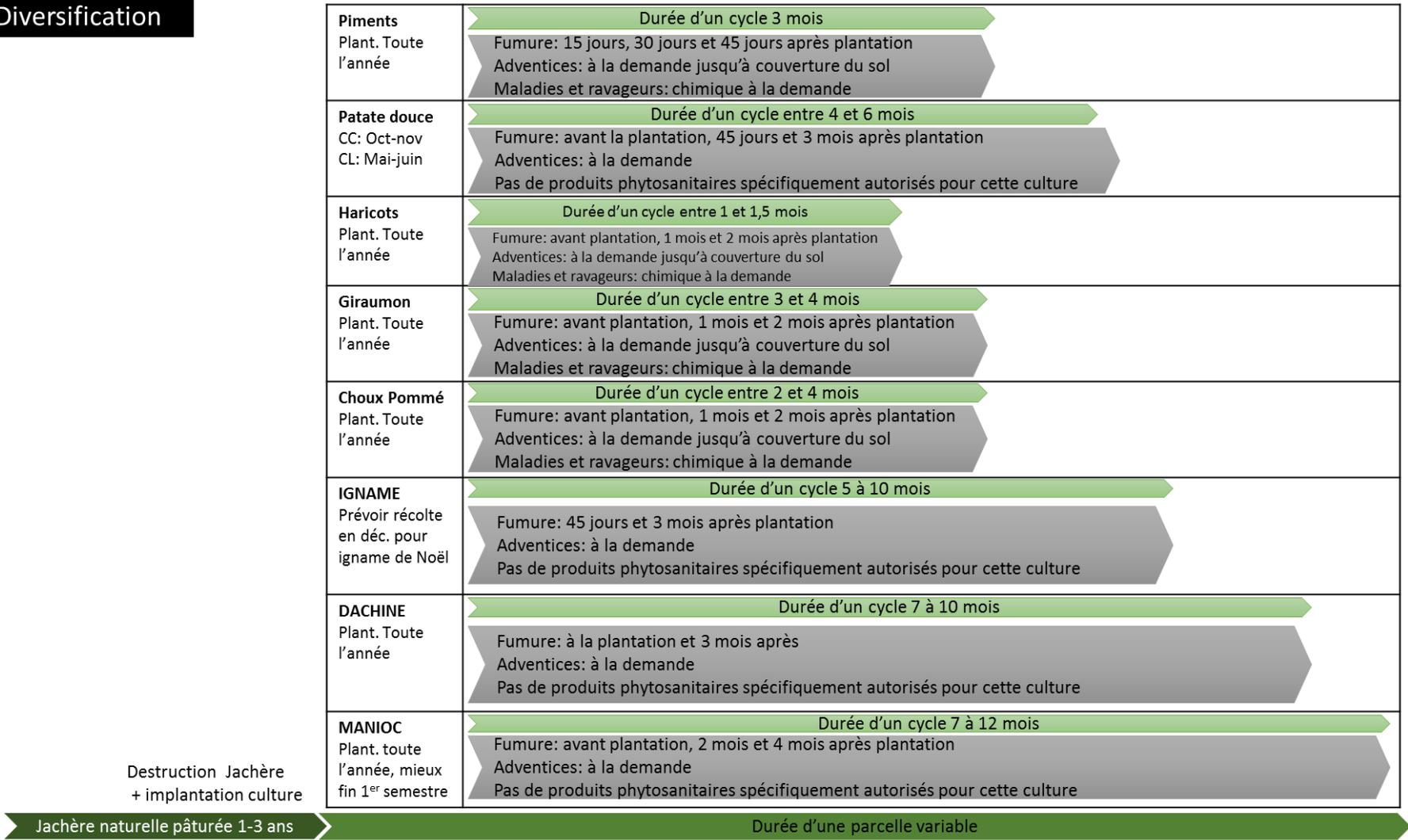


Figure 4: cycles de culture de quelques productions présentes dans les systèmes plus ou moins associés d'agriculture de diversification

1.1.3.2. L'agriculture de diversification

L'agriculture de diversification n'est pas homogène. C'est en gros tout ce qui n'est ni canne ni banane : « *élevage et cultures maraîchères sous serre avec des ateliers de production souvent performants, mais aussi productions mixtes où les cultures maraîchères et de tubercules de plein champ côtoient des élevages de petits ruminants ou de volailles. Ce terme couvre également des activités non agricoles (accueil à la ferme, vente directe, etc.)* » (BRL ingénierie, 2014). Il y a peu de données disponibles sur cette agriculture en raison de difficultés de recensement (souvent petites à très petites surfaces, pluriactivité), et du manque de structuration des filières (seuls 419 agriculteurs sont regroupés au sein d'organisations de producteurs ou coopératives, (IEDOM, 2015)). L'enquête, commandée en 2014 par la Chambre d'Agriculture et financée par les crédits du Conseil Interministériel des Outre-Mer, a permis d'évaluer les qualités des exploitations agricoles en diversification et leur potentiel de développement pour orienter les programmes d'action et les financements de l'agriculture (BRL ingénierie, 2014). Cette étude, basée sur 600 enquêtes de terrain (représentant 2 500 ha), permet d'apprécier la grande diversité de cette agriculture, avec des tailles d'exploitations très variables (entre 1 et 20 ha pour 96% des enquêtés), plus d'une trentaine de productions cultivées, et pas moins de 7 types de systèmes de culture dits « traditionnels » (typologie effectuée en fonction de la tête de rotation) (Pollen Conseil, 2014). Elle se caractérise principalement par ses débouchés locaux et ses productions « ni canne ni banane », avec des périodes de récoltes très variables selon les systèmes et les productions. Les acteurs de cette filière sont particulièrement nombreux et atomisés, en comparaison des filières monoculturelles. La Figure 4 ci-contre représente les cycles de cultures de quelques-unes des principales productions de ces systèmes de diversification axés sur le maraîchage et/ou la production de tubercules. Les systèmes diversifiés possèdent une grande variété de fenêtres d'action et de pratiques pour la gestion des ravageurs, tandis que les systèmes monoculturels de verger gèrent les ravageurs toute l'année. On sait cependant que plusieurs de ces cultures ne possèdent pas de produits phytosanitaires homologués spécifiquement. L'agriculture de diversification est fortement touchée par le phénomène d'« usage orphelin² », avec seulement 6% d'usages pourvus.

² Un usage est un couple plante-organisme nuisible auquel est associé un produit phytosanitaire. Un usage dit « orphelin » est un usage pour lequel un agriculteur se retrouve sans solution phytosanitaire autorisée pour lutter contre un ravageur sur une plante

1.2. Une pollution herbicide chronique des rivières

Dans cette partie, nous allons voir que certaines pratiques agricoles sont, au moins pour partie, responsables de la pollution des rivières.

1.2.1. Les rivières de Martinique, un enjeu sanitaire mais aussi social

La Martinique étant une région ultrapériphérique de l'Union Européenne, elle est soumise à la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). Cette directive adoptée en 2000 constitue l'élément majeur de la réglementation européenne concernant la protection des ressources en eau. Parmi les objectifs de la DCE, on retrouve l'atteinte du bon état écologique et chimique pour les eaux de surface (Directive 2008/105/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008, 2008). La DCE ne prend en compte qu'un nombre limité de pesticides présents en Martinique, et en l'absence d'autre méthodologie d'évaluation validée par le ministère, les seuils utilisés pour évaluer la qualité des eaux de surfaces sont les seuils de potabilisation de l'eau (DAAF, 2015), particulièrement adéquats pour la Martinique dont l'eau de consommation dépend fortement de ses captages en rivières.

L'office de l'eau de la Martinique (ODE) est un organisme public, déclinaison dans les Doms des agences de l'eau, et est chargé entre autres de la surveillance de la qualité de l'eau. La Figure 5 présente son dispositif de suivi de la qualité des eaux de rivières, ainsi que la qualité chimique des cours d'eau de Martinique en 2016. On voit que 24 stations sur les 28 ont présenté des seuils dépassant les normes de potabilisation, avec 80 molécules retrouvées (ODE, 2013), ce qui démontre l'étendue de la contamination des eaux superficielles de l'île par les pesticides.

Les martiniquais ont connu dans les 50 dernières années une évolution de leur rapport aux rivières. Jusque dans les années 1960, la rivière était un lieu très fréquenté, un lieu de rencontre collective, lié aux activités domestiques comme la lessive, la pêche, ou encore certaines pratiques religieuses (Morandi et al., 2014). Le déploiement de l'eau courante dans les années 1960-1970, et la prise de conscience de la mauvaise qualité de l'eau (liée notamment à une épidémie de bilharziose à cette époque) vont rapidement éloigner les martiniquais des rivières. Le scandale de la chlordécone a accentué la tension sur les impacts de l'agriculture et la pollution des rivières par les pesticides qui s'étend sur tout le territoire, mettant en danger non seulement la qualité de l'eau potable, mais aussi le cadre de vie des martiniquais. C'est devenu un vrai problème de politique territoriale.

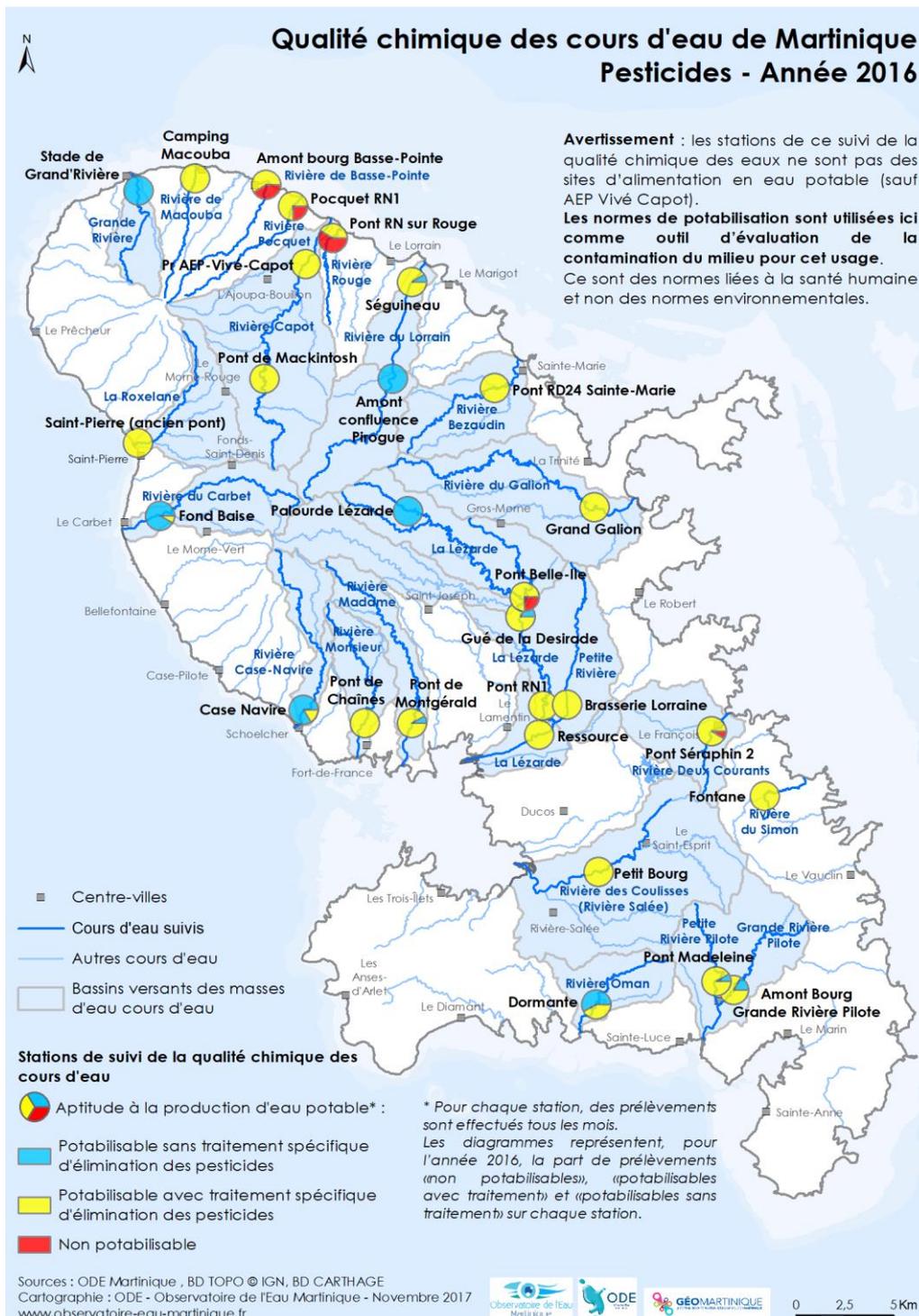


Figure 5: Qualité chimique des cours d'eau de Martinique (ODE 2016)

1.2.2. La pression agricole actuelle engendre une pollution chronique

La Figure 6 montre les trois groupes de molécules retrouvées dans les eaux de rivières martiniquaises : les molécules historiques qui ne sont plus utilisées mais sont stockées durablement dans les sols, les fongicides post-récolte de la banane qui sont utilisés en faible quantité mais ont un fort impact sur la qualité de l'eau, et les herbicides qui constituent la deuxième famille de molécules les plus retrouvées dans les eaux après les molécules historiques, ce qui en fait la première cause de pollution issue des pratiques actuelles. Le nombre de détection dans les eaux de rivière montre que le glyphosate (avec son métabolite l'AMPA) est le principal herbicide retrouvé dans les eaux, et que sa présence augmente fortement entre 2011 et 2016.

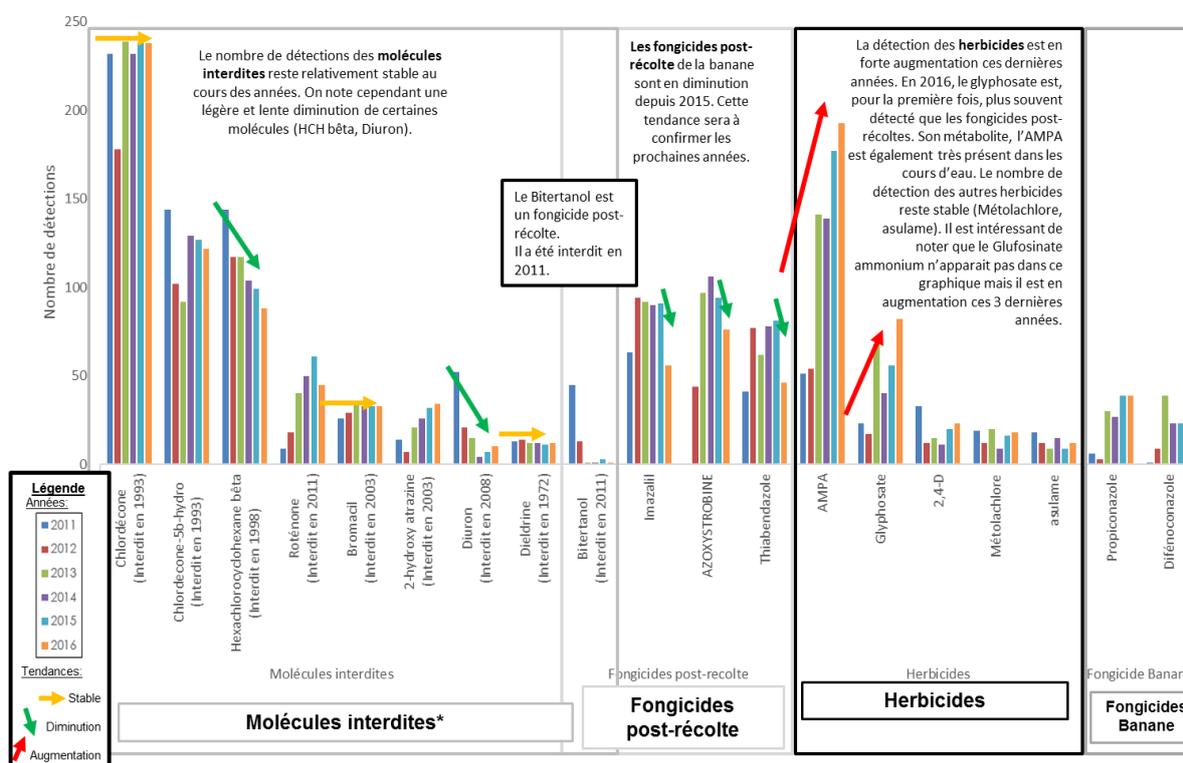


Figure 6: nombre de détection des substances actives pesticides dans les rivières de Martinique, de 2011 à 2016 (source: ODE 2017)

Sur l'île, chaque année entre 2009 et 2015, la consommation d'herbicides a représenté autour de 80% de la quantité de substance active vendue, le glyphosate constituant la principale molécule utilisée (autour de 50% de la Quantité de Substances Actives (QSA) vendue depuis 2013) (DAAF, 2015). C'est pourquoi les herbicides constituent une des priorités du plan ECOPHYTO II de Martinique (DAAF, 2014).

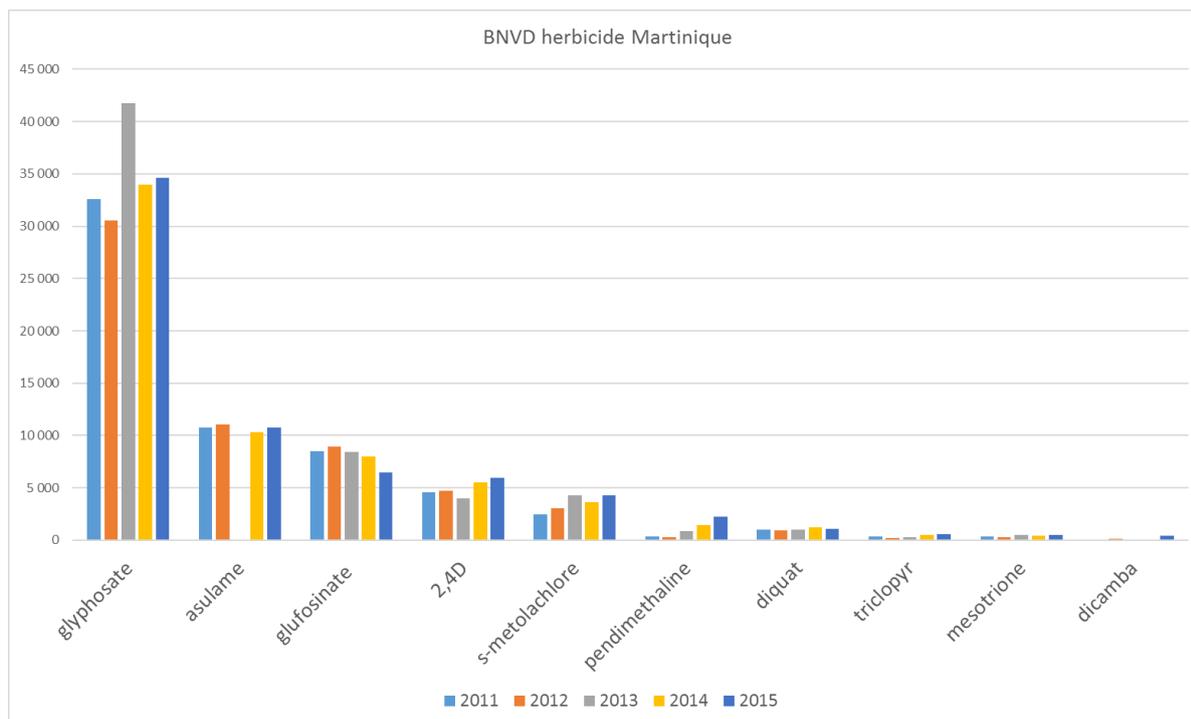


Figure 7: QSA Herbicide vendues en Martinique entre 2011 et 2015 (Source : BNVD³ de note de suivi DAAF, 2015)

D'après les données de la BNVD³ (Figure 7), on observe que la consommation d'herbicides reste stable depuis 2011 en Martinique, malgré une réglementation de plus en plus stricte. Ceci témoigne de la dépendance des systèmes agricoles martiniquais à l'utilisation d'herbicides et ce, malgré le développement de techniques alternatives dans les différents systèmes de production.

Le Tableau 2 suivant recense les substances actives herbicides les plus vendues selon leurs usages autorisés :

Tableau 2: Usage des 11 herbicides les plus vendus en Martinique, d'après la BNVD 2016 (Préfecture de Martinique, 2016)

Substance active	Usages			
	Banane	Canne	Diversification	Traitements généraux
Glyphosate				X
Asulam (<i>interdit en France en 2012, fait l'objet de dérogations annuelles</i>)		X		
2,4 D		X		X
Glufosinate d'Ammonium (<i>interdit en 2017, autorisation d'utiliser les stocks jusqu'à fin 2018</i>)	X		X	
S Métolachlore		X	X	
Pendimethaline		X	X	
Triclopyr				X
Diquat dibromide	X			
Mésotrione		X		
Dicamba		X		X
Fluazifop	X		X	X

³ BNVD ; Banque Nationale des Ventes Distributeurs : bilans annuels de ventes transmis par les distributeurs de produits phytosanitaires aux agences et offices de l'eau

On observe deux types de molécules : celles à usage réservé à une production, et celles à usages généraux. La production de canne à sucre utilise fortement l'herbicide spécifique Azulox, à base d'asulame, car il est le seul herbicide sélectif de la canne en post-levée. Son interdiction en 2011 par l'Union Européenne fait toujours l'objet de débats entre les agriculteurs de canne et les instances politiques, aboutissant à un statut quo entre 2014 et 2019 où cette molécule a fait l'objet de dérogations annuelles. Le glufosinate, molécule surtout utilisée en désherbage de bananeraies, est interdit par l'Union Européenne en 2017, avec une interdiction d'utilisation pour fin 2018, ce qui contraint fortement les exploitations de bananes qui gèrent leur enherbement prioritairement en alternant glyphosate et glufosinate sur leurs parcelles. Ces interdictions pourraient conduire les agriculteurs à substituer les molécules interdites par des molécules autorisées, comme ce fut le cas des agriculteurs de canne en 2013 qui ont substitué l'asulame par du glyphosate (Figure 7).

Le glyphosate, molécule à usage transversal, est la molécule herbicide et pesticide la plus utilisée sur l'île, soit dans les plantations de banane ou les systèmes maraîchers, soit pour le désherbage des traces dans les plantations de canne alors même que la culture y est sensible. L'importance des surfaces de canne à l'échelle de l'île implique des consommations importantes de cette filière.

On l'a vu précédemment, la qualité de l'eau revêt une importance environnementale et sociale en Martinique. L'augmentation de la pollution des eaux de rivières par les herbicides représente donc un enjeu majeur pour le territoire. La transversalité des principaux usages herbicides rend difficile la détermination de la provenance de cette pollution. C'est donc l'agriculture martiniquaise dans son ensemble qui est concernée dans la perspective d'une transition écologique, afin de diminuer un seuil de pollution. Ce seuil semble aujourd'hui stagner, malgré une recherche d'innovations active des acteurs du conseil et de la recherche agricole en Martinique.

2. Les pollutions diffuses demandent aux agronomes de considérer le territoire

La pollution diffuse des rivières par les herbicides demande de s'interroger sur l'échelle et les éléments à considérer dans l'élaboration de solutions satisfaisantes. L'agronomie présente différents degrés de prise en compte de l'échelle territoriale dans sa réponse.

2.1. Des processus de transfert spatialisés qui impliquent de relier les pratiques parcellaires par des processus biophysiques continus

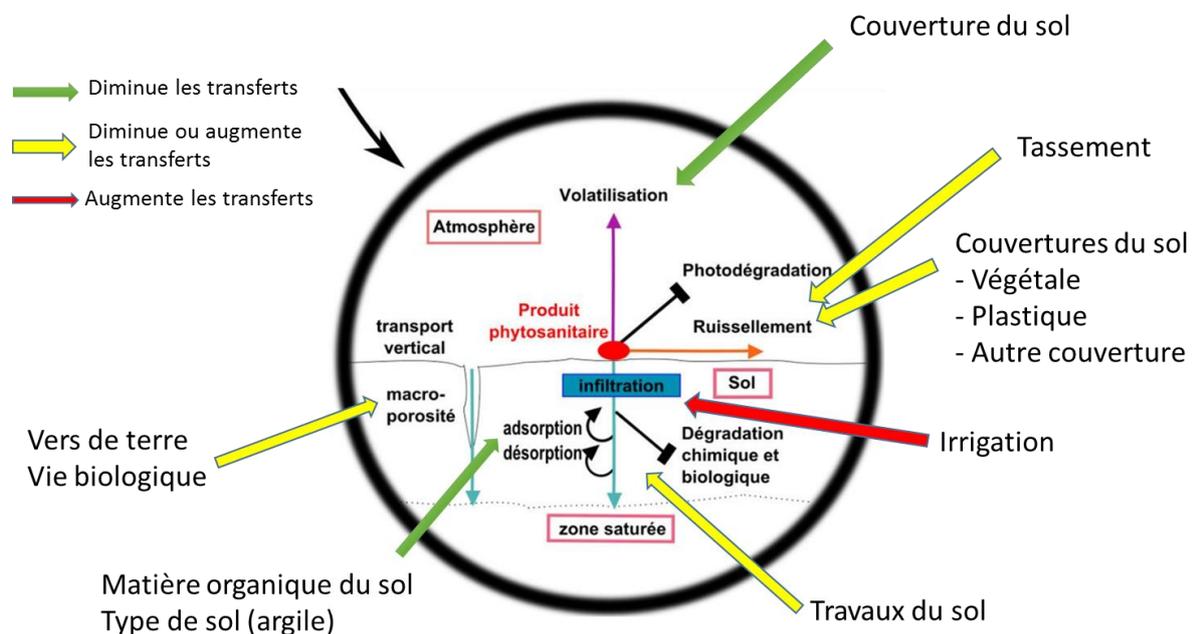


Figure 8: effet potentiel des pratiques agricoles sur le transfert des pesticides hors de la parcelle (source : (Mottes, 2013) complétée par Charles Mottes)

Aux Antilles, une dynamique de recherche s'est développée autour des questions de modélisation des processus de transfert des herbicides pour rendre compte de l'effet des pratiques sur la qualité de l'eau circulant dans un bassin versant (Charlier et al., 2008, 2007; Mottes, 2013). Ces travaux montrent que les mécanismes de transfert hors de la parcelle sont fortement spatialisés en fonction du lieu, du moment et des modalités d'application des pesticides sur l'ensemble de la parcelle (Figure 8) (Mottes et al., 2015). Ces travaux amènent à s'interroger sur les pratiques agricoles à l'échelle de l'espace d'impact, c'est-à-dire l'espace sur lequel ont lieu les mécanismes biologiques et physiques qui aboutissent à un impact donné sur l'environnement, ici le bassin versant.

Soulard (Soulard, 2005) parle de « territoire d'action environnemental » pour évoquer cet espace géographique qui, avec l'exploitation agricole, est un lieu de différenciation et de coordination spatiales des pratiques, dans lequel des processus hydrologiques continus relient les exploitations agricoles à la rivière. Pour améliorer la qualité de l'eau durablement, une partie au moins des solutions doit impliquer l'échelle de l'espace d'impact, c'est-à-dire tenir compte des mécanismes biologiques et physiques comme le transfert de pesticides au-delà des exploitations individuelles.

A l'échelle de cet espace, les impacts sont liés à la combinaison de pratiques individuelles (Mottes, 2013). Des travaux sur le ruissellement érosif identifient ainsi que cet espace se « *construit par un double fonctionnement : celui des unités décisionnelles (les exploitations agricoles), au découpage parfois discontinu, et celui des unités physiques (les bassins versant) constituées de zones fonctionnelles, que le phénomène de ruissellement nous engage à considérer dans leur continuité* » (Papy, 1992). A travers la modélisation de ces interactions entre processus physiques et pratiques agricoles, il peut être possible de simuler l'impact de changements écosystémiques globaux comme le changement climatique, sur les agroécosystèmes, pour aider les agriculteurs à s'adapter individuellement à ces changements (Senthilkumar et al., 2015). A l'inverse, ces simulations permettent d'évaluer l'impact de changements individuels des exploitations agricoles sur l'écosystème, comme la modification des usages de pesticides sur la qualité de l'eau de rivière (Mottes, 2013).

Récemment, un modèle de ces interactions processus physiques-pratiques agricoles a été développé concernant spécifiquement les processus de transfert des pesticides dans un bassin versant agricole tropical martiniquais (Mottes, 2013). Ce modèle considère à la fois l'hétérogénéité de l'espace physique, ainsi que l'hétérogénéité des pratiques agricoles (cf. encadré 1).

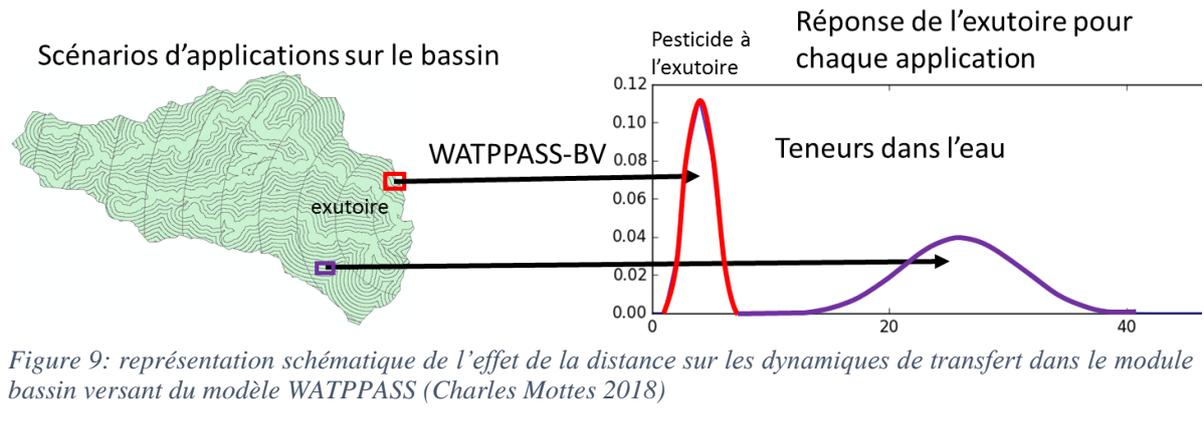
Encadré 1 : présentation du modèle de transfert WATPPASS (Mottes, 2013; Mottes et al., 2015)

Ce modèle de transfert est composé de deux modules imbriqués :

- Le module parcellaire où s'effectuent les pratiques agricoles et les transferts des pesticides vers l'extérieur de la parcelle
- Le module bassin versant où s'effectue le transfert des pesticides vers l'exutoire de la rivière, considérant que la dynamique de transfert est liée à la distance de la parcelle à la rivière et à l'exutoire

Les variables d'entrées sont à la fois physiques (type de sol, pluviométrie, relief, propriétés des molécules...) et agronomiques (pratiques agricoles à la parcelle, occupation du sol).

Les résultats du modèle permettent d'identifier les périodes à risques de pollution, ainsi que les tendances de pollution pesticide dans le temps, en distinguant deux types de pollution (Figure 9) : pics de pollution restreints dans le temps, et pollution à tendance chronique étalée dans le temps.



Il ne s'agit donc plus de considérer l'espace uniquement comme le support de processus physiques, mais également comme un lieu d'action environnementale, où il est possible d'influer sur ces processus si l'on parvient à modifier et coordonner les pratiques générant des pollutions.

2.2. Un territoire doté de deux dimensions : l'espace physique, et les agriculteurs qui le cultivent

Dans cette partie, il s'agit de considérer que les agriculteurs agissent à leurs échelles, exploitation et parcelle, mais que leurs choix de pratiques sont influencés aussi par les réseaux dans lesquels ils évoluent.

Jusqu'à présent, encore peu d'études agronomiques ont véritablement intégré dans leur démarche que le paysage agricole est un contexte socio-environnemental complexe qui peut influencer la gestion au champ. Pour beaucoup d'agronomes, la parcelle reste l'espace où ont lieu les pratiques, interface privilégiée entre l'agronomie et les autres disciplines (Benoit et al., 2012). Cette focalisation sur la parcelle a eu tendance à mettre au second plan les autres échelles de décisions et les éléments exogènes à l'exploitation qui influent sur les pratiques des agriculteurs. Selon Aubry (Aubry, 2007), le modèle agronomique tel que proposé par les agronomes est longtemps resté principalement centré sur la parcelle, notamment pour ce qui est de l'élaboration d'innovations. On peut mettre en parallèle cette focalisation sur l'échelle parcellaire en recherche agronomique, encore prégnante aujourd'hui, mais qui évolue fortement, avec l'histoire des objets étudiés en agronomie.

Au début de la formalisation de l'agronomie du 20^e siècle, le peuplement végétal représente l'objet d'étude central. Le territoire y est décrit par ses caractéristiques naturelles en lien avec la production agricole. L'agronome le considère alors comme un levier de différenciation des techniques agricoles « *L'agronome doit donc définir des zones homogènes avec des degrés de contraignances. C'est dire que, dans son découpage du milieu naturel, ses unités sont telles que le passage de l'une à l'autre entraîne des différences importantes de traitement technique ou de choix culturels. En effet, dans la mesure même où ces zones doivent servir à orienter des actions, une frontière doit correspondre à des différences significatives de réactions aux traitements appliqués* » (Sebillote, 1974).

En étudiant la cohérence des techniques des agriculteurs dans l'espace de leur exploitation, la représentation des agronomes évolue vers la considération de l'agriculteur comme l'acteur principal de l'état du peuplement végétal à la parcelle, mobilisant les facteurs pédologiques et climatiques (sol, pluviométrie, température) parmi d'autres facteurs (ressources économiques et sociales) (Aubry, 2007; Bühler et al., 2010; Capillon, 1993). Les études sur les processus de décisions des agriculteurs se concentrent dorénavant sur la compréhension du cadre d'objectifs de production de l'exploitation et sur sa déclinaison à la parcelle pour mieux cibler les propositions techniques nouvelles (Le Bail and Le Gal, 2011; Martin, 2014).

Plus récemment, en s'associant davantage aux sciences humaines, les agronomes travaillant sur les dynamiques de changement technique cherchent à accéder aux représentations, aux projets, aux processus cognitifs et aux valeurs des agriculteurs (Chantre et al., 2014; Darré et al., 2004; Dionnet et al., 2013; Mathieu et al., 2004). Ce faisant, ces travaux élargissent le nombre d'acteurs qui, en fin de compte, impactent les choix de pratiques. L'agriculteur est influencé par (i) des prescripteurs qui proposent (voire imposent) des contraintes d'application des techniques, orientent la localisation des cultures et influencent la diversification des territoires agricoles, (ii) la société qui fait pression pour satisfaire un intérêt collectif (Martin, 2014). En fin de compte l'agriculteur prend des décisions à différentes échelles (portion de parcelles, parcelle, groupement de parcelles, exploitation agricole, village) et s'appuie, pour ce faire, sur les ressources d'un milieu économique et social qui ressortent de multiples niveaux de décision inférieurs et supérieurs à l'exploitation (Houet et al., 2008; Martin, 2014). Ces représentations évaluent les potentialités du territoire en termes de contraintes, d'atouts, ou d'éléments neutres ((Martin, 2014). Progressivement, l'échelle physique de l'exploitation agricole et l'échelle décisionnelle de l'agriculteur apparaissent comme des parties d'un système territorial supérieur, qu'il est dorénavant nécessaire d'intégrer à la réflexion agronomique, pour la conception d'innovations encore plus pertinentes.

Mais ce territoire reste encore souvent considéré dans les travaux des agronomes comme un cadre fixé de contraintes et d'opportunités au-dessus de l'exploitation, élément de contexte de la recherche, plus qu'objet de la recherche elle-même (Caron, 2005; Le Gal, 2012).

2.3. Des espaces d'impacts lieu d'actions collectives

Dans Boiffin et al (Boiffin et al, 2014), les auteurs effectuent une analyse de la graduelle prise en compte du territoire en agronomie. Ils indiquent qu'actuellement, les agronomes tendent de plus en plus à considérer l'agriculture comme partie prenante de la gestion d'un espace (actions, décisions qui jouent sur l'espace). Par exemple, dans le cas de la gestion de bassins d'approvisionnement visant l'amélioration de la qualité pour une filière (Le Bail and Le Gal, 2011), ces territoires sont représentés sous trois points de vue complémentaires : (i) les caractéristiques du milieu qui structurent l'espace et la répartition des systèmes de culture, pour le diagnostic de la répartition spatiale des quantités et qualités de matière première agricole ; (ii) une organisation des logiques d'action d'acteurs variés qui considèrent l'ensemble des stratégies, ressources et objectifs des acteurs ; (iii) un ensemble d'outils qui permettent la coordination entre les acteurs pour gérer les caractéristiques de la production et les flux de récoltes (contractualisation, chartes, cahiers des charges, etc.). Cette représentation permet bien d'accompagner la planification et le pilotage des activités dans l'espace, ainsi que l'élaboration de dispositifs et de procédures de décisions collectives, à des échelles bien supérieures à celles de l'exploitation agricole (Boiffin et al., 2014). Cependant, ces analyses restent encore souvent sectorielles et peinent à s'inscrire au niveau même où se forment les projets de territoire (Boiffin et al., 2014). Or, les questions de transition agroécologique, comme celle que nous traitons dans cette thèse, interrogent fortement ces projets de développement territorial. Boiffin et al (2014) proposent ainsi que l'agronomie améliore sa capacité à contribuer à l'élaboration de projets de développement territoriaux.

Pour cela, il est nécessaire de considérer la réciprocité des relations entre agriculteurs et territoire, dans sa triple dimension telle qu'elle est définie par les géographes (Benoit et al., 2012). Dans cette représentation, le territoire est un espace doté de propriétés naturelles résultant de l'aménagement de l'espace par les sociétés (dimension matérielle). Il est également caractérisé par son histoire et son patrimoine ainsi que par les représentations et les perceptions des groupes sociaux de ce qu'est cet espace et de ce que sera cet espace (dimension idéelle). Enfin, le territoire est défini comme une entité dotée d'une organisation de ses acteurs sociaux, politiques et institutionnels et les interrelations multiples qui lient ceux qui décident, perçoivent, s'opposent, s'allient, et finalement aménagent (dimension organisationnelle) (Di Meo and Buléon, 2005; Laganier et al., 2002; Moine, 2006). Il s'impose comme « lieu de coordination entre acteurs multiples, atomisés, en situation d'asymétrie, aux intérêts divergents et lieu de mise en cohérence d'objectifs divers, s'exprimant à des niveaux d'organisation enchâssés » (Papazian et al., 2017). Il est le lieu de dynamiques de développement territorial, au sens de « la capacité des acteurs à maîtriser les processus qui les concernent » (Deffontaines and Thinon, 2001). La Figure 10 est une représentation schématique personnelle de cette définition du système territorial, adaptée à l'échelle « bassin versant » considérée dans cette thèse.

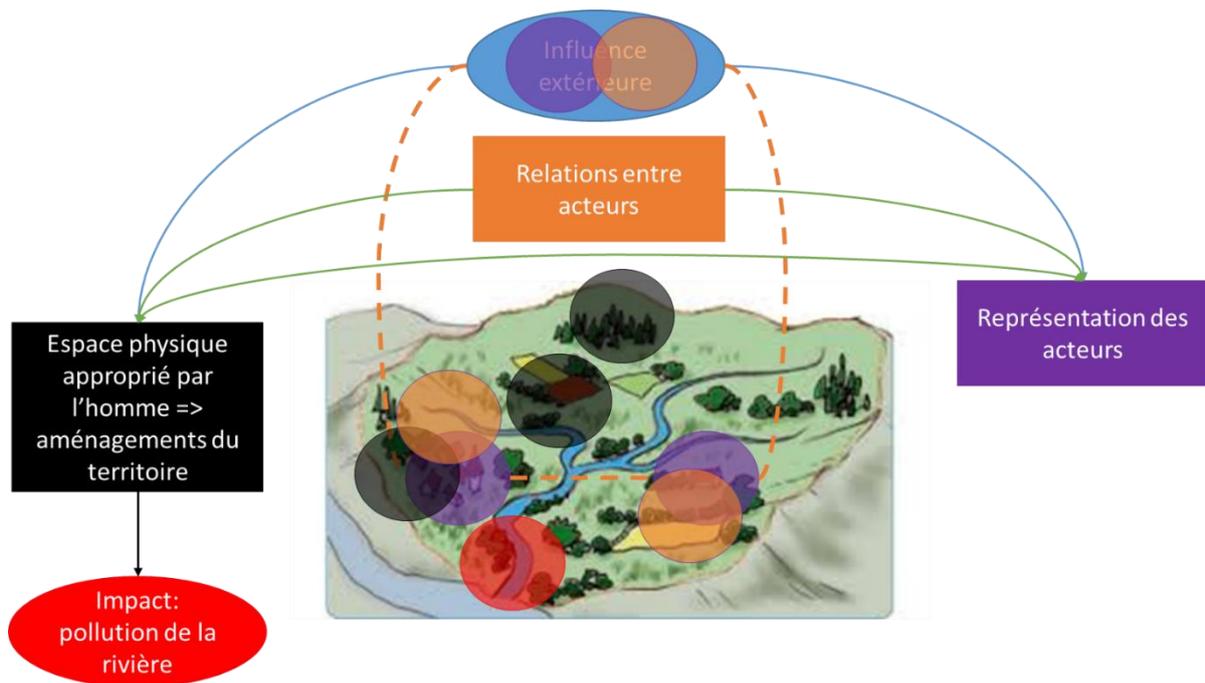


Figure 10: représentation schématique du système territoire dans sa triple dimension tel que défini par (Benoit et al., 2012; Di Meo and Buléon, 2005; Laganier et al., 2002; Moine, 2006) : géré par des acteurs en relations (orange), sur un espace aménagé (noir), et qui est l'objet de représentation de la part des acteurs du territoire et des acteurs extérieurs (violet). Ce système impacte l'aménagement de l'espace physique, ce qui peut avoir des répercussions environnementales, comme ici la pollution de la rivière à l'exutoire (rouge) (source : Pauline Della Rossa).

Aussi, il est important de considérer que les agriculteurs participent activement à la construction du territoire, d'une part car les pratiques agricoles y ont des impacts, d'autre part car ils peuvent aussi participer au renouvellement des ressources naturelles (Benoit et al., 2012), qu'ils produisent de l'activité économique et un tissu de relations entre ce territoire et l'extérieur par les réseaux professionnels type bassin d'approvisionnement (Le Bail et Le Gal., 2011), ou construisent, au moins pour partie, l'identité du territoire par la formation d'unités paysagères particulières, ou en promouvant les spécificités agricoles régionales (Indications Géographiques Protégées par exemple) (Belmin et al., 2017; Lardon et al., 2012).

Ces coordinations entre acteurs d'un même espace d'impact sont nécessaires à l'élaboration de solutions aux échelles supérieures à l'exploitation agricole. Mais elles sont d'autant plus difficiles à élaborer qu'elles se situent le plus souvent sur des espaces qui ne disposent pas d'outils agronomiques de gestion (comme un calendrier d'utilisation d'herbicides à l'échelle d'un bassin versant), car les coordinations en agriculture se décident à d'autres échelles (filères, bassin d'approvisionnement), qui croisent l'espace d'impact sans le considérer. Ainsi, considérer l'espace d'impact comme un lieu d'action suppose l'imbrication entre des systèmes liés à différentes activités du territoire, et habituellement étudiés de façon séparée.

Des chercheurs se sont déjà attelés à cette tâche, et on citera en illustration l'exemple de la société Vittel qui, au terme d'une étude en partenariat avec des chercheurs sur la pollution nitrate de sa source, proposera une restructuration foncière avantageuse pour les agriculteurs qui respectent un certain cahier des charges permettant de diminuer la pollution (Benoît et al., 1997; Deffontaines and Brossier, 2000). Ainsi, le partenariat construit à l'occasion de cette recherche a permis à l'entreprise d'entrer dans un processus de développement agricole, alors que ce n'était ni son domaine, ni sa vocation.

Pour reconcevoir les pratiques agricoles à l'échelle d'un espace d'impact environnemental, il est donc nécessaire d'ouvrir des espaces de conception et de discussion collective entre les acteurs de ce territoire. Ce que de plus en plus d'agronomes expérimentent aujourd'hui, en considérant le territoire comme un objet à concevoir (Leenhardt et al., 2015).

3. Quel processus de conception mettre en œuvre pour développer des solutions agronomiques à l'échelle d'un territoire ?

L'agronomie connaît actuellement une évolution de ses outils de conception, en lien avec la complexité des récents problèmes agronomiques tels que la pollution diffuse. Pour construire ces nouveaux outils de conception, il peut être pertinent de mobiliser des concepts issus d'autres cadres théoriques et méthodologiques, pour répondre aux défis que doit relever actuellement la conception agronomique.

3.1. Evolution actuelle de la conception en agronomie

En agronomie, on distingue deux familles de méthodes d'après Meynard et al et Le Masson et al (Meynard et al., 2012 ; Le Masson et al, 2014):

- Réglée : améliorer graduellement les productions ou les technologies existantes. Les objectifs de conception ne sont pas modifiés, les objets conçus en agriculture ne sont pas redéfinis. Les connaissances nécessaires pour innover et le processus de validation sont prédéfinis.
- Conception innovante : remise en question des cadres de conception, possibilité de redéfinir les objets conçus en agriculture. La participation des acteurs est centrale au processus. Dans ce type de démarche, il n'est pas possible de spécifier à l'avance les compétences requises ni la méthode de validation. Ce processus est mouvant, avec la modification de l'objet désiré pendant la démarche, ainsi que les connaissances à mobiliser et le mode de collaboration.

La conception réglée est historiquement le régime de conception le plus utilisé, à la fois dans l'industrie (Le Masson et al., 2014), mais aussi en agronomie (Meynard et al., 2012). Ce type de conception cherche à améliorer graduellement des produits ou des technologies existantes (Meynard et al., 2012), et fait appel à des méthodes standardisées. En agriculture, ce type de méthode s'illustre par exemple dans les créations variétales actuelles (Rötter et al., 2015; Tao et al., 2017).

Mais le régime de conception innovante se développe de plus en plus en agronomie, au regard de la complexité croissante des objets agronomiques à concevoir, dans un contexte où la société civile demande à ce que les systèmes agricoles réduisent leurs externalités négatives. Ceci peut amener les agronomes à repositionner les innovations agricoles au sein de systèmes écologiques et sociaux (Meynard et al., 2012; Prost et al., 2017). Ce qui a donné lieu, récemment, au développement de méthodes de conception innovante dans la conception d'outils agronomiques, par exemple pour la construction de nouveaux outils au service des agriculteurs (Ravier, 2017), de nouveaux systèmes de culture (Leclère, 2019), ou encore des changements de rotations dans l'aire d'approvisionnement d'une coopérative (Berthet, 2013).

Ces travaux récents répondent à la nécessité du renouvellement des méthodes et organisations de la conception en agronomie, en lien avec l'évolution des objets agronomiques à concevoir. Ces objets incluent davantage de variabilité et d'imprévisibilité, ainsi qu'une grande dimension collective liée au fait que les connaissances et les objets sont moins privatisés en agriculture que dans d'autres secteurs, ce qui oblige à considérer des formes hétérogènes de connaissance dans le processus de conception (Prost et al., 2017). Les nouveaux modes de conception demandent alors de rediscuter la façon dont la conception agronomique considère 3 points clés.

Tout d'abord, il s'agit de rediscuter l'identité des objets conçus en agronomie. L'objectif d'équilibrer la production agricole avec l'utilisation de ressources naturelles oblige à considérer davantage d'échelles qu'auparavant, un nombre d'interrelations plus grand entre l'objet et le milieu sur le long terme, ce qui appelle des approches systémiques de conception (Prost et al., 2017). Cette science des systèmes qui se constitue comme une épistémologie propre dans les années 70, regarde la dynamique des systèmes comme *un ensemble d'éléments en interactions* (Cambien, 2007). L'approche systémique permet alors de mettre au centre des recherches non plus les éléments mais leurs interactions, et ainsi d'étudier les facteurs clés des dynamiques d'évolution des systèmes (Pumain, 2003). Cette recherche où *le tout est plus que la somme des parties*, se développe dans de très nombreuses disciplines. Dans les nouvelles méthodes de conception, il faudra considérer que les différents systèmes structurant la recherche en agronomie (système de culture, système d'exploitation, système agraire), s'intègrent dans des systèmes écologiques et sociaux à plus large échelle. Ce passage d'une échelle à une autre n'est pas le fruit d'une simple addition mais le résultat d'interactions spatiales, de complémentarités et d'antagonismes (Allaire 2004, cité par (Tardivo, 2016)). Cet agrandissement de l'échelle spatio-temporelle implique de reconsidérer la diversité des environnements, pour concevoir des innovations localement adaptées (Meynard et al., 2012; Prost et al., 2017).

Ensuite, la conception doit être collective et distribuée, opposée au régime de conception verticale mis en place à l'issue de la seconde guerre mondiale, et qui implique un processus de conception linéaire entre chercheurs-institut technique-agriculteurs, ces derniers étant perçus comme simples récepteurs de pratiques prêtes à l'emploi (Ansaloni and Fouilleux, 2006; Prost et al., 2017). Le nouveau régime de conception doit considérer l'inscription des objets dans le milieu afin de permettre un développement cohérent et durable de l'agriculture, qui implique l'intégration des préoccupations environnementales, sociales et économiques dans tous les aspects de la prise de décision (Emas, 2015). Aussi, cela implique que de plus en plus d'acteurs variés soient considérés légitimes pour participer à la conception (consommateurs, associations environnementales, etc.) (Prost et al., 2017). C'est pourquoi on voit de nouveaux espaces se former pour permettre à ces nouveaux acteurs de s'exprimer. Mais cela reste souvent de l'ordre de la consultation, et non de la conception. Les nouvelles méthodes de conception doivent donc, d'une part, concevoir l'objet, mais également les règles de gouvernance pour gérer cet objet sur le long terme (Prost et al., 2017).

Enfin, la diversité des acteurs souhaitée dans le processus implique que les méthodes de conception doivent pouvoir articuler des formes très hétérogènes de connaissances (Prost et al., 2017). En effet, malgré le développement en agronomie de connaissances scientifiques importantes, l'expression des régulations et interactions biologiques dans un contexte spécifique restent peu connues, et la connaissance produite lors de l'utilisation d'objets agronomiques est très souvent implicite (Altieri et al., 2005; Doré et al., 2011; Prost et al., 2017). Il s'agit donc de réussir à combiner ces formes hétérogènes de connaissances (scientifiques, empiriques, etc.) de façon à catalyser à la fois le processus de conception et la production de connaissances (Prost et al., 2017). Ceci se rapproche d'un processus type recherche d'apprentissage et d'action (Probst et al., 2003) qui veut que l'innovation soit issue d'un processus d'apprentissage mutuel entre des acteurs aux contributions complémentaires, donc d'un processus de recherche « démocratisé » grâce à une large participation des acteurs.

Pour transformer l'agriculture en une fonction sociétale durable, il est donc nécessaire de renouveler les méthodes, outils de conception agronomiques ainsi que leur représentation sous-jacente (Prost et al., 2017). Ces méthodes nécessitent un appui théorique solide, qui accompagne généralement les grands changements techniques et organisationnels (Prost et al., 2017). Pour cela, les auteurs Prost et al (Prost et al., 2017) proposent de développer une théorie empirique de la conception, en s'appuyant sur les travaux successifs mobilisant la théorie C-K (Le Masson et al., 2014). C'est ce qu'ont fait les études récentes citées précédemment, en utilisant la conception innovante issue de la théorie C-K (Berthet, 2013; Leclère, 2019; Ravier, 2017). Ces recherches ont principalement porté sur la conception d'objets relatifs à des organismes vivants, qui forment la première catégorie d'objets conçus en agronomie.

Mais peu ont porté sur la deuxième catégorie d'objets qui est le territoire agricole, rarement reconnu comme un objet de conception en agronomie (Prost et al., 2017), bien que de plus en plus d'études se développent sur le sujet (Leenhardt et al., 2015; Reau et al., 2017). Ces objets comprennent notamment la réorganisation de parcelles, prairies et éléments semi-naturels (comme les haies) qui répondent à des fonctions particulières dans l'écosystème particulières, et qui ont pour conséquence la réduction des pesticides. Une des études récentes, Berthet (Berthet, 2013) va plus loin dans la considération du territoire en concevant l'introduction de luzerne chez les agriculteurs d'une coopérative. Mais le périmètre de la conception reste celui de l'activité d'une coopérative vis-à-vis d'un territoire, ce qui n'inclut pas toute la diversité agricole de l'aire d'étude, alors que la problématique de la diminution d'une pollution diffuse nous oblige à nous interroger sur toutes les formes d'agriculture présentes sur l'espace d'impact. Des études récentes cherchent à répondre à ce manque, par exemple en définissant l'espace de conception à partir d'Aires d'Alimentation de Captage (Reau et al., 2017).

L'utilisation de la théorie C-K via la conception innovante permet de répondre en partie au cahier des charges des nouvelles méthodes de conception émis par Prost et al (Prost et al., 2017), tout en permettant d'offrir une base théorique solide aux nouvelles méthodes de conception agronomique. Mais cette méthode de conception ayant été développée principalement dans le secteur de l'industrie (Le Masson et al., 2014), elle demande une adaptation pour être appliquée à une interrogation sur le système complexe qu'est le territoire agricole, via la mobilisation de cadres théoriques et méthodologiques supplémentaires.

3.2. Proposition d'un cadre théorique pour la conception agronomique à l'échelle d'un espace d'impact

Dans cette partie, nous décrivons le cadre théorique identifié comme pertinent au regard de notre problématique de recherche autour de solutions à une pollution diffuse, en suivant la chronologie des étapes du dispositif de conception. Cette lecture permet de mieux comprendre l'articulation entre les différents concepts successifs.

L'étape de diagnostic est un préalable indispensable aux processus de conception, permettant d'identifier et de formuler clairement les problèmes agronomiques qui se posent chez les acteurs, pour concevoir des objets adaptés (Doré et al., 1997), tout en identifiant et hiérarchisant les actes responsables d'un problème agronomique (Meynard et al., 2001). Le développement de la conception innovante s'est situé principalement dans le cadre d'innovations industrielles, pour concevoir de nouveaux objets en rupture avec la concurrence (Le Masson et al., 2014). Il est donc nécessaire d'adapter la phase de diagnostic dans notre recherche où les modalités d'innovations (acteurs concernés, enjeux, stratégies) ne sont pas clairement identifiées dans un ensemble aussi complexe qu'un territoire multi-acteurs, aux stratégies diverses.

Dans Aubert et al (Aubert et al., 2010), les auteurs indiquent notamment qu'il n'est pas pertinent de s'arrêter aux acteurs apparaissant comme directement concernés par la demande initiale, mais qu'il est nécessaire de mettre à jour des acteurs indirects, car ils peuvent intervenir sur la modification du système étudié. Dans les travaux sur la transition écologique (Loorbach, 2007), cette question est concrètement traitée sous la forme de diagnostic du système sociotechnique (Geels, 2004), que nous détaillerons en (3.2.1).

Parmi les modalités mises à jour par ce type de diagnostic, il en est une qui peut particulièrement aider un processus de conception innovante, les dépendances au chemin (3.2.2). Nous décrirons ensuite les apports théoriques de la théorie C-K dans la conception de nouveaux objets agronomiques (3.2.3). Mais toujours dans un souci d'adaptation à une problématique aussi complexe que la nôtre, en considérant que l'innovation se poursuit dans l'usage (Béguin and Cerf, 2004; Cerf et al., 2012; Ravier, 2017), c'est-à-dire que les propriétés de l'objet continuent d'être définies au cours de son utilisation, nous avons souhaité continuer le processus de conception par la simulation d'innovations au sein du système complexe étudié, à l'abri de la réalité. Pour cela, les jeux sérieux offrent un cadre de simulation à la fois sûr et permettant de créer de nouvelles connaissances sur les interactions entre innovations et système (Souchère et al., 2010). Nous présenterons en (3.2.4) comment les jeux sérieux peuvent venir compléter notre cadre théorique de conception.

3.2.1. Le diagnostic du système sociotechnique, pour distinguer les modalités nécessaires à la conception

La complexité du système étudié

L'introduction de questions à forte portée environnementale, comme celle de la qualité des cours d'eau, impose de prendre en compte de manière beaucoup plus précise le territoire dans le système. Il est donc indispensable de décrypter la façon dont l'agriculteur se retrouve confronté à la complexité du territoire (Bühler et al., 2010) pour proposer une démarche de conception qui soit cohérente et efficace sur la zone d'étude. Pour cela, il est indispensable de faire un diagnostic des relations que l'agriculteur entretient avec les différentes dimensions du territoire, en lien avec notre problématique de restauration de la qualité de l'eau.

La pollution diffuse des herbicides agricoles vers la rivière est un système complexe reliant territoire du bassin versant et agriculture organisée en filières (Figure 11). Le territoire d'impact tel que le bassin versant ne constitue pas une échelle propre à l'organisation des activités agricoles, organisées en bassin d'approvisionnement et filières. De plus, la répartition spatiale des productions dépend de plusieurs facteurs dont (i) le soutien financier, (ii) la compétitivité entre les régions, (iii) la disponibilité foncière, (iv) l'accès au marché où plus les denrées sont périssables et leur fréquence de production élevée, plus l'aspect logistique sera explicatif de leur concentration géographique (Ben Arfa et al., 2009).

Aussi, les espaces d'impacts tels que les bassins versants se retrouvent inégalement traversés par une ou plusieurs filières agricoles, un ou plusieurs bassins d'approvisionnement, selon qu'ils appartiennent à des territoires fortement spécialisés ou non. Pour autant, les agriculteurs situés sur le bassin versant auront un impact sur la rivière, sans pour autant être reliés entre eux par un réseau organisationnel. Ceci implique de se pencher sur l'organisation de chaque filière qui traverse le territoire, afin de comprendre comment et pourquoi les agriculteurs situés sur le bassin versant font plus ou moins usage des herbicides. Pour cela, il faut chercher à comprendre comment s'effectue ou non la transition écologique au sein des filières présentes sur le territoire.

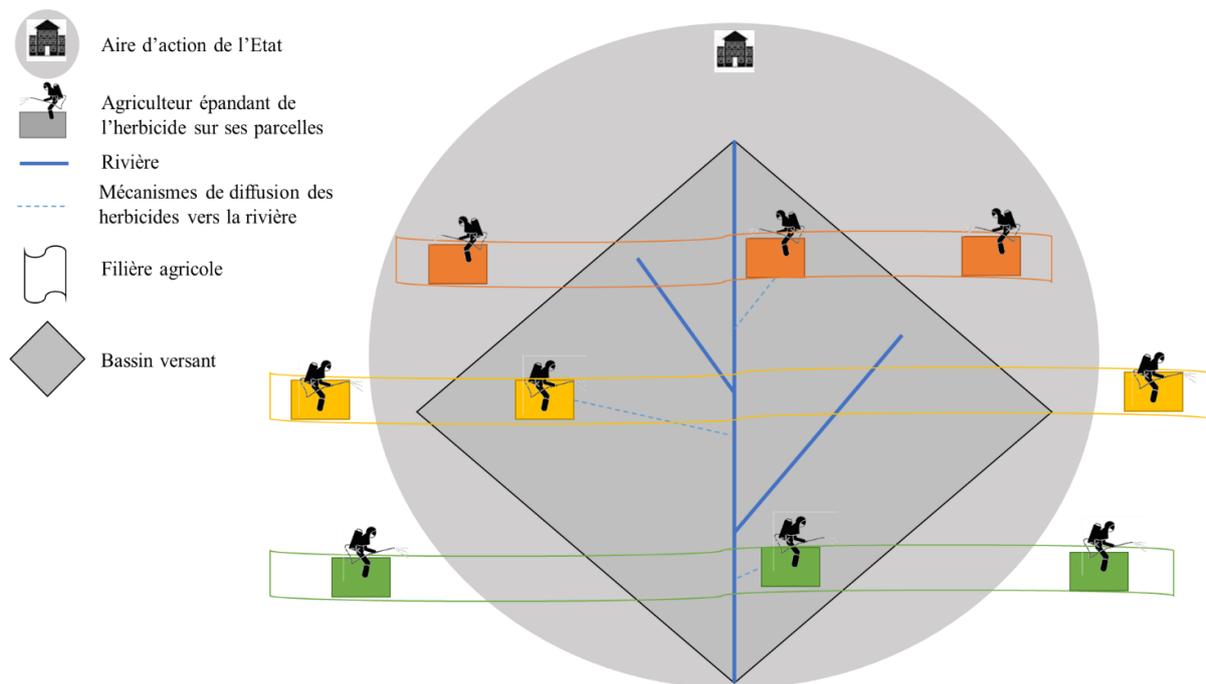


Figure 11: schéma du système complexe étudié dans la thèse

Le concept de système sociotechnique pour l'étude des transitions durables

La remise en question du modèle de développement industriel et productiviste à partir des années 1970, en raison de ses impacts négatifs globaux sur l'environnement et la santé des populations, ont fait émerger l'étude des transitions durables. Les transitions y sont définies comme étant des processus de transformation dans lesquels les structures existantes (les institutions, la culture et les pratiques) sont démolies et de nouvelles sont établies (Loorbach, 2007). Le concept de transition est introduit dans le domaine du développement durable par des auteurs comme Rotmans, Kemp, ou Geels à la fin des années 1990. L'hypothèse de départ était qu'à travers la compréhension des processus de changements structuraux de la société qui apparaissent pendant une transition, il était possible de formuler des principes, méthodes et outils de gouvernance pour gérer ces processus de transition (Loorbach, 2007).

Pour étudier ces processus, ces auteurs ont développé des concepts sous forme de systèmes, qui se basent sur trois éléments : (i) un système est ouvert et inclus dans un environnement avec lequel il co-évolue, (ii) les changements dans l'environnement influencent le système, (iii) le système a un comportement non linéaire lorsqu'il s'adapte à son environnement (Loorbach, 2007). Parmi les systèmes développés, le système sociotechnique est l'approche la plus convoquée des théories de la transition (Ollivier and Plumecocq, 2015). Cette représentation du système cherche à étudier des domaines remplissant des fonctions sociétales (agriculture, énergie, etc.) et se décline sur trois niveaux (Figure 12) : un niveau macro constitué du paysage, un niveau meso constitué du régime et un niveau micro constitué de niches (Geels, 2004; Loorbach, 2007).

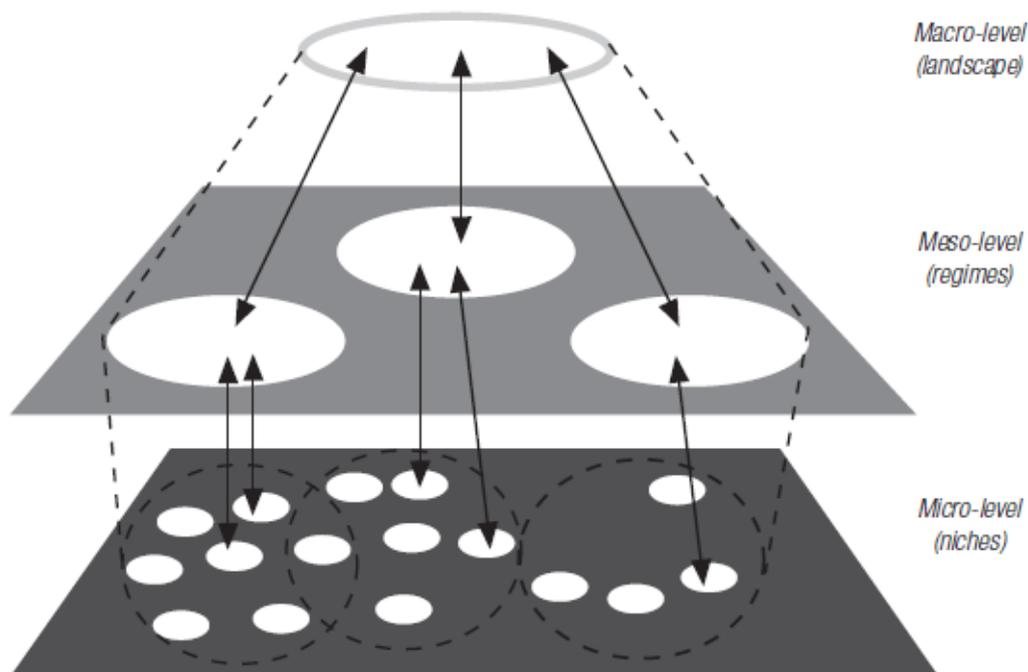


Figure 12: système sociotechnique (Loorbach, 2007), d'après Geels and Kemp 2000

Les niveaux se définissent comme suit selon Geels et Loorbach (Geels, 2004; Loorbach, 2007). Le paysage comprend les valeurs sociales, les cultures politiques, l'environnement bâti (usines, etc.), le développement économique et les tendances. Le niveau du paysage se développe généralement de manière autonome, mais influe directement sur le niveau du régime ainsi que sur les niches en définissant la direction du changement. Le régime réfère au régime dominant de production d'activité, structure et pratiques incarnées dans des infrastructures physiques et immatérielles (réseaux d'acteurs, relations de pouvoir, etc.). La stabilité du régime fait qu'il est difficile à influencer. Les niches sont des espaces protégés du régime, dans lesquels se développent et se diffusent des innovations (nouvelles technologies, règles, organisations, etc.).

La niche permet le développement et la survie d'innovations en rupture avec le régime, en offrant différents mécanismes de protection (subventions, laboratoires, niche de marché, etc.) qui permettent la survie des innovations, au départ peu performantes, dans le système sociotechnique.

Selon Geels (Geels, 2004), des règles régissent les relations entre ces éléments du système sociotechnique qui sont régulatrices (lois, contrats), normatives (normes, responsabilités, valeurs) ou cognitives (croyances, routines cognitives, paradigmes technologiques). Les règles ont été progressivement élaborées à partir de l'interaction des différents acteurs participant au système sociotechnique. Cette théorie soutient l'idée que les trois niveaux, en inter-relation, sont composés d'acteurs, d'artefacts matériels et de règles en configuration relativement stable, et que cette configuration guide les pratiques des acteurs et leur donne un comportement individuel stable (Geels, 2004; Loorbach, 2007). Elle soutient également l'idée que le fonctionnement de ce système fait émerger des phénomènes de verrouillage qui empêchent le système d'être perturbé par des changements trop radicaux (Geels, 2004; Loorbach, 2007). La transition évoque donc le passage du régime sociotechnique à un autre, notamment sous l'influence du paysage qui exerce une pression et le déstabilise, ouvrant des fenêtres d'opportunités aux niches.

Dans les travaux sur le changement technique en agriculture, les cadres d'analyse du verrouillage technologique (Cowan and Gunby, 1996), puis des transitions sociotechniques (Geels 2004) ont été utilisés pour identifier ces effets de verrouillage du « régime dominant » sur certaines pratiques pourtant identifiées comme favorables à la durabilité des systèmes. Un verrou technologique est lié à l'incomplétude des informations concernant l'innovation au moment où les acteurs économiques doivent faire un choix (Labarthe, 2010). Ces acteurs sont alors influencés par d'autres éléments :

- Les rendements croissants à l'adoption : plus une technologie est adoptée, moins il y a de probabilité que de nouveaux acteurs économiques adoptent une technologie concurrente (exemple clavier QWERTY). L'effet de réseau des rendements croissants permet de renforcer la valeur d'usage par le nombre croissant d'utilisateurs, ce qui permet d'affiner les connaissances dans ce domaine et donc d'accroître les rendements (Fares et al., 2012a). Se développe également une variété de produits liés à la technologie, dont l'utilisation permet d'accroître la performance de la technologie (Geels, 2004) (exemple Windows, Apple)
- La dureté induite par les artefacts matériels : (i) le développement de sous-systèmes autour, reliés par des relations de complémentarité et de dépendance économique, qui induisent une forte inertie du système (Geels, 2004) ; (ii) l'investissement dans du matériel coûteux alors que les acteurs ont déjà investi dans les technologies précédentes (Cowan and Gunby, 1996)
- Le blocage cognitif : l'existence de règles ou principes qui délimitent la pensée des acteurs (Geels, 2004 et ses règles normatives, (Meynard et al., 2012))

Ces biais conduisent à une série de choix dans l'innovation, pas toujours optimaux pour le régime d'innovation, mais qui s'assemblent dans le temps pour former ce qu'on appelle une dépendance au chemin : la gamme des solutions techniques envisageables est limitée par le choix des techniques passées, car elles limitent les coûts liés à l'adaptation à des techniques trop en rupture. Paul David exprime ce phénomène à travers l'exemple du clavier QWERTY (David, 1985). Ainsi, les choix initiaux sont renforcés au fil du temps grâce aux interactions qui ont permis de stabiliser les règles communes. C'est la mise en lumière de ces dépendances au chemin qui permet de cerner les verrous du régime envers les innovations radicalement différentes.

La détérioration avérée de l'environnement causée par l'agriculture intensive productiviste menée depuis cinquante ans partout dans le monde induit, depuis une dizaine d'années, une forte demande sociétale de transition écologique de l'agriculture (Meynard et al., 2012). Cette transition a, depuis, été régulièrement l'objet d'études via l'utilisation du concept de système sociotechnique dans la littérature agronomique. Cowan et Gunby (Cowan and Gunby, 1996) ont, pour la première fois, distingué des dépendances au chemin qui ont cours en agriculture et qui soutiennent l'utilisation de la lutte chimique contre les ravageurs des cultures. Ces dépendances sont constituées (i) des équipements matériels de lutte chimique qui ont demandé des investissements importants de la part des agriculteurs, (ii) des connaissances acquises au fil du temps par les agriculteurs sur les techniques chimiques les rendant dépendants au détriment de techniques nouvelles qui demandent, d'une part un coût pour l'apprentissage, et d'autre part une prise de risque liée au manque d'expérience dans l'utilisation de ces alternatives, (iii) de l'incertitude liée à l'efficacité d'une lutte alternative quand la lutte chimique a toujours fait ses preuves. Ces dépendances au chemin impliquent que le régime de production agricole productiviste continue à utiliser des produits, quand bien même les pesticides sont dorénavant perçus comme non durables dans le système sociotechnique, en raison des problèmes de santé causés par les pesticides (Zhang et al., 2019), ou encore des résistances aux pesticides qui se développent chez les ravageurs, ici chez les adventices (Darmency and Gasquez, 1990).

3.2.2. Des dépendances au chemin qui mettent en lumière les difficultés des acteurs à concevoir des innovations originales

Les dépendances au chemin, issues du régime sociotechnique dans lequel les acteurs évoluent, forment un cadre de réflexion rigide pour penser l'innovation. Les individus, en participant à la conservation du régime sociotechnique, deviennent alors sujets à des biais dans leur façon de concevoir, qui les écartent d'une pensée logique et rationnelle, et qu'on appelle les biais cognitifs. Nous supposons dans cette partie que les dépendances au chemin sont des indicateurs de biais cognitifs, appelés spécifiquement effets de fixation dans le vocabulaire de la théorie C-K (Le Masson et al., 2014).

Selon Ezzat (Ezzat, 2017), les effets de fixation sont des biais cognitifs qui interviennent dès le début d'un processus créatif, et ont plusieurs définitions selon le domaine de recherche : (i) en psychologie : un blocage contre l'utilisation d'un objet de manière non conventionnelle pour résoudre un problème, (ii) en idéation créative : l'activation spontanée de connaissances dans un contexte de création, (iii) en science cognitive : l'adhésion aveugle à un ensemble d'idées et de solutions. Dans Meynard et al (Meynard et al., 2012), les auteurs indiquent que la tendance encore actuelle de l'innovation agricole consiste en l'amélioration de l'efficacité des intrants, ou la substitution d'un intrant par un autre. Cela laisse penser que les acteurs de l'innovation ont du mal à s'écarter de leurs effets de fixation lors des processus de conception. Probablement pour éviter aux acteurs d'investir dans la création de nouvelles connaissances et organisations, en lien avec des innovations trop en rupture, que le système va certainement rejeter.

Selon Agogué et Le Masson et al (Agogué, 2012; Le Masson et al., 2014), ces effets de fixation dont est victime l'individu sont concentrés dans la définition « fixée » d'un objet. C'est-à-dire que la définition d'un objet contient les connaissances et la fonction de l'objet, auxquels va directement se référer l'individu. C'est pourquoi, pour sortir de ces biais cognitifs, il faut pouvoir rediscuter la définition des objets (Berthet, 2013; Le Masson et al., 2014). Si Ezzat (Ezzat, 2017) exprime bien les effets de fixation que rencontre un individu, il faut savoir que le collectif a tendance à renforcer la fixation des acteurs. Cela se traduit par la réticence des acteurs à proposer des idées originales, dont le coût relationnel et organisationnel semble élevé (jugement social), mais également qui font appel à des connaissances qui ne sont pas mobilisables par tout le monde, ou qui remettent en question des règles établies par certains experts (Le Masson et al., 2014).

Ces effets de fixation n'apparaissent pas clairement aux acteurs qui innovent, car ils se fondent dans la complexité du système, et semblent émaner de règles structurantes du régime sociotechnique qu'il est difficile de modifier. Selon Dosi (Dosi, 1982), le changement (ou innovation) est souvent le fait d'une progression le long d'une trajectoire technologique, définie par un paradigme technologique particulier qui sous-tend l'innovation dans le régime sociotechnique. Un paradigme technologique représente « *un modèle pour trouver des solutions à des problèmes technologiques particuliers, basés sur un ensemble de règles* » (Agogué, 2012; Dosi, 1982). Ces paradigmes technologiques génèrent de puissants effets d'exclusion car « *les efforts et l'imagination technologique des ingénieurs et des organisations dont ils sont responsables sont orientés dans des directions assez précises, alors qu'ils sont, pour ainsi dire, "aveugles" par rapport aux autres possibilités technologiques. Dans le même temps, les paradigmes technologiques définissent également une idée de "progrès"* » (Dosi, 1982).

Ces paradigmes sont souvent issus d'un « dominant design », tel qu'il est défini par Utterback 1994 cité par (Jolly, 2008) : « *Un design dominant dans une classe de produits est, par définition, celui qui gagne l'allégeance du marché, celui auquel les concurrents et les innovateurs doivent adhérer s'ils souhaitent attirer un nombre important de suivis sur le marché. La conception dominante prend généralement la forme d'un nouveau produit (ou d'un ensemble de fonctionnalités) synthétisé à partir d'innovations technologiques individuelles introduites indépendamment dans des variantes de produit antérieures* ». Ainsi, le dominant design est le standard dans l'innovation qui s'imposera aux autres acteurs qui innoveront, permettant ensuite le développement d'innovations à grande échelle suivant une même trajectoire technologique, d'où la naissance des dépendances au chemin.

Les dépendances au chemin sont donc de potentiels marqueurs de ce dominant design dans lequel sont insérés les acteurs de l'innovation, et qui les empêchent de réfléchir à des innovations en dehors de ces « chemins ». Dans sa thèse, Agogué (Agogué, 2012) expose le cas extrême des innovations orphelines où les acteurs de l'innovation sont enfermés dans les représentations mentales issues d'un paradigme technologique particulier, si bien qu'ils n'arrivent plus à proposer de nouvelles solutions.

C'est pourquoi il est nécessaire de mettre à jour les dépendances au chemin des acteurs de l'innovation en gestion de l'enherbement, puisqu'elles reflètent les représentations cognitives liées au paradigme technologique actuel et dont il faut s'éloigner consciemment pour innover en rupture (Agogué, 2012). Car innover au sein du paradigme technologique actuel en agriculture ne permet pas, en Martinique, de descendre en dessous d'un certain seuil de pollution des rivières, comme nous l'avons évoqué en 1.2.2. Or, des solutions innovantes existent toujours car, selon Le Masson (Le Masson et al., 2014), l'espace des solutions à un problème étant infini. Aussi, à l'aide d'un diagnostic du système sociotechnique, il est possible de représenter le dominant design en gestion de l'enherbement en Martinique, et les dépendances au chemin d'innovation qu'il génère. De ces dépendances au chemin, il est ensuite possible de repérer les effets de fixation qui les soutiennent, afin de pouvoir s'en éloigner lors de la phase de conception. Cette mise à jour, nous choisissons de la faire via la détermination des règles cognitives, normatives et régulatrices qui soutiennent le régime dominant (Geels 2004, partie 3.2.1).

Pour concevoir des solutions originales qui permettent de sortir des impasses actuelles, il faut développer la capacité à s'éloigner des règles connues, en redéfinissant l'identité des objets (Le Masson et al., 2014). C'est pourquoi de plus en plus de travaux de conception en agronomie s'intéressent à la conception innovante, ou théorie C-K, du domaine des sciences de gestion (Berthet, 2013; Ravier, 2017). La théorie C-K permet de distinguer les effets de fixation individuels et collectifs qui opèrent dans un processus de conception (Agogué, 2012; Le Masson et al., 2014) afin de s'éloigner, par la suite, de ces biais cognitifs pour concevoir les solutions territoriales nécessairement en dehors du paradigme habituel de conception.

3.2.3. La conception innovante, issue de la théorie C-K, permet de concevoir des innovations originales

La théorie C-K (Concept-Knowledge) est une théorie de la conception innovante, développée à l'Ecole des Mines de Paris dans les années 1990 (Agogué et al., 2013). Cette théorie a souhaité répondre à deux impératifs : (i) l'absence d'une approche intégrant à la fois les méthodes de conception, de recherche et de créativité, (ii) le besoin des entreprises industrielles à s'adapter à la compétition mondiale toujours plus rapide (Agogué et al., 2013). Elle a été développée principalement par des chercheurs en science de gestion à savoir Armand Hatchuel, Benoit Weil et Pascal Le Masson.

Une des originalités de la théorie C-K repose sur la modélisation de la conception comme l'interaction entre deux espaces, les concepts ou idées (C) et les connaissances (K), et leur évolution conjointe (Le Masson et al., 2014). Un concept est une proposition indécidable, c'est-à-dire qu'elle n'est ni vraie ni fautive, à l'inverse des connaissances de l'espace K. Quand un concept de l'espace C devient décidable, il intègre l'espace K et la conception est un succès. Pour innover en rupture, il faut amener des idées originales dans l'espace C, c'est-à-dire qu'il faut modifier l'identité de l'objet en ajoutant des attributs inattendus au concept initial C₀, qui représente l'objet que l'on cherche à concevoir (Agogué et al., 2013).

Dans un processus de conception d'innovation en agriculture, Lefèvre et al (Lefèvre et al., 2013) montrent qu'il est possible de développer des innovations de rupture en favorisant les conditions propices à la créativité collective et individuelle des agriculteurs. Pour cela, il est nécessaire de prendre de la distance avec les situations réelles, de permettre le partage d'expériences, connaissances et convictions entre pairs et autres acteurs, et l'apport de connaissances extérieures (Lefèvre et al., 2013). C'est exactement ce que cherche à faire la méthode de conception innovante KCP (Knowledge, Concept, Proposition), qui est un développement pratique de la théorie C-K. Elle donne les outils nécessaires au concepteur pour s'éloigner des effets de fixation, développer de nouvelles connaissances et stimuler la créativité d'un groupe d'acteurs. L'élaboration de cette méthode s'est faite notamment dans des grosses entreprises industrielles telles que Dassault Systèmes, Renault ou encore la RATP (Agogué et al., 2013), mais son adaptation dans le monde agricole génère actuellement un domaine de recherche en expansion (Berthet et al., 2016; Ravier et al., 2018).

Pour sortir des effets de fixation des acteurs afin d'innover dans un nouveau paradigme et trouver des solutions territoriales efficaces aux pollutions diffuses, la conception innovante (à travers son formalisme de la théorie C-K et ses outils opérationnels comme la méthode KCP) semble être une possibilité pertinente.

Mais la conception d'innovation se poursuit dans l'usage qui est fait des objets agronomiques par les acteurs, c'est-à-dire qu'on continue à concevoir l'objet en l'utilisant (Béguin and Cerf, 2004; Cerf et al., 2012; Ravier, 2017). Cependant, dans le cas d'une pollution diffuse qui s'opère dans un système territoriale agricole complexe, l'utilisation des innovations revêt un risque important d'impacts potentiellement négatifs sur le reste du système. C'est pourquoi, afin d'acquérir des connaissances sur les interactions entre le système et les innovations, il peut être pertinent de modéliser leur usage à l'aide d'un jeu sérieux.

3.2.4. Acquérir des connaissances sur les interactions innovations-système à travers le jeu sérieux

L'analyse des biens communs se prête à l'utilisation de jeu sérieux

Les solutions à une pollution diffuse doivent s'intégrer dans des processus complexes d'activités physiques et d'activités humaines à l'œuvre à l'échelle du territoire. Selon Elinor Ostrom, les externalités négatives des activités humaines sur les ressources naturelles sont le fait de manque de règles de gouvernance, lié au fait que ces ressources naturelles ne soient pas régies par des règles publiques ou privées (Ostrom, 1990). Ceci nécessite de mettre en place des processus de concertation entre les individus pour établir leurs règles, au regard des impacts sur l'écosystème.

Dans leur livre Ostrom et al (Ostrom et al., 1994), Ostrom et ses collaborateurs expliquent le dilemme des biens communs au travers du jeu du prisonnier⁴ : lorsque les individus utilisent une ressource limitée, mais qu'ils ne communiquent pas entre eux pour établir des règles de gouvernance, ni qu'aucune autorité n'a établi ni appliqué des règles efficaces, on obtient une utilisation non-optimale de la ressource, surexploitée par les utilisateurs pour répondre à leur intérêt individuel. Ceci augmentera le coût pour l'ensemble de la collectivité à cause de l'épuisement de la ressource. Ce type de cas ressemble fort à une problématique de pollution d'une ressource collective par des actions individuelles non concertées à l'échelle d'un territoire. Mais pour établir des règles de gestion collectives qui permettraient de gérer durablement une ressource naturelle, il est nécessaire de clarifier la structure du système complexe pour comprendre comment une solution peut améliorer les sorties collectives ou, au contraire, amplifier le problème (Ostrom, 2007).

⁴ Le dilemme du prisonnier a été énoncé par Albert W. Tucker en 1950. Le principe se base sur une situation jouée une seule fois : Deux suspects sont arrêtés par la police. Mais les agents n'ont pas assez de preuves pour les inculper, donc ils les interrogent séparément en leur faisant la même offre. « *Si tu dénonces ton complice et qu'il ne te dénonce pas, tu seras remis en liberté et l'autre écoperà de 10 ans de prison. Si tu le dénonces et lui aussi, vous écoperiez tous les deux de 5 ans de prison. Si personne ne se dénonce, vous aurez tous deux 6 mois de prison* ». En l'absence de communication entre les joueurs, ces derniers choisissent préférentiellement de se trahir plutôt que de coopérer, ce qui représente pourtant la situation avec le meilleur résultat pour le collectif.

Dans son livre intitulé « règles, jeu et bien communs », Elinor Ostrom exprime son modèle d'analyse des situations de gestion commune. Elle se fait à partir d'une unité spatiale appelée *scène d'action*, sur laquelle se regroupent les acteurs interagissant dans un espace social appelé *situation d'action* (Holland and Sene, 2010). La scène d'action est affectée par trois ensemble de variables (Holland and Sene, 2010) :

- Le monde physique à laquelle l'action est lié (par exemple notre bassin versant)
- Les principaux attributs de la communauté qui affectent la situation d'action : les normes de comportement, le niveau d'homogénéité des objectifs, la taille et la composition du groupe d'acteurs etc.
- Les règles qui constituent le principal levier d'action puisqu'elles peuvent être modifiées.

Ce cadre d'analyse se prête bien à la mise en place de jeux sérieux : le plateau forme la scène d'action, les joueurs la situation d'action. Une partie de jeu a pour but de modéliser le fonctionnement des variables qui affectent la scène d'action : les processus physiques, les comportements des joueurs, les règles qui régissent les actions des joueurs. A travers un jeu de plateau, il est possible de créer un espace de dialogue entre acteurs leur permettant de discuter des règles de gestion communes d'une ressource. Pour aider ce dialogue, le plateau de jeu peut reproduire le fonctionnement de la ressource, influencé par les différentes actions/décisions des joueurs (Figure 13).

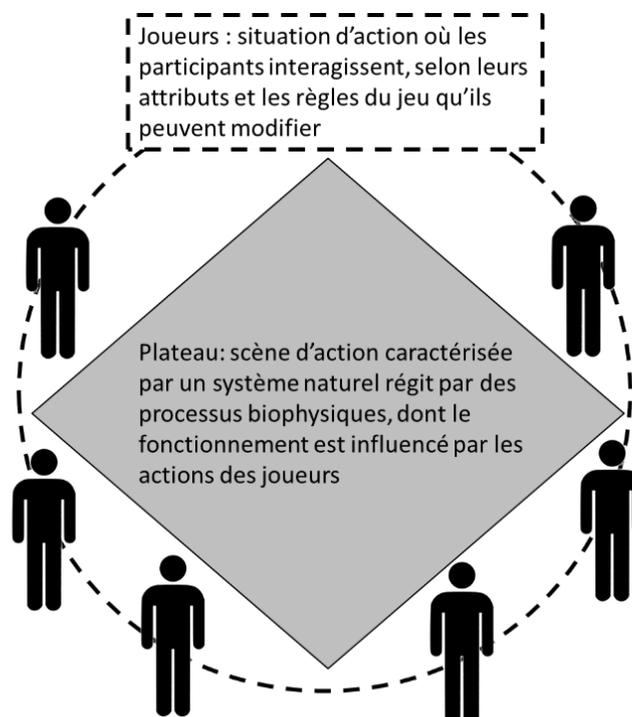


Figure 13: présentation d'un modèle de jeu sérieux pouvant répondre à l'élaboration de solutions pour une gestion commune d'une ressource naturelle

De cette façon, le jeu représente le système complexe de façon dynamique, permettant de créer des connaissances sur les interactions innovation-système complexe, à la fois en testant l'effectivité de solutions territoriales dans la réduction d'une pollution diffuse, mais également en analysant les répercussions de ces solutions sur d'autres éléments du système complexe. Ceci ouvre la possibilité d'établir et de tester collectivement des règles pour la mise en place de ces solutions.

La modélisation d'accompagnement comme exemple de méthodes efficaces de jeux sérieux

On observe une certaine similitude entre le cadre d'analyse d'Ostrom sur les situations de gestion de ressources naturelles, et les différents jeux sérieux qui se développent fortement dans le domaine de l'environnement depuis les années 1990, en grande partie grâce au développement de la modélisation d'accompagnement.

La modélisation d'accompagnement (ou ComMod) se présente comme une démarche d'appui à la gestion des ressources renouvelables (Bousquet et al., 2010).

Elle concerne deux domaines d'application : « *produire de la connaissance sur les systèmes sociaux et écologiques abordés, faciliter la concertation entre les différentes parties prenantes du processus participatif considéré* » (Daré et al., 2010b). Le processus ComMod cherche à faire émerger des règles de gestion collective pour éviter la tragédie des communs définie par (Ostrom, 1990), en permettant aux individus de coopérer dans la gestion fictive d'une ressource collective. A travers ses démarches de jeux sérieux, la modélisation d'accompagnement respecte les trois aspects de la décomposition des systèmes complexes socioécologiques, qui sont d'après Ostrom (Ostrom, 2007) (i) le partitionnement des variables du système en classes et sous-classes, (ii) l'existence de sous-systèmes relativement séparables, indépendants les uns des autres dans l'accomplissement de nombreuses fonctions mais qui finissent par affecter les performances de chacun, (iii) les systèmes complexes sont plus grands que la somme de leurs parties, ce qui implique d'étudier en priorité leurs interactions.

Le caractère empirique du développement de cette démarche a rendu nécessaire la rédaction d'une charte au début des années 2000 afin d'établir une première formalisation de la méthode (Bousquet et al., 2010). La démarche présentée alors propose comme élément commun l'utilisation de SMA (Systèmes Multi-Agents) aux approches de modélisation d'accompagnement (Collectif ComMod, 2005). Un système multi-agents est une théorie informatique où l'agent est un processus informatique plus ou moins autonome (Bousquet et al., 2013). Selon les auteurs, la réalisation du modèle de simulation permet de simplifier un monde trop complexe en plaçant les questions de recherche sur les problèmes de représentation, de contrôle et d'interaction (Bousquet et al., 2013). Ce modèle doit ensuite être validé par les acteurs. Enfin, la simulation permet de montrer comment la dynamique du système modélisé est issue d'interactions entre acteurs (Bousquet et al., 2013) et entre acteurs et environnement.

Finally, it is the modeling of the system studied that becomes the center of the modeling accompaniment process, « *comme une métaphore de la réalité sociale, biologique et physique, sous la forme d'un ensemble d'entités autonomes en interactions situées dans un environnement, douées d'un objectif et ayant des représentations de leur environnement* » (Le Page et al., 2010). During the development of the method, agents are not necessarily simulated but can be represented by actors in a role game. The important thing is to represent the fact that individuals in the system make decisions in relation to the resources with which they interact, at the same time as they interact with each other (Le Page et al., 2010).

This representation is done in two steps: explicitation of the complex system studied under the form of a conceptual model, and implementation of this model under the form of a serious game more or less assisted by informatics. The choice of scale of the game must at the same time reflect the decision-making of actors who will determine their choice of action, as well as the physical phenomenon studied. If necessary, multiple scales can be represented and integrated thanks to several tools (platform, simulation) gathered in the same artifact-game. These choices must then be formalized in the game, for example with the help of simulation to take into account temporal dimensions and dynamics of change of state of the elements of the system to which they are associated (Ducrot et al., 2010).

The choice of these scales being relative to the interactions between the system of actors and biophysical processes, the perimeter of the modeling accompaniment process can be variable (village (Barnaud, 2008), watershed (Souchere et al., 2010), etc.). The invariability of these case studies lies in the fact of considering these two sub-systems in interaction. Also, the perimeter of the modeling accompaniment process has in common to consider socio-ecological systems, that is to say integrated systems considering societies and nature (Lagadeuc and Chenorkian, 2009), like the complex system studied in this thesis, which links actors intervening in agricultural production and physical processes of herbicide transfer.

The modeling accompaniment process presents here interesting tools to help continue, in the simulation of use, the conception of ideas in rupture issued from the innovative conception phase.

4. Problématique et questions de recherche

4.1. Problématique générale

Dans cette thèse, on cherche comment développer des solutions pour diminuer la présence d'herbicides agricoles dans les rivières. La revue de la littérature nous indique plusieurs caractéristiques auxquelles nos innovations territoriales doivent répondre. Tout d'abord, elles impliquent de s'éloigner de l'échelle parcellaire pour se situer à l'échelle du bassin versant. Ensuite, elles doivent s'inscrire dans un système complexe d'acteurs, de règles et d'artefacts, appelé système sociotechnique, générateur de verrous et de dépendances au chemin qu'il est nécessaire de dépasser pour élaborer ces innovations territoriales. Ces innovations doivent donc se situer en rupture de ce système sociotechnique, faisant appel de ce fait à une conception innovante. Enfin, ces innovations doivent s'insérer dans un système complexe socioécologique afin de réduire efficacement la pollution herbicide de la rivière. Car cette pollution émane d'interactions entre un sous-système d'acteurs et un sous-système écologique. Pour pallier le problème de la prépondérance de l'intérêt individuel, responsable de la dégradation de la qualité de l'eau, ces innovations doivent faire l'objet de discussions entre les acteurs, afin qu'elles puissent s'insérer dans le territoire à l'aide de règles de gestion établies de manière collective. Ces solutions à l'échelle du territoire s'inscrivent donc dans les nouveaux objets agronomiques à concevoir. Or, la littérature nous apprend qu'ils s'en développent de plus en plus, il nous manque encore des outils de conception en agronomie adaptés à la conception de ce type d'objet.

Dans cette thèse, nous chercherons donc à répondre à la question suivante : **comment certains choix méthodologiques peuvent permettre la conception d'innovations territoriales qui réduisent efficacement la présence d'herbicides dans la rivière d'un bassin versant ?**

Cette thèse reposera sur trois étapes successives, en lien avec le cadre théorique précédemment décrit, à savoir (i) un diagnostic du système sociotechnique sur l'innovation en gestion de l'enherbement à l'échelle du territoire du bassin versant, (ii) un dispositif de conception en deux étapes (ii-a) une conception innovante qui permet de s'éloigner des verrous et dépendances au chemin des acteurs de l'innovation de gestion de l'enherbement, et agissant sur le bassin versant d'étude, (ii-b) une conception dans l'usage permettant à la fois de tester les innovations sur le système socioécologique complexe, ainsi que de permettre l'établissement de règles collectives de gestion assorties aux innovations.

A travers ces trois étapes, nous supposons qu'une seule méthode issue d'un des trois domaines présentés en partie 3.2 ne suffit pas à répondre aux besoins d'établir un diagnostic des dépendances au chemin, de créer de nouvelles représentations chez les acteurs et de nouvelles formes de communication entre eux.

L'hypothèse principale forte que l'on pose dans cette thèse est qu'il est possible d'arriver à l'élaboration de solutions territoriales réduisant la pollution herbicide d'une rivière en associant des méthodes issues des trois domaines exposés dans le cadre théorique (système sociotechnique, conception innovante, conception dans l'usage à l'aide d'un jeu sérieux). Tout d'abord parce que l'étape du diagnostic de ce qui se fait dans le système est indispensable à toute démarche de conception débouchant sur le développement d'un projet de territoire afin de « *faire ressortir les marges de manœuvre des acteurs pour infléchir les dynamiques en cours* » (Lardon and Piveteau, 2005), et que la théorie multi-niveaux du système sociotechnique semble particulièrement adaptée à la mise en place d'un dispositif de conception qui vise une transition écologique dudit territoire. Ensuite parce que l'association entre la conception innovante et la modélisation d'accompagnement peut permettre, tout d'abord d'ouvrir les espaces exploratoires par l'utilisation de la conception innovante en début de processus, puis la modélisation d'accompagnement de reformuler conjointement le problème posé et d'explorer collectivement divers scénarios possibles pour l'avenir du territoire (Berthet et al., 2016).

Pour mener à bien la conception, il est nécessaire d'établir un concept de départ, ou C0 (p45), pour représenter l'objectif collectif de façon à ce que chaque acteur puisse évaluer celui-ci au regard de ses propres contraintes, en jouant le rôle d'intermédiaire entre les acteurs (Teulier and Hubert, 2008). Afin de répondre à la problématique territoriale qui se pose, l'objet C0 à concevoir sera caractérisé de la façon suivante : **un bassin versant avec une faible concentration d'herbicides agricoles dans la rivière.**

Nous allons maintenant présenter succinctement les méthodes choisies au sein du cadre théorique décrit en 3.2. Puis, nous discuterons de l'intérêt d'associer ces trois cadres théoriques et méthodologiques dans notre dispositif. Pour chaque association de méthode, nous distinguerons les sous-hypothèses qui ont jalonné la réalisation des trois étapes du dispositif de thèse.

4.2. Présentation des sous-hypothèses de la thèse, en lien avec le cadre théorique choisi

4.2.1. Le diagnostic du système sociotechnique adapté à notre échelle territoriale

C'est en rapprochant les éléments du système sociotechnique et les dimensions du territoire que nous pourrions étudier les freins et les leviers, liés à des dépendances au chemin, qui entravent la transition écologique d'un bassin versant. Pour cela, nous construirons notre propre cadre d'analyse issu de l'association entre les cadres conceptuels (i) du système sociotechnique (ii) et du territoire dans sa triple dimension géographique. La première sous-hypothèse est que le régime dominant de production et d'innovation dans l'agriculture martiniquaise est régi par les objectifs et des dépendances au chemin des filières agricoles, ce qui le verrouille contre des innovations radicales qui réduiraient de façon drastique l'utilisation d'herbicides, et qui empêchent ainsi la transition écologique du bassin versant.

4.2.2. La méthode KCP au service d'une conception en dehors des effets de fixation des acteurs

A travers les choix que les acteurs ont opérés lors du développement des innovations, on distingue les voies d'innovation que les acteurs ont laissées de côté, ce qui reflète des dépendances au chemin dans le système sociotechnique, et donc des effets de fixation sous-jacents qui empêchent les acteurs de réfléchir à des solutions trop en rupture avec le système sociotechnique. De cette façon, en analysant les freins et les leviers du système sociotechnique à l'aide de la théorie C-K, il nous sera possible de distinguer les effets de fixation collectifs des acteurs, que l'on tentera de dépasser ensuite pendant le processus de conception.

Pour s'écarter des effets de fixation pendant la conception, nous utiliserons la méthode KCP, issue de la théorie C-K. Elle utilise le formalisme et les outils de cette théorie pour établir un processus de conception qui s'éloigne consciemment des effets de fixation collectifs des acteurs par (i) l'établissement d'une base de connaissances commune entre les acteurs aux domaines d'expertises variés, (ii) des outils pour permettre aux acteurs de s'écarter des effets de fixation (exemples provocants, concept projecteurs (Agogué et al., 2013; Le Masson et al., 2014)). Dans leur article, Berthet et al (Berthet et al., 2016) indiquent que la méthode KCP peut être utilisée dans les premières étapes d'une initiative d'innovation pour ouvrir des espaces exploratoires.

C'est effectivement l'utilisation que nous souhaitons faire de cette méthode. Aussi, nous nous focaliserons sur les phases de la méthode qui permettent l'exploration en dehors des effets de fixation, à savoir les phases K et C. Nous parlerons dès lors de la méthode KC. La deuxième sous-hypothèse ici est qu'une approche de conception basée sur la détermination et le dépassement des biais cognitifs permet de dépasser les fixations dans le monde agricole, pour l'élaboration de solutions territoriales en faveur de la transition écologique.

4.2.3. Le jeu sérieux pour discuter de la mise en place et de la pertinence des innovations territoriales explorées dans notre système socioécologique

L'approche ComMod permet d'illustrer à la fois l'intérêt et la difficulté de la coopération entre individus au sujet de la gestion d'une ressource naturelle (Barnaud, 2008). Grâce à cette méthode, nous pourrons replacer nos innovations territoriales dans le système socioécologique complexe pour discuter, négocier, et évaluer leur implémentation. La troisième sous-hypothèse est que la méthode du jeu sérieux permet de déterminer des conditions de succès pour l'intégration d'innovations originales dans le système socioécologique étudié.

Notre utilisation des méthodes issues de la démarche de modélisation d'accompagnement aura un but très utilitariste, car cela nous permettra de « tester » et discuter, en collectif, des solutions issues des explorations précédentes en KC. Aussi, pour des raisons de pragmatisme (les acteurs ont une possibilité de mobilisation limitée) nous prioriserons la participation des acteurs dans les ateliers KC car elle est indispensable à l'exploration en rupture. Puis nous établirons le modèle conceptuel de notre système étudié au sein de l'équipe de conception, à l'aide des connaissances recueillies lors du diagnostic du système sociotechnique, complété par des informations issues des ateliers de la première phase de conception. Ainsi, si une partie du dispositif sera fortement inspirée des démarches de modélisation d'accompagnement, nous n'utiliserons pas ce terme, mais celui de « jeu sérieux ».

4.3. Comment ce dispositif de conception dans notre démarche de recherche allie théorie de la transition, conception innovante et jeu sérieux

L'hypothèse principale reposant sur l'association de méthodes issues de trois domaines de recherche différents du cadre théorique exprimé en 3.2, nous décrivons à l'aide de la Figure 14 comment ces méthodes s'articulent dans le dispositif de conception testé.

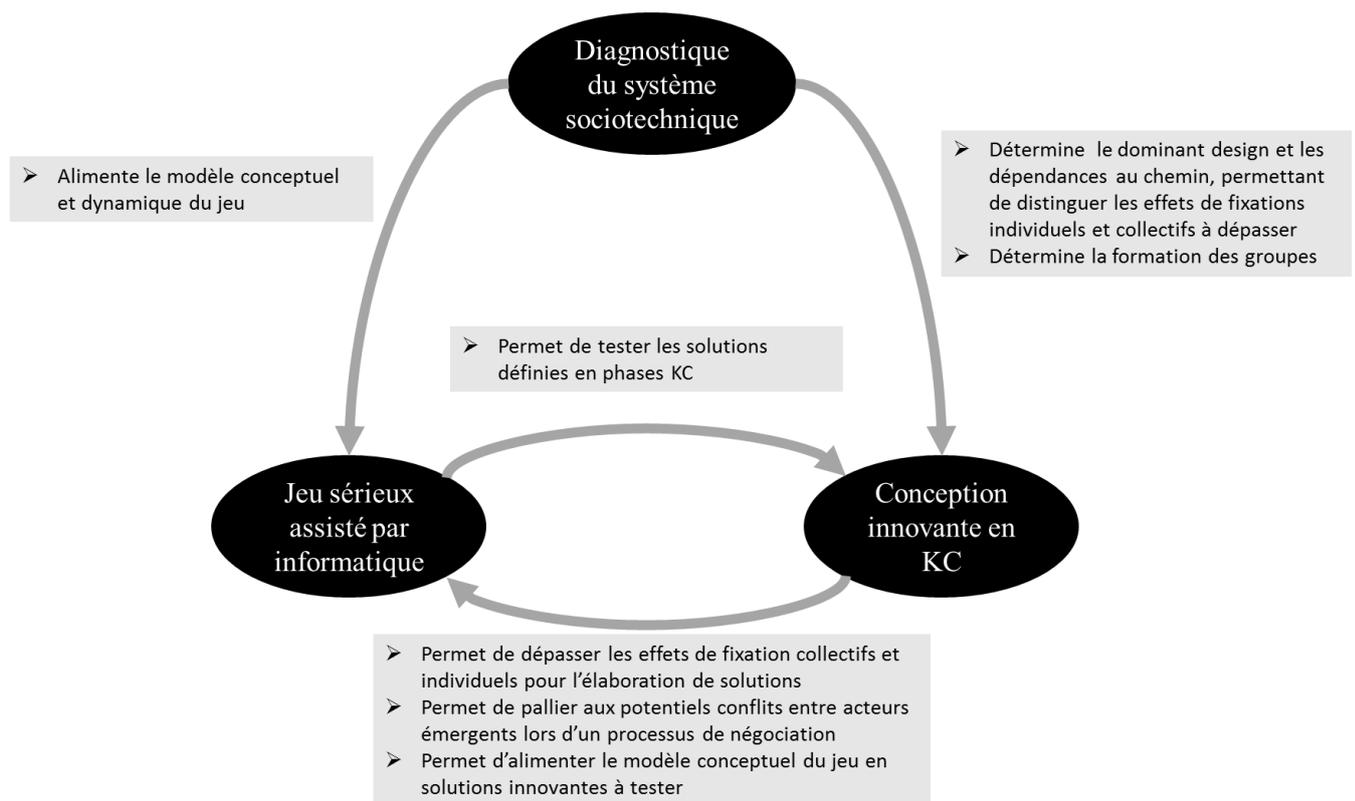


Figure 14: trois méthodes qui s'alimentent dans une démarche de conception d'innovation agricoles territoriales

Tout d'abord, le diagnostic du système sociotechnique permet d'alimenter la phase de conception innovante par la détermination du dominant design (p44), générateur d'effets de fixation dont nous essaierons de nous extraire pour l'élaboration de nouvelles solutions. Ce diagnostic permet également de définir les acteurs avec qui concevoir ces solutions de manière participative. Ensuite ce diagnostic sert à la deuxième phase de conception par jeu sérieux en générant des connaissances sur le système socioécologique pour élaborer le modèle conceptuel qui servira de base au fonctionnement du jeu.

La phase de conception innovante permettra à la fois d'établir les effets de fixation à dépasser à l'aide du formalisme de la théorie C-K, mais aussi de mettre en œuvre une première phase de conception dépassant les effets de fixation collectifs et individuels des acteurs en présence dans l'élaboration des nouvelles solutions. Les situations de conception collective, avec acteurs hétérogènes, possèdent l'aspect original d'inclure des processus de négociations, ce qui est particulièrement difficile du fait que les acteurs sont indépendants et peuvent décider de se retirer à n'importe quel moment du processus de conception (Teulier and Hubert, 2008). C'est pourquoi le collectif ne doit pas être poussé trop vite vers le consensus qui reflète souvent les opinions les plus influentes (Barnaud, 2008). La conception innovante à partir d'un C0 commun (p45) est une alternative aux représentations partagées, en positionnant l'objet C0 comme médiateur entre ces différentes représentations (Teulier and Hubert, 2008). Enfin, cette phase KC de conception fera émerger des solutions originales à tester/discuter lors de la phase de jeu sérieux.

Le jeu sérieux permettra de définir des conditions nécessaires au succès des solutions originales développées en KC. L'artefact (tel un plateau de jeu) est central dans l'utilisation des jeux sérieux à l'instar de méthode comme la modélisation d'accompagnement. Or, s'il rend compte du système, cet artefact empêche parfois d'en sortir, comme ce fut le cas pour Barnaud et al (Barnaud et al., 2013) lorsqu'ils firent le choix d'utiliser dans leur processus ComMod des représentations spatiales comme artefact, car : « *les représentations spatiales peuvent conduire à penser en termes de limites et d'espace ségrégué, et donc empêcher de penser en termes d'espace multifonctionnel et de trouver des solutions innovantes et intégratives*⁵ ». Ce phénomène a également été observé dans le jeu sérieux participatif élaboré par Amalric et al (Amalric et al., 2017), où les participants ont eu tendance à reproduire les pratiques qu'ils mettaient habituellement en œuvre à défaut d'élaborer des stratégies différentes. On peut supposer que les artefacts qui modélisent le système étudié font appel directement aux connaissances qui y sont liées, ce qui peut accentuer les effets de fixation. Ce phénomène a tendance à s'accroître en groupe, car les participants vont mobiliser rapidement les connaissances les plus partagées par les membres (Le Masson et al., 2014). En raison de l'utilisation d'un tel artefact, nous préférons positionner l'utilisation du jeu sérieux après l'exploration d'idées nouvelles dans le processus de conception.

⁵ Traduction personnelle

5. Organisation générale du manuscrit de thèse

Le chapitre 2 explicitera le matériel et méthode général du dispositif de conception mis en œuvre dans la thèse, en sachant que les chapitres résultats présenteront chacun une partie matériel et méthode définissant plus précisément les cadres d'analyse utilisés dans le chapitre correspondant, afin de faciliter la lecture des résultats.

Comme annoncé dans la partie 4 précédente, le travail de thèse s'est organisé autour de trois étapes : (i) le diagnostic du système sociotechnique, (ii) la première phase de conception innovante, (iii) la deuxième phase de conception par le jeu sérieux assisté par informatique. Les trois chapitres de résultats reprendront ce découpage, respectivement chapitres 3, 4 et 5.

Le chapitre 6 cherchera à savoir si notre dispositif de conception a permis de répondre à tout ou partie de la problématique de la thèse, si l'hypothèse forte a été confirmée ou non.

Chapitre 2 : mise en place d'un dispositif participatif de conception d'innovations agricoles territoriales, à l'échelle d'un bassin versant

1. Choix de la zone d'étude : le bassin versant du Galion

1.1. Un bassin versant représentatif de l'agriculture martiniquaise

Dans un objectif de généralité de notre recherche, nous avons travaillé sur un bassin versant qui intégrait la diversité des conditions agricoles martiniquaise, en lien avec notre question de la gestion de la pollution d'une rivière par les herbicides agricoles. Ainsi, nous avons sélectionné un bassin versant qui soit à la fois :

- Représentatif des caractéristiques physiques intervenant dans les processus de transfert des herbicides vers la rivière (telles que nature du sol, pluviométrie, (Mottes, 2013))
- Représentatif de la diversité de l'agriculture martiniquaise, sur les cultures pratiquées et sur les stratégies de gestion de l'enherbement
- Représentatif d'une zone présentant une pollution de l'eau par les herbicides

Pour faciliter notre intervention à l'échelle du territoire, nous nous sommes également orientés vers un bassin versant qui possède déjà une composante territoriale afin de légitimer notre intervention, à travers un contrat de rivière que nous expliciteront plus loin.

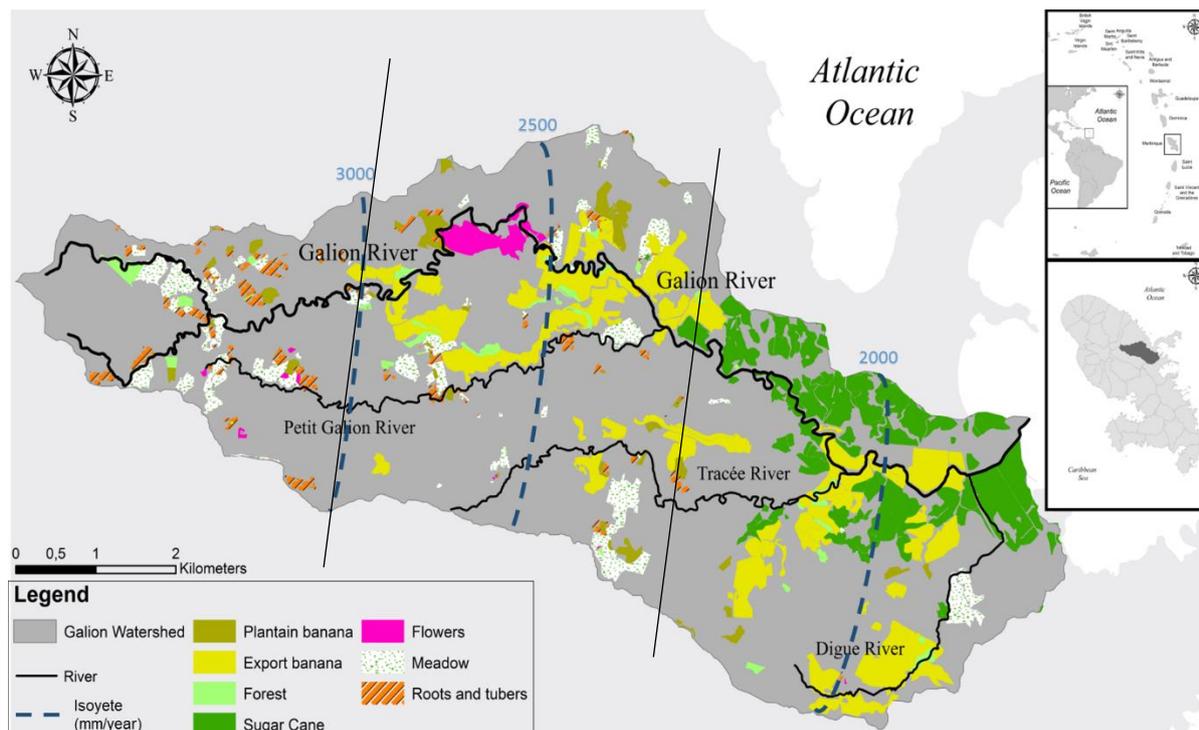


Figure 15: carte du bassin versant du Galion. Les traits noirs distinguent les trois grandes zones pédo-climatiques

Le bassin versant du Galion (45 km²) est situé sur la façade nord-Atlantique de la Martinique. Il peut se délimiter en trois zones agro-pédo-climatiques distinctes (Figure 15). La zone amont se caractérise par de fortes pentes, une pluviométrie importante (3 500 mm d'eau par an), des sols jeunes et volcaniques (andosols, (Colmet-Daage and Lagache, 1965)) et une agriculture surtout dite de diversification avec des exploitations de petites tailles (inférieures à 5ha). La zone moyenne se caractérise par des pentes fortes à moyennes, la présence d'exploitations agricoles de taille moyenne (entre 30 et 50ha) spécialisées en banane et de petites exploitations diversifiées, une pluviométrie moyenne (2500 mm d'eau par an), des sols d'intergrade intermédiaires (Colmet-Daage and Lagache, 1965). La zone aval du bassin se caractérise par une plaine alluvionnaire, la présence d'une grande exploitation de canne mécanisée et de banane (500ha dont 250ha sur le bassin), avec quelques pentes fortes où se situent de petites exploitations de canne non mécanisées, et une pluviométrie faible (entre 1 500 et 2000 mm d'eau par an), des sols surtout de type ferrisols (Colmet-Daage and Lagache, 1965). Les 1000 ha cultivés en 2011 sur le bassin du Galion par 141 exploitants se répartissent comme suit : 45% sont plantés en banane pour l'export (500 ha pour 21 exploitations), 35 % en canne (370 ha pour 38 exploitations) et les 20% restant sont de petites exploitations (moins de 4ha, 82 exploitations pour 130 ha) en agriculture dite de diversification (cultures vivrières diverses pour le marché local).

Le bassin versant de la rivière Galion est le seul bassin versant martiniquais à faire l'objet d'un Contrat de Rivière (<https://www.contratderivieredugalion.fr/>). C'est un engagement technique et financier entre L'Etat, les collectivités territoriales et les acteurs locaux (sur la base du volontariat).

Du point de vue de la qualité de l'eau, en 2016, le glyphosate y est devenu le deuxième produit le plus détecté après la chlordécone, (Deffontaines and Mottes, 2017). Le projet de recherche RIVAGE fait l'objet d'une fiche-action menée par le CIRAD dans le cadre du volet A du contrat de rivière du Galion. Il vise d'une part à construire un dispositif d'observation et d'analyse des impacts pesticides sur la qualité de l'eau, et d'autre part à concevoir des innovations qui permettront de mieux gérer le risque de pollution. Les contrats de rivière sont des projets territoriaux, et selon Boiffin et al., (2014), ce type de projet intégrateur permet aux acteurs de considérer le territoire comme un élément dynamique intervenant dans le développement (Boiffin et al., 2014).

Ainsi, le bassin versant du Galion regroupe (i) une diversité de situations pédoclimatiques représentative des situations agricoles en Martinique (chapitre 1, partie 1.1.1), (ii) une diversité de systèmes de productions agricoles représentatives des trois grands types d'agriculture présent en Martinique (banane, canne et diversification, Chapitre 1, partie 1.1.3), (iii) et il fait l'objet d'un contrat de rivière dans lequel s'inscrit le projet de thèse, positionnant notre recherche dans un projet de développement territorial.

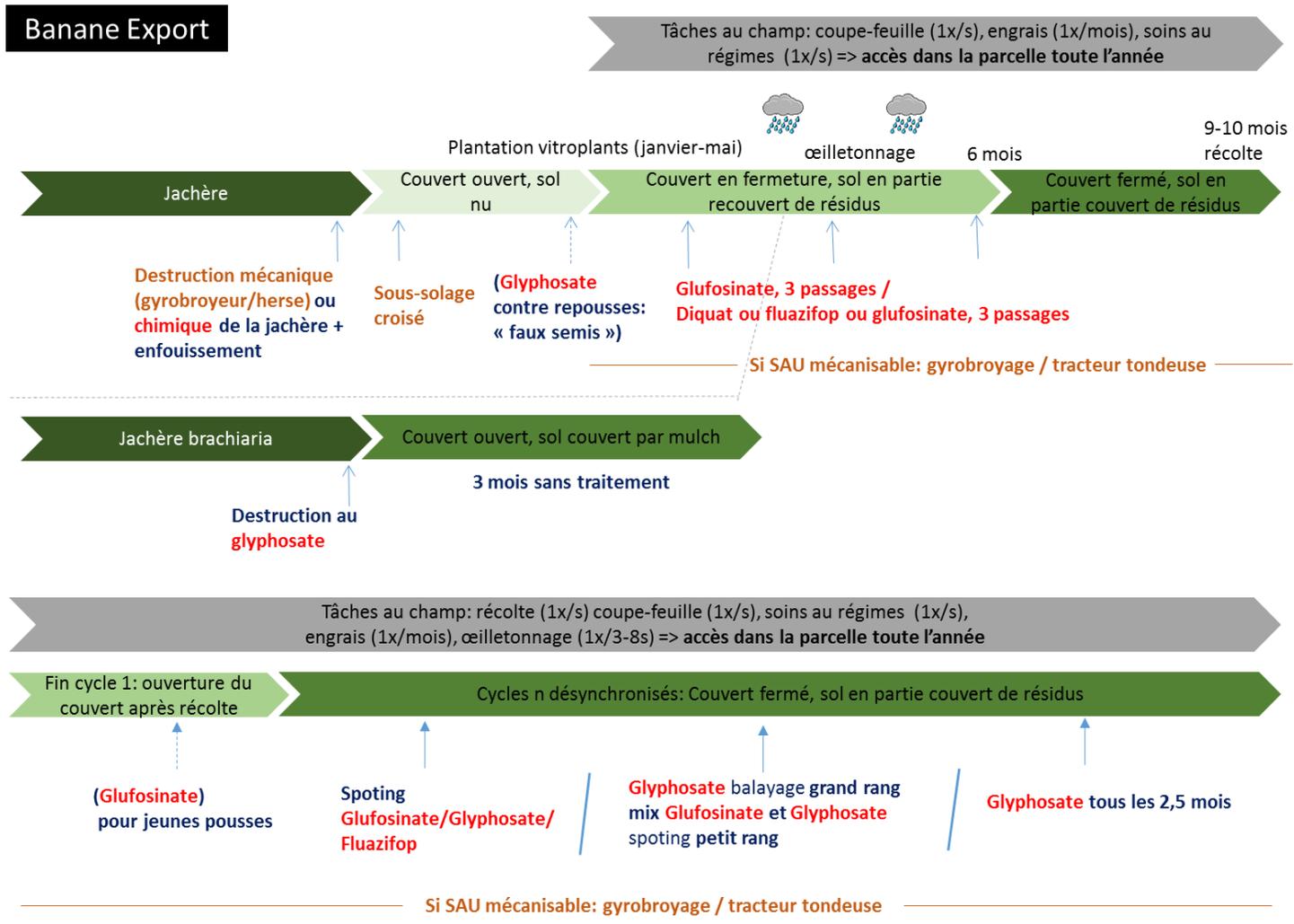
1.2. Les techniques actuelles de gestion de l'enherbement sur le bassin versant du Galion : un désherbage chimique dominant associé aux systèmes monocultureux

Cette partie s'appuie sur les résultats de deux mémoires de fin d'étude effectués sur la zone d'étude en 2014 et 2015 (Brykalski, 2015; Raimbault, 2014). A travers des entretiens avec les agriculteurs, ces travaux ont permis de caractériser les pratiques agricoles utilisatrices d'herbicides sur le bassin versant du Galion. Ces travaux ont permis de distinguer les éléments des systèmes de production martiniquais qui encouragent l'utilisation d'herbicides, ainsi que les logiques de gestion de l'enherbement des agriculteurs qui utilisent davantage d'herbicide.

1.2.1. Les stratégies de gestion de l'enherbement des agriculteurs du bassin

Les figures suivantes (16, 17, 18, 19 et 20) reprennent les différentes actions de gestion de l'enherbement des agriculteurs du bassin versant du Galion, en fonction du cycle cultural et plus particulièrement de la couverture du sol pour la compétition pour la lumière, qui apparaît prédominante dans les stratégies de gestion de l'enherbement des agriculteurs. Les molécules herbicides utilisées sont résumées dans le tableau 2 du chapitre 1.

On remarque sur ces figures (16, 17, 18, 19 et 20) que le début du cycle cultural (avec un couvert ouvert à chaque début de cycle 1 pour la banane et la diversification, et également de cycle n pour la canne) est une étape critique pour tous les systèmes de culture, où l'herbe aura le plus accès à la lumière. Les agriculteurs diversifiés peuvent jouer sur les variétés, les espèces et les associations pour éviter une ouverture du couvert pendant cette période. Pour les monocultures de canne et de banane, ce type de solutions est très peu envisagée. Aussi, on observe des alternatives à l'herbicide de plus en plus utilisées par ces exploitations agricoles. Par exemple, la substitution par de la débroussailleuse est très utilisée par les petits planteurs de canne, mais se développe également dans les moyennes exploitations de banane. La sélection ou l'implantation de plantes de couverture entre les rangs concernent à la fois des petites et des grandes exploitations, de banane majoritairement, mais aussi de vergers.



Plantation + cycle 1

Fin cycle 1 et cycles n

Figure 16: cycle de gestion de l'enherbement en banane export, d'après les données de (Brykalski, 2015). Les nuages indiquent la saison des pluies. Le gradient de vers indique le degré d'ouverture du couvert végétal de complètement ouvert (blanc) à couvert fermé (vert foncé).

Canne (gros planteurs)

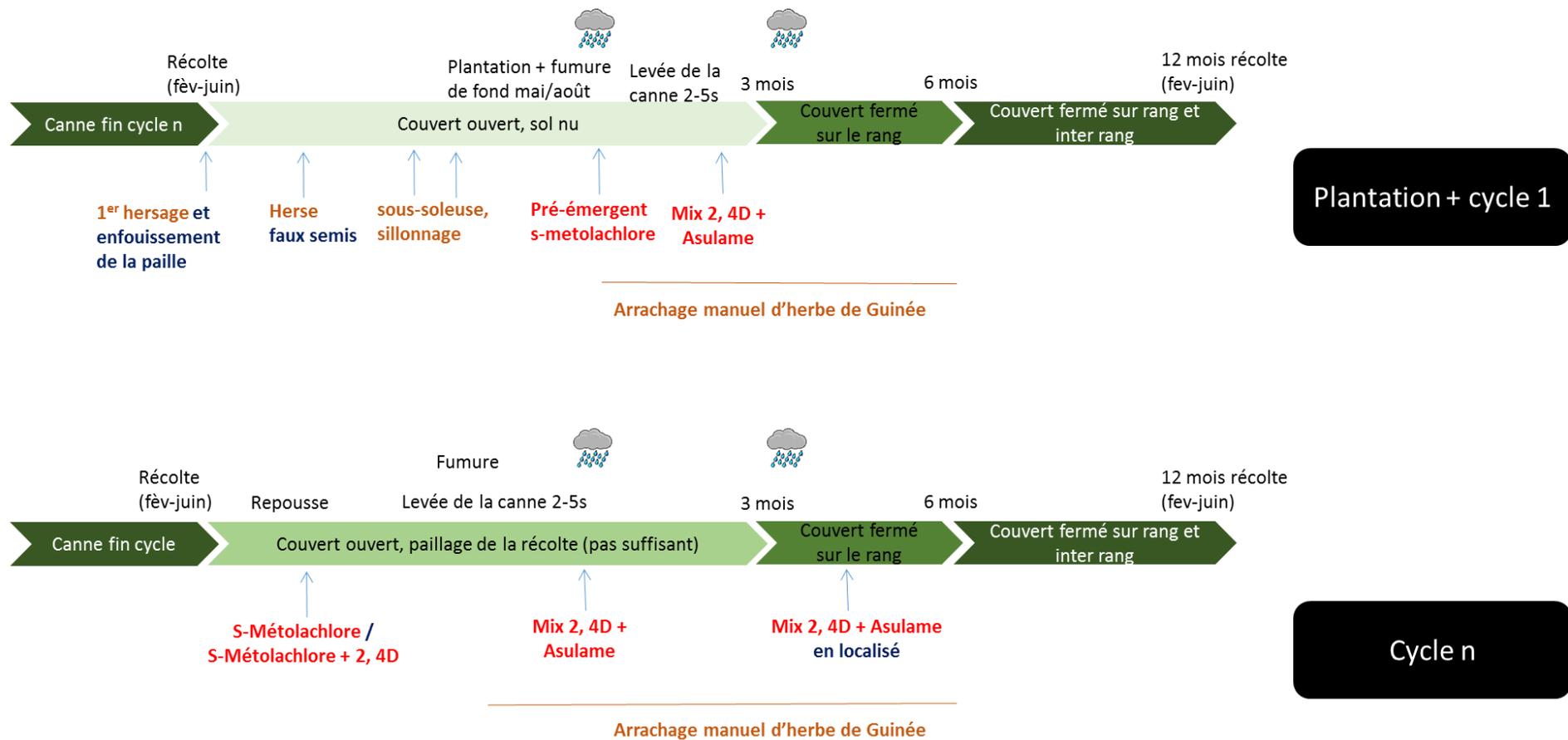


Figure 17: cycle de gestion de l'enherbement en canne (gros planteurs), d'après les données de (Brykalski, 2015). Les nuages indiquent la saison des pluies. Le gradient de vers indique le degré d'ouverture du couvert végétal de complètement ouvert (blanc) à couvert fermé (vert foncé).

Canne (petits planteurs)

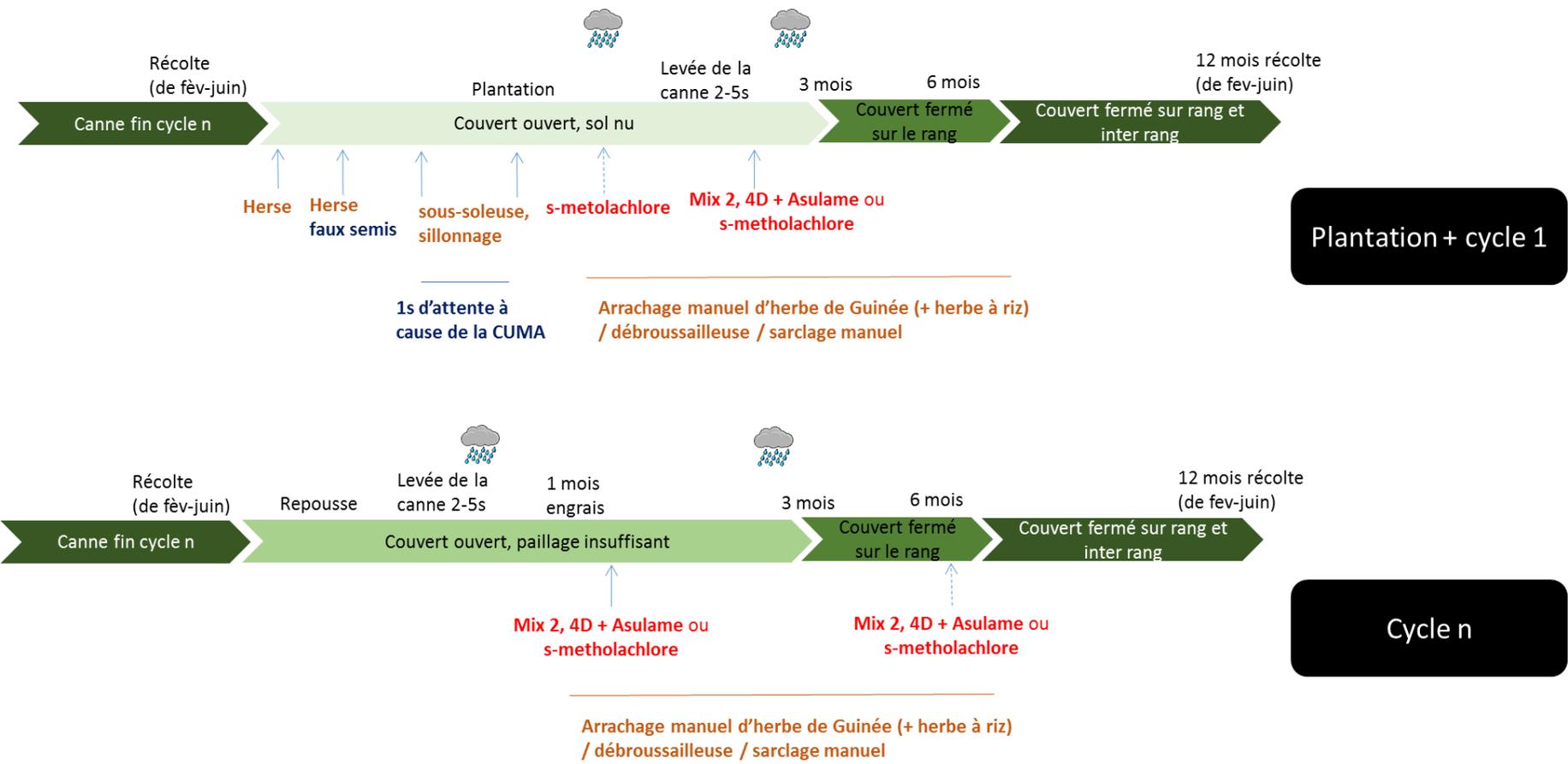


Figure 18: cycle de gestion de l'enherbement en canne (petits planteurs), d'après les données de (Brykalski, 2015). Les nuages indiquent la saison des pluies. Le gradient de vers indique le degré d'ouverture du couvert végétal de complètement ouvert (blanc) à couvert fermé (vert foncé).

Banane Plantain

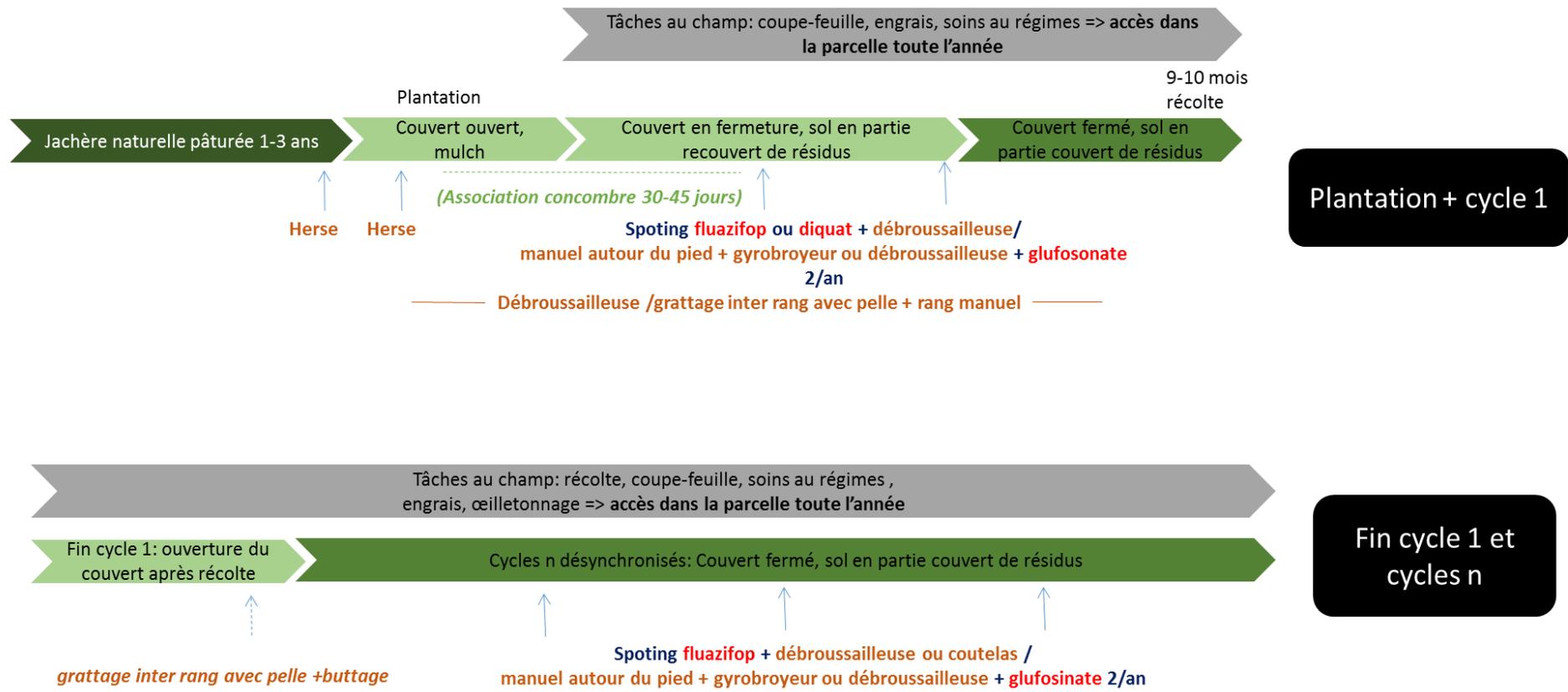


Figure 19: cycle de gestion de l'enherbement en banane plantain, d'après les données de (Brykalski, 2015). Les nuages indiquent la saison des pluies. Le gradient de vers indique le degré d'ouverture du couvert végétal de complètement ouvert (blanc) à couvert fermé (vert foncé).

Diversification

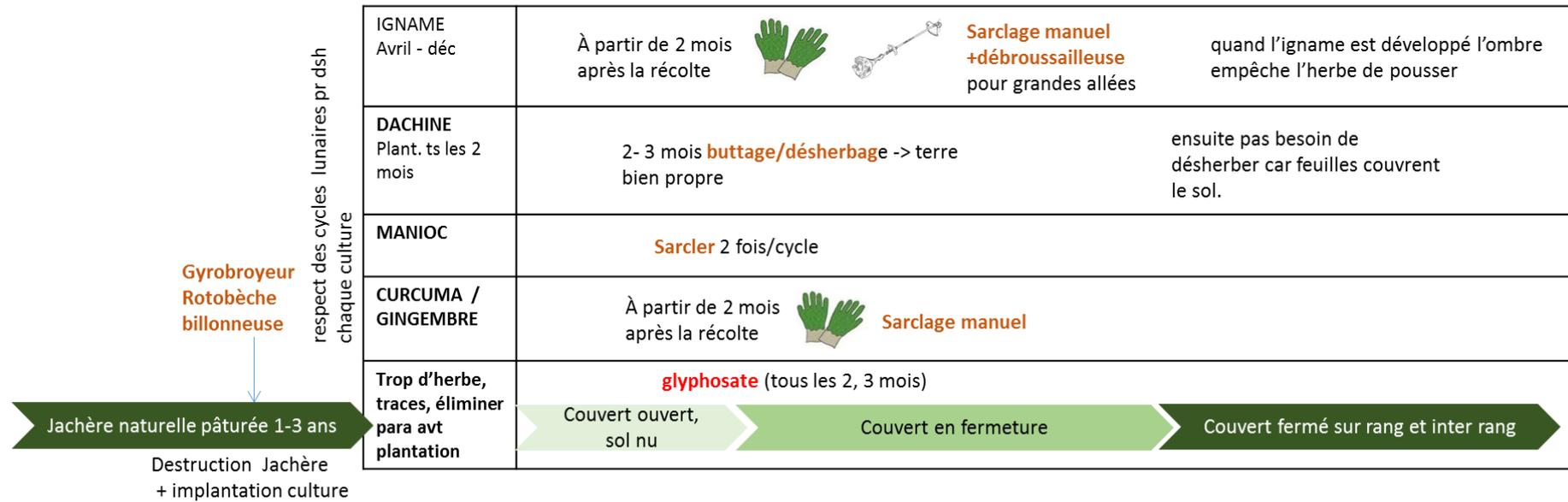


Figure 20: cycle de gestion de l'enherbement en diversification, d'après les données de (Brykalski, 2015). Les nuages indiquent la saison des pluies. Le gradient de vers indique le degré d'ouverture du couvert végétal de complètement ouvert (blanc) à couvert fermé (vert foncé).

1.2.2. Ce qui joue sur l'enherbement

D'après les agriculteurs, 5 facteurs principaux vont déterminer le type et la vitesse de croissance des adventices : la saison, le stock de semence, l'accès des adventices aux ressources en lien avec le début de cycle de la culture de rente, et les espèces présentes dans l'enherbement. Ces éléments interviennent dans les décisions de gestion de l'enherbement des agriculteurs.

La saison des pluies, c'est-à-dire la période de juin à novembre, est une période particulièrement critique en Martinique car les températures, la pluviométrie et la durée du jour sont les plus élevées, ce qui favorise fortement la croissance des adventices. Les agriculteurs seront donc très vigilants à cette période de l'année, et vont privilégier les actions de gestion de l'enherbement plus efficaces à cette période.

Le stock de semences est constitué des graines et de parties végétatives d'adventices. Ce stock peut être alimenté par (i) l'enherbement de la parcelle (pendant la culture, en jachère, ou encore selon la préparation du sol avant plantation), (ii) l'enherbement extérieur (graines de l'extérieur apportées par le vent, l'utilisation de machines en commun, etc.). Les agriculteurs ont donc des stratégies transversales aux systèmes de culture qui prennent en compte ce stock de semences, à savoir désherber la parcelle ou faucher la jachère avant le stade graine, ou encore gérer les abords des parcelles, effectuer un faux-semis mécanique (herse, gyrobroyeur) ou appliquer de l'herbicide (plus rare) en (re)plantation. D'autres stratégies sont propres aux systèmes de culture, à savoir la replantation d'une parcelle trop enherbée de canne, en général avant 7 ans, la sélection de couverture endémique en inter rang pour la banane, le pâturage de la jachère et la rotation culturale pour les systèmes maraîchers et vivriers.

L'accès aux ressources soleil, eau, sol pour les adventices va jouer également sur la croissance de l'herbe. C'est pourquoi beaucoup d'agriculteurs utilisent la fermeture du couvert cultivé pour contrôler les adventices, qui est fonction des cycles culturaux.

Le type d'herbe va également contraindre la gestion de l'enherbement. Certaines herbes n'ont pas de solutions chimiques adaptées, comme c'est le cas de l'herbe de Guinée, graminée envahissante de la canne qui résiste aux traitements chimiques, et nécessite donc une extraction manuelle obligatoire, ou l'herbe grasse en banane qui tolère l'herbicide systémique. De manière générale, les agriculteurs relèvent de plus en plus de résistance à l'herbicide. D'autres herbes vont se propager via des parties végétatives. Les lianes par exemple sont souvent citées comme se propageant par bouture, ce qui freine l'utilisation de la fauche.

1.2.3. Ce qui joue sur le déclenchement d'un chantier de désherbage

Tout d'abord, les agriculteurs utilisent différents critères pour décider de déclencher un chantier de désherbage sur une parcelle. La densité, la hauteur, le type et le stade de croissance de l'herbe sont des critères qui interviennent, avec plus ou moins d'importance selon les systèmes de culture et les agriculteurs. Mais les chantiers de désherbage sont également déclenchés afin d'anticiper (i) la saison des pluies, (ii) les autres tâches prioritaires sur la gestion de l'enherbement, notamment la récolte. Le (i) est réfléchi à l'échelle de l'année pour tous les systèmes, le (ii) est réfléchi sur un pas de temps propre au cycle de la culture. En canne, la gestion de l'enherbement se fait sur les 5 premiers mois du cycle pendant lesquels les agriculteurs peuvent accéder à la parcelle (avant la fermeture du couvert de canne, voir Figure 17 et 18). En banane, la gestion de l'enherbement se réfléchit sur la semaine afin de pouvoir accéder à la parcelle toute l'année pour des tâches de récoltes hebdomadaires et des tâches de soins aux régimes (voir Figure 16 et 19 où les chantiers de désherbage sont réguliers). En diversification, les espèces et variétés cultivées étant très variées, la gestion de l'enherbement est différente selon les cultures et/ou les associations culturales mises en place (Figure 20).

Ensuite, les agriculteurs utilisent d'autres critères pour définir la localisation des pratiques de gestion de l'enherbement sur les parcelles et sur l'exploitation. Tout d'abord, on note des critères transversaux aux types d'exploitations, comme l'utilisation d'herbicide sélectif sur certaines adventices lorsqu'elles sont présentes, ou encore l'alternance de matières actives sur les parcelles pour éviter la résistance des adventices. Ensuite, selon la taille de l'exploitation et les moyens techniques et financiers disponibles, on note des différences. Tandis que les grands canniers vont avoir un déclenchement plutôt automatique (un passage tous les tant de semaines sur chaque parcelle), les petits canniers vont privilégier le désherbage chimique dans les parcelles/rangs les plus infestés afin de retarder le passage d'herbicide, et bénéficier au maximum de l'effet de la fermeture du couvert de canne. Dans les petites exploitations de diversification, le lieu et la technique du désherbage seront décidés en fonction de leur impact potentiel sur la qualité du sol (voir Figure 20 où le sarclage et le buttage sont très présents).

Le type de pratiques est déterminé selon des contraintes propres à l'exploitation, à savoir la trésorerie (pour le coût d'investissement en matériel et son entretien, les salaires), l'accès à la parcelle (SAU mécanisable, stade de croissance des cultures, implantation des cultures, topographie) et la compétence de l'opérateur (maniement des grosses et petites machines, pénibilité du travail, respect de la sensibilité des cultures). Par exemple, les machines lourdes demandent un coût important, une SAU mécanisable et une main d'œuvre qualifiée. *A contrario*, les interventions à pieds demandent peu d'investissement, une certaine compétence de la main d'œuvre dans le maniement des machines, mais reste un travail pénible, pour des parcelles qui doivent être accessibles à pied.

La mobilisation des ressources des exploitations pour la gestion de l'enherbement peut rentrer en conflit avec d'autres tâches agricoles, comme c'est le cas pour les systèmes agricoles banane et canne où la tâche récolte est prioritaire sur les autres chantiers. Cette tâche va demander l'essentiel des ressources de l'exploitation. Ceci va encourager l'utilisation d'herbicide qui demande moins de main d'œuvre lorsque le désherbage doit se faire en même temps que la récolte. Cependant, on remarque que les petites exploitations vont tout de même chercher à diminuer le coût de l'herbicide, en le substituant par des interventions à pieds qui, si elles augmentent le temps de travail à l'hectare, diminuent les coûts relatifs à l'herbicide. En effet, sur ces exploitations, les exploitants sont soit seuls à s'occuper des tâches au champ, soit ont recours à de la main d'œuvre familiale, et parfois à des saisonniers.

1.3. La pollution herbicide de la rivière du Galion

La Figure 21 présente les fréquences de détection des molécules à l'exutoire du bassin versant du Galion, selon les données de l'ODE entre 2008 et 2011. Depuis, les fongicides post-récoltes comme Imazalil et Thiabendazole ont diminué en raison de récentes installations dans les hangars des exploitations de banane.

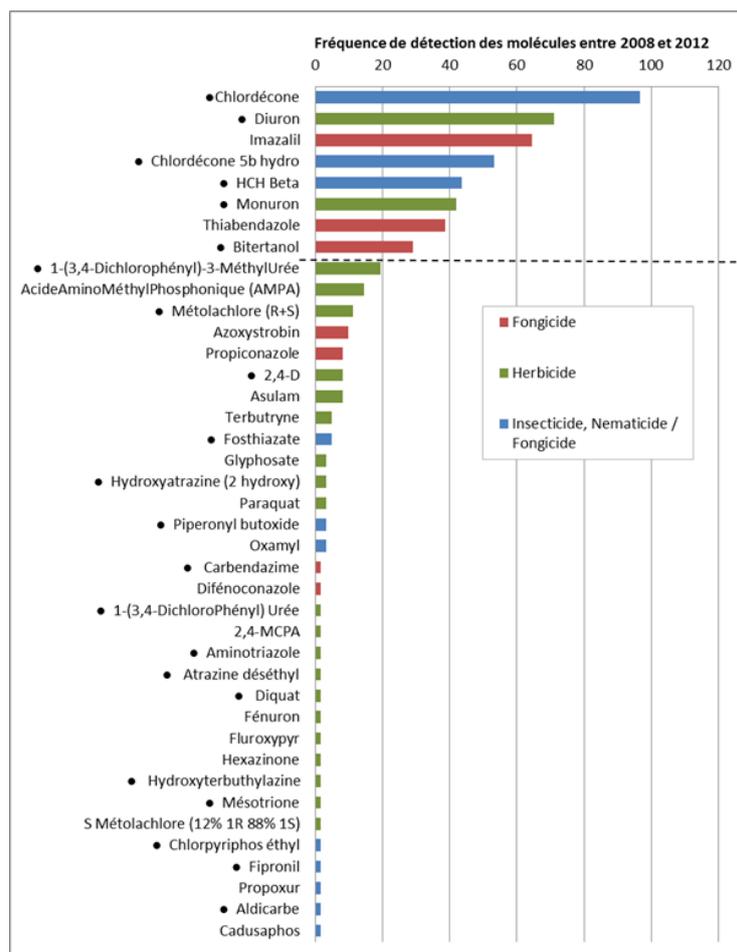


Figure 21: fréquences de détection des molécules à l'exutoire du bassin versant du Galion selon les données de l'ODE entre 2008 et 2011. (Raimbault, 2014)

Il reste qu'en dehors des pollutions historiques, résultant du stockage de molécules interdites d'usage dans les sols (chlordécone, diuron, monuron etc.), le plus grand nombre de molécules détectées encore en usage sont les herbicides, tous systèmes de production confondus. On remarque notamment le nombre important de détection de l'AMPA qui arrive en tête des herbicides encore utilisés. Ce profil de pollution est représentatif des pollutions agricoles des rivières de Martinique (chapitre 1, partie 1.2.2).

2. Présentation du dispositif expérimental de conception mis en place dans la thèse

Comme présenté dans le chapitre 1, partie 3 et 4, le dispositif de conception mis en œuvre dans cette thèse utilise les outils du diagnostic sociotechnique, de la conception innovante (théorie C-K et méthode KC), et du jeu sérieux inspiré de la méthode de modélisation d'accompagnement. Ainsi, le processus de conception participatif de la thèse a suivi la construction chronologique présentée dans la Figure 22.

L'ordre des différentes étapes de ce dispositif de conception est important car les résultats d'une phase sont utilisés directement dans la phase suivante. Cet ordre chronologique doit nous permettre de réaliser l'objectif de la thèse, à savoir la conception participative d'innovations agricoles territoriales qui réduisent la pollution herbicide de la rivière. Le matériel et méthode utilisé dans chaque phase est décrit au début de chaque chapitre résultat (Chapitre 3, 4 et 5).

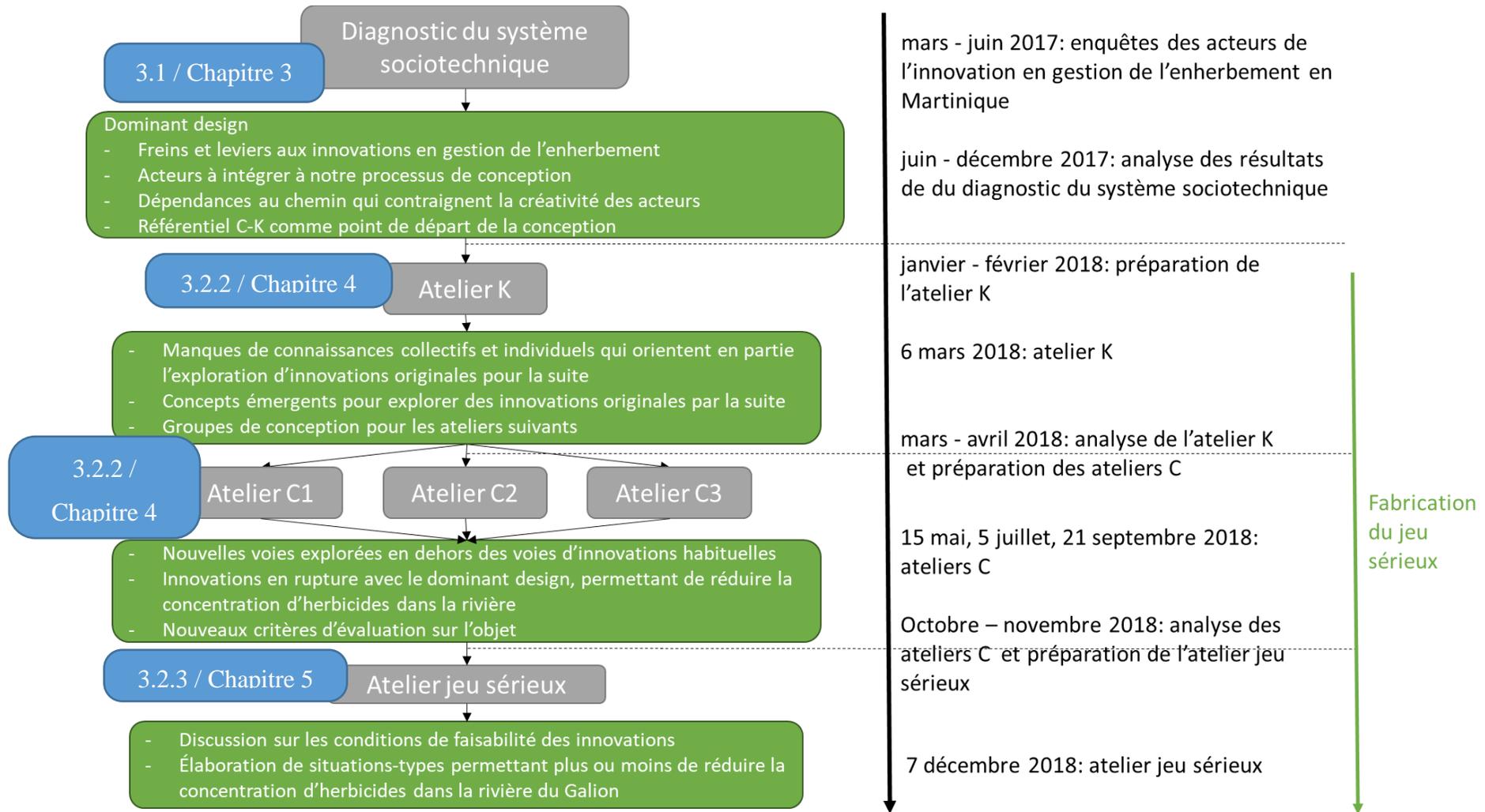


Figure 22: chronologie du processus de conception mis en œuvre dans la thèse. Les cadres gris expriment les différentes étapes, les cadres jaunes expriment les résultats opérationnels de chaque étape. Les flèches indiquent l'ordre chronologique des phases. A droite se situe la barre chronologique (flèche noire) avec les dates clés des qui ont jalonné le processus de conception. La flèche verte indique la durée de fabrication du jeu sérieux. Les ronds bleus indiquent à quelle partie du chapitre 2 se réfère ces étapes / à quel chapitre résultat se réfère ces étapes.

3. Les différentes étapes du processus de conception

3.1. Le diagnostic du système sociotechnique qui se restreint à des innovations peu originales en gestion de l'enherbement en Martinique

L'objectif de cette étape est de relever les dépendances au chemin dont sont victimes les acteurs du système sociotechnique, et qui empêche d'envisager des innovations en dehors de ces chemins.

L'analyse de la transition du système sociotechnique en agriculture s'est développée depuis quelques années, afin de discerner les freins et leviers à la transition agroécologiques de filières agricoles (Belmin et al., 2017; Lamine, 2012; Meynard et al., 2018). Cependant, ces études considèrent peu l'impact de ces freins sur la transition écologique de l'ensemble d'un territoire. L'introduction de questions environnementales, telles que la qualité des cours d'eau, nécessite de considérer le territoire dans sa triple dimension (chapitre 1), ce qui diffère de l'approche conventionnelle des systèmes sociotechniques, à travers la dynamique des régimes et de leurs perturbations, qui, selon Duru et al (Duru et al., 2015), rend mal compte de la gestion collective des ressources environnementales. Les méthodes actuelles de dimensionnement des innovations agronomiques tiennent peu compte des interactions entre les facteurs physiques et sociaux, économiques et institutionnels, qui entraînent régulièrement des impacts environnementaux négatifs, tels que la pollution des rivières (Wigboldus et al., 2016). C'est la raison pour laquelle nous avons dû adapter le concept de système sociotechnique pour répondre à une problématique qui se situe à l'échelle d'un espace d'impact.

Notre objet d'étude est un système composé de trois éléments, à savoir (i) d'un bassin versant, (ii) des systèmes de culture qui y sont pratiqués (iii) et des filières agricoles. Nous y étudions particulièrement l'évolution des pratiques de gestion de l'enherbement au sein du bassin versant qui impactent la qualité des ressources en eau, à travers ces trois éléments de notre système :

- (i) les filières présentes sur notre territoire, dont la structure organisationnelle peut constituer un mécanisme spécifique de verrouillage du système de production, ou au contraire un avantage dans la transition écologique. Par exemple, une filière qui redistribue bien la valeur ajoutée d'une production sur la totalité de la chaîne allant de la production à la commercialisation peut encourager les producteurs à entreprendre un virage écologique par l'augmentation de la valeur ajoutée du produit perçue par le producteur (Fares et al., 2012b). *A contrario*, l'absence de lien d'intégration entre amont et aval d'une filière peut amener à un pouvoir de négociation plus fort de l'aval de la filière, et donc à des contrats de commercialisation de courts termes, défavorables à la transition écologique (Fares et al., 2012a).

- (ii) les agriculteurs de notre bassin versant qui utilisent plus ou moins d'herbicides car les pratiques de gestion de l'enherbement se décident surtout à l'échelle de l'exploitation pour les agriculteurs, les contraintes des parcelles n'étant pas absolues (Biarnès et al., 2009), les logiques des exploitants révèlent une partie des verrous sur les pratiques. Dans notre cadre d'analyse, les agriculteurs se trouvent à l'intersection de ces deux approches filière et territoire, agissant comme producteurs dans les filières, comme héritiers des composantes historiques du milieu, et comme acteurs de la durabilité des ressources dans le territoire. Ils font évoluer leurs systèmes de culture (ici avec plus ou moins d'herbicides) sous cette double influence (filière et territoire) en fonction de leurs ressources et des règles plus ou moins explicites qui structurent leurs actions.
- (iii) le territoire qui, à la fois, influence et est influencé par les activités agricoles, révèle des verrous d'ordre territoriaux. En effet, certaines variables du territoire, comme le type de sol ou la commune d'appartenance vont influencer les choix de pratiques des agriculteurs ; *a contrario*, les réseaux de proximité ou de filières participent également à la différenciation des pratiques de gestion de l'enherbement, ces deux types d'interactions intervenant dans l'élaboration d'éléments du paysages (forme des parcelles, positionnement des exploitations, etc.) qui construisent le territoire (Biarnès et al., 2009; Deffontaines, 2006; Deffontaines et al., 2019).

On l'a dit, les études en agronomie utilisant les outils des théories de la transition s'intéressent surtout aux filières et regardent encore peu les particularismes des territoires locaux dans lesquels s'insèrent les transitions, et ont une forte propension à ne regarder que l'échelle nationale (Belmin, 2016; Truffer and Coenen, 2012). C'est pourquoi nous avons choisi de compléter le cadre conceptuel du système sociotechnique à celui du territoire comme suit :

- Le cadre du système sociotechnique (chapitre 1, partie 3.2.1) tels que décrits par (Geels, 2004) s'organise autour : (i) des acteurs qui portent et reproduisent le régime ; (ii) des règles qui régissent leurs actions et qui sont soit formelles (ont un caractère explicite, formel comme les lois, les contrats), normatives (qui confèrent des normes, responsabilités, valeurs), ou cognitives (qui donnent sens à la réalité comme les croyances, les routines cognitives, les paradigmes technologiques) ; (iii) des artefacts, éléments matériels composant le système (machines agricoles, intrants, unité de transformation ...) qui confèrent une stabilité au régime par leur rigidité et par la force de leur complémentarité.
- Le cadre du territoire à travers ses trois dimensions (chapitre 1, partie 2.3) : (i) Matérielle : un espace doté de propriétés naturelles ou résultant de l'aménagement de l'espace par les acteurs de la société (objets rigides qui forment le territoire) ; (ii) Idéelle : une histoire et un patrimoine ainsi que les représentations et les perceptions des groupes sociaux du présent et de l'avenir de cet espace ; (iii) Organisationnelle : une entité dotée d'une organisation de ses acteurs sociaux, politiques et institutionnels et des interrelations multiples qui les lient.

A l'aide de ce cadre d'analyse, nous chercherons à déterminer l'influence des dépendances au chemin que suit le régime sociotechnique de l'agriculture martiniquaise sur la transition écologique du territoire du bassin versant du Galion. L'utilisation de ce cadre d'analyse est davantage explicitée au début du chapitre 3. Ce cadre permettra de recueillir les éléments indispensables pour le processus de conception, à savoir (i) les acteurs à intégrer dans le processus de conception, (ii) les freins technologiques, organisationnels et surtout cognitifs à l'innovation en rupture pour la première phase de conception, (iii) et les éléments du système socioécologique à modéliser dans la deuxième phase de conception.

3.2. Une méthodologie de conception originale pour concevoir des innovations à l'échelle d'un bassin versant

3.2.1. L'équipe d'animation qui a organisé et suivi l'ensemble du dispositif de conception

Tout d'abord, il convient de présenter l'équipe qui a organisé et conduit le processus de conception tout au long de la thèse.

La doctorante a été la coordinatrice du processus de conception tout au long de l'expérimentation. Elle a été accompagnée par une équipe composée d'un noyau central, c'est-à-dire qui a participé à l'animation de tous les ateliers, et d'acteurs en périphérie proche qui ont participé de différentes façons (aide dans la prise de décision, participation à l'organisation d'ateliers essais), enfin un acteur en périphérie éloignée (apport d'expertise en conception). Le Tableau 3 présente ces différents éléments de l'équipe de conception.

Tableau 3: présentation des acteurs composant l'équipe de conception

Élément de l'équipe	Occupation professionnelle	Domaine d'expertise	Rôle dans le processus de conception
Coordinatrice du processus	Doctorante	- Conception d'innovations agronomiques territoriales - Suivi de la qualité de l'eau du bassin du Galion	- génération théorique du processus de conception - organisation des ateliers - animation des ateliers - observation participante des ateliers
Noyau central	Charles Mottes, chercheur au CIRAD (encadrant)	- Modélisation des processus hydrologiques de transfert des pesticides - Animation d'un réseau de surveillance de la qualité de l'eau - Agronomie	- organisation des ateliers - animation des ateliers - observation participante des ateliers - aide à la décision dans le processus
	Assistants de recherche CIRAD - Landry Deffontaines de 2016 à mi-2018 - Roxane Anckaert fin 2018	- Etude des réseaux d'acteurs intervenant dans le changement - Pratiques de gestion de l'enherbement des agriculteurs du bassin du Galion - Suivi de la qualité de l'eau du bassin du Galion	- organisation des ateliers - animation des ateliers - observation participante des ateliers - aide à la décision dans le processus
Périphérie proche	Marianne Le Bail, chercheur AgroParisTech (directrice)	- Agronomie système - Filières - Territoires	- participation à un atelier - aide à la décision dans le processus
	Philippe Cattan, chercheur CIRAD (directeur)	- Agronomie - Hydrologie	- animation d'un atelier test - aide à la décision dans le processus
	Magalie Jannoyer, chercheur CIRAD (encadrante)	- Agronomie - Animation de réseaux d'acteurs	- animation d'un atelier test - aide à la décision dans le processus
Périphérie éloignée	Elsa Berthet, chercheur INRA	- Conception innovante en agronomie	- aide à la décision dans le processus

En Annexe 1 est présenté un journal de bord qui a été tenu tout au long du processus de conception, listant les étapes chronologiques du processus (avec la durée, les organisateurs, les participants, les animateurs, le type d'activité, l'objectif de l'étape et le lieu).

3.2.2. La première phase de conception, qui utilise les outils de la théorie C-K

La théorie C-K, présentée dans le chapitre 1 partie 3.2.3, permet de représenter un processus de conception dans son ensemble, en distinguant dans l'espace C le cheminement des idées d'innovations, et dans l'espace K l'évolution des connaissances des acteurs qui participent au processus. A partir de cette théorie, différents outils ont été développés dont certains servent à analyser un processus de conception déjà fait ou en cours, comme le diagramme C-K (Agogué et al., 2013; Le Masson et al., 2014), d'autres à entreprendre un processus de conception qui s'écartent des effets de fixation des acteurs (chapitre 1, partie 3.2.2), comme la méthode dite KCP (Knowledge, Concept, Proposition) (Agogué et al., 2013; Berthet, 2013; Le Masson et al., 2014).

A partir de ces deux outils, nous avons élaboré un processus de conception innovante qui permet de concevoir des innovations en rupture avec le dominant design (p44) identifié lors de la phase de diagnostic du système sociotechnique. Pour utiliser ces outils, la théorie C-K propose un formalisme unique de construction et de lecture de ces différents diagrammes C-K (Figure 23).

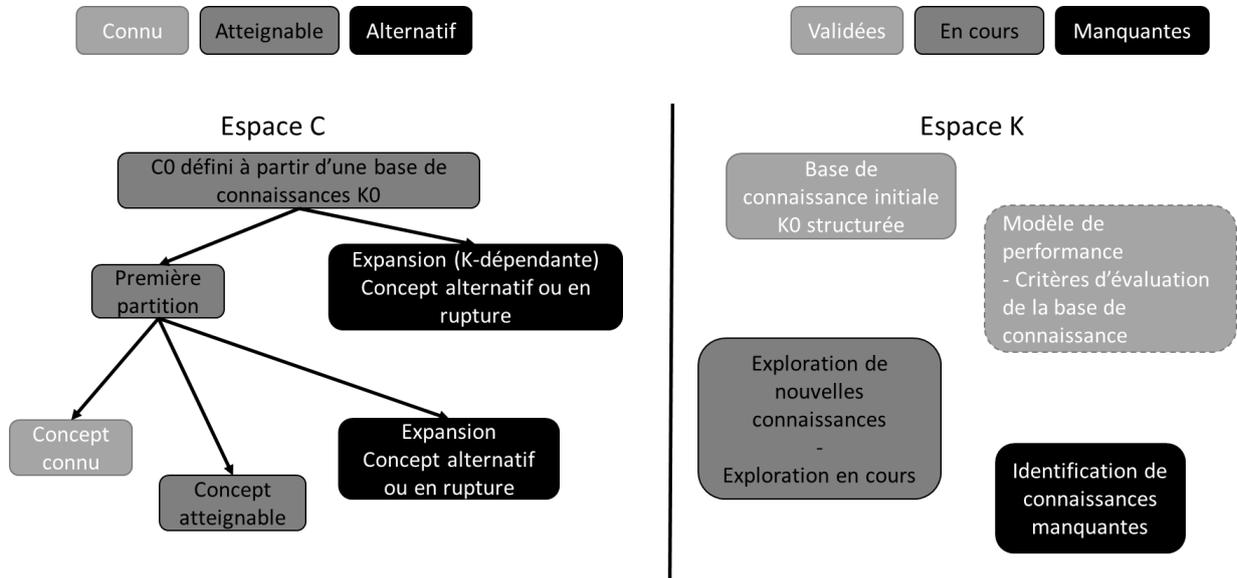


Figure 23: Diagramme C-K adapté de (Agogué et al., 2013)

Dans l'espace C des concepts, un *concept connu* renvoie à un ensemble de solutions techniques connues et bien caractérisées, un *concept atteignable* est à approfondir, et un *concept alternatif* (ou en rupture) est éloigné du dominant design des acteurs (Agogué et al., 2013). Ces 3 types de concepts sont synthétisés dans un arbre C, structuré horizontalement selon un gradient de rupture des concepts : à gauche les concepts connus, au centre les concepts atteignables, à droite les concepts en rupture. Pour l'espace des connaissances, les connaissances validées sont déjà acquises, les connaissances en cours d'acquisition font l'objet de programmes de recherches dédiés, et les connaissances manquantes sont absentes ou non actionnables par les acteurs en présence (Agogué et al., 2013). C'est à l'aide de ce formalisme que les diagrammes C-K de cette phase de conception ont été construits.

La méthode KC (voir p52) utilisée pour les deux premières phases de notre conception reproduit par étapes un raisonnement C-K pour permettre aux concepteurs de sortir des effets de fixation d'un collectif d'acteurs (Le Masson et al., 2014). Cette méthode a donné lieu à plusieurs rapport et travaux de recherche depuis 2007 qui définissent trois aspects caractéristiques (Le Masson et al., 2014). Tout d'abord, la méthode KC s'éloigne volontairement d'un processus de brainstorming, qui a tendance à accentuer les effets de fixation collectifs. Ensuite, ses mécanismes peuvent être interprétés grâce à la théorie C-K. Enfin, la méthode suppose un pilotage rigoureux par une équipe maîtrisant bien la théorie C-K.

La méthode KC permet de dépasser les difficultés que rencontrent un groupe d'acteurs à innover en rupture, qui amènent souvent le groupe à produire rapidement une vision consensuelle mais fixée (avec peu de rupture) (Le Masson et al., 2014). Pour éviter cela, le principe de la méthode est d'amener les participants à réfléchir en dehors de leurs effets de fixation, qui ont tendance à être accentués dans les séances de groupe en brainstorming, où les participants ont tendance à restreindre l'espace des connaissances à mobiliser pour l'innovation à celui partagé par tous, mais non à la somme des connaissances de chaque participant (Le Masson et al., 2014), comme illustré dans la Figure 24 à gauche.

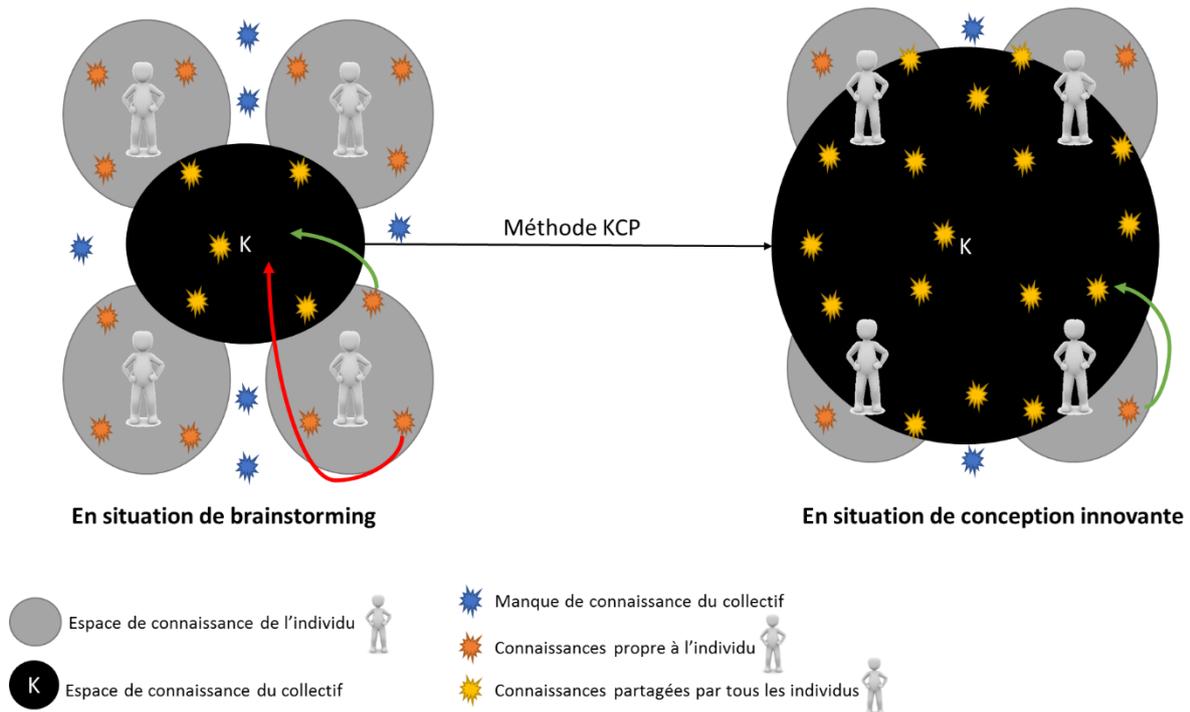


Figure 24 : interprétation personnelle de l'évolution de l'espace commun de connaissance K grâce à la méthode KC. A gauche nous sommes en situation de brainstorming où la base de connaissances commune est formée uniquement des connaissances partagées **initialement** par les participants, où les connaissances propres à l'individu demandent plus ou moins d'effort de la part de l'individu pour lui faire intégrer l'espace de connaissance commune selon la distance cognitive à cet espace (flèche verte quand la distance est parcourable, ou rouge quand la distance est trop grande), tandis qu'avec une démarche KC à droite, l'espace des connaissances s'agrandit et permet aux individus de partager plus facilement leurs connaissances propres, et permet également de pointer les manques de connaissances du collectif, que la méthode cherche à combler. Cette méthode permet ainsi d'augmenter les connaissances individuelles (sur le schéma les connaissances d'un individu sont celle de son espace personnel auquel on ajoute celles du collectif. Ainsi, on passe de 8 connaissances pour un individu en brainstorming à 18 connaissances pour un individu en conception innovante).

A la fin d'un processus KC, les acteurs ont étendu leur base de connaissance collective (Figure 24 à droite), qui est un des éléments nécessaires à la défixation des acteurs par (i) la recherche et/ou la mobilisation de nouvelles connaissances pour redéfinir l'objet, (ii) la facilité d'expression des acteurs (diminution de l'impact du jugement social et trajet cognitif raccourci pour partager ses idées et ses connaissances avec le collectif). Cette méthode permet de surmonter les effets de fixation liés à la définition de certains objets en incluant la définition des objets dans l'espace K, puis en les rediscutant rigoureusement et systématiquement dans l'espace C (Le Masson et al., 2014).

Par exemple, une jolie tasse à café est l'objet à concevoir. Dans l'espace K sont mises les connaissances relatives à cette tasse (est un contenant, de forme ronde ou carrée, avec 0 ou 1 anse). Grâce à la méthode KC, on discutera dans l'espace C cette définition en proposant un sous-concept en expansion ou partition expansive (de forme triangulaire, ou avec 3 anses par exemple). Cette remise en question de la définition de l'objet a principalement lieu pendant la phase C. Pour aider l'exploration originale dans l'espace C, il est recommandé d'utiliser des exemples provoquants, en dehors des effets de fixations. Par exemple dans sa thèse, Agogué (Agogué, 2012) a effectué un atelier de conception collective autour de C0 : « concevoir le jet d'un œuf de poule d'une hauteur de 10 mètres sans que l'œuf ne se casse », et a testé l'effet, sur deux groupes distincts de participants, d'un exemple provocant expansif (en dehors des effets de fixation) « congeler l'œuf avant de le lâcher » par rapport à l'effet d'un exemple restrictif (dans les effets de fixations) « utiliser un parachute » sur la créativité des participants. Ainsi, Agogué a pu montrer qu'un exemple restrictif a un effet de contrainte sur la créativité, alors qu'un exemple expansif a un effet de stimulation (Agogué, 2012) permettant d'aller vers des concepts en rupture. Enfin, il est possible de partitionner un concept par la négation (*une tasse qui contient un café buvable / une tasse qui contient un café **non** buvable*), qui permet des partitions expansives ((Le Masson et al., 2014).

3.2.2.1. *Elaboration du référentiel C-K à partir des diagrammes de rétroaction du régime sociotechnique, point de départ de la conception*

Cette partie de la méthode est davantage explicitée en début de chapitre 4.

Un référentiel C-K est une cartographie de l'état de l'art actuel concernant l'objet à concevoir, distinguant les voies d'innovation connues et inconnues, qui positionne les projets existants, mais aussi ceux susceptibles d'émerger (Agogué et al., 2013). Il permet également de discuter les voies classiquement empruntées pour concevoir l'objet en proposant des expansions possibles aux acteurs (Agogué et al., 2013). Cet outil est utilisé pour augmenter les capacités d'innovation des acteurs.

Pour le réaliser, nous avons tout d'abord établi les diagrammes C-K du dominant design des filières agricoles, dans lequel opèrent les acteurs de l'innovation en gestion de l'enherbement qui interviennent sur le conseil et la recherche dans ce domaine, et qui sont en lien avec les agriculteurs du bassin versant du Galion. Ces diagrammes avaient pour objectifs de reconstituer, *a posteriori*, les voies d'innovation explorées par les acteurs depuis une dizaine d'années. Comme pour le travail de thèse de (Berthet, 2013), nous avons adopté une posture d'observation *ex-post* des projets de recherche et des raisonnements tenus par les acteurs. Ces diagrammes rétroactifs ont été élaborés à partir des résultats du diagnostic sociotechnique précédent.

Enfin, pour réaliser le référentiel C-K, nous avons distingué les raisonnements sous-jacents des acteurs qui jalonnent leurs diagrammes rétroactifs, et qui concernent spécifiquement l'objet C0 que l'on cherche à concevoir dans cette thèse, à savoir : Un bassin versant avec peu d'herbicide agricole dans sa rivière.

3.2.2.2. Premier atelier de conception : atelier K de partage des connaissances existantes et manquantes

Cette partie de la méthode est davantage explicitée en début de chapitre 4.

Cette phase est nécessaire pour préparer l'émergence de concepts en rupture dans la phase C suivante (Le Masson et al., 2014). Elle a pour but de construire une base de connaissance permettant la défixation du collectif d'acteurs, c'est-à-dire qui favorisera par la suite l'émergence de concept alternatif ou en rupture (Le Masson et al., 2014). Mais il faut faire attention à ce que cette phase ne consiste pas en un simple partage de connaissances entre acteurs, qui aurait tendance à accentuer les effets de fixation en renforçant l'identité/la définition des objets « *sans ouvrir d'espace pour les ruptures possibles* » (Le Masson et al., 2014). Cette base de connaissance doit pouvoir éroder les idées reçues et définitions trop fixées des objets, tout en constituant un « *terreau cognitif commun suffisamment riche pour que la formation de nouveaux concepts s'effectue ensuite aisément* » (Le Masson et al., 2014).

Tout d'abord, cette phase ne doit comporter aucun effort de conception pour éviter la recherche précipitée de solutions qui aboutirait très certainement à un consensus rapide, émanant d'effets de fixation collectifs (Le Masson et al., 2014).

Ensuite, il s'agit de choisir avec soin les connaissances à partager. Il faut montrer que nous sommes actuellement dans une impasse avec les solutions actuelles, et orienter vers de nouveaux potentiels de développement. C'est pourquoi cette phase consiste également à pointer les manques de connaissances du collectif, qu'il serait nécessaire de créer ou d'aller chercher afin de rediscuter la définition de notre objet à concevoir.

Pour choisir les connaissances à partager, il convient de s'aider du référentiel C-K (Le Masson et al., 2014). Ces connaissances font ensuite l'objet de présentation d'experts qui doivent lister (i) les connaissances actuelles, (ii) les manques de connaissances actuelles ou questions en suspens, (iii) des exemples provocants dans leur thème, permettant une première défixation des acteurs.

A l'issue de la phase K, l'équipe d'animation doit être capable de recenser (i) les nouvelles connaissances apportées par les experts et les autres membres du collectif, qui réorganisent l'espace K, (ii) les manques de connaissances du collectif, (iii) de nouvelles pistes en rupture. Ces éléments doivent ensuite permettre l'émergence de concepts novateurs (Berthet, 2013; Le Masson et al., 2014).

3.2.2.3. Seconde étape de conception : les ateliers d'exploration d'idées nouvelles, qui s'éloignent des connaissances et des voies d'explorations habituelles de conception des acteurs

Cette partie de la méthode est davantage explicitée en début de chapitre 4.

Cette étape de conception « *organise une phase de créativité dirigée selon des règles précises* » (Le Masson et al., 2014). Cette phase s'organise en petits groupes de réflexion dirigée, à partir de « *concepts projecteurs* » (Le Masson et al., 2014). Ces concepts ont pour objectif de stimuler l'exploration de voies en rupture avec le dominant design (Agogué et al., 2013).

Ces concepts projecteurs sont donc clés dans ces ateliers. C'est par eux que démarre la réflexion des groupes d'exploration. Afin de ne pas renforcer les effets de fixation, leur construction ne doit pas être laissée au hasard, et les théoriciens de la théorie C-K nous donnent quelques pistes (Le Masson et al., 2014) :

- Repérage dans atelier K de concepts spontanés émergents : proposition originale des participants, ou à partir de tensions repérées sur l'objet C0
- Construction de concepts projecteurs à partir du référentiel C-K. Pour cela, il s'agit de prendre un élément du C0 puis de lui ajouter une caractéristique soit en parure, soit en pointe :
 - o La pointe ajoute une *propriété P* qui déstabilise l'objet (ex : un cockpit *hors de l'avion*)
 - o La parure conserve l'identité de l'objet et l'enrichit en lui ajoutant une *dimension* (ex : une station de bus de nuit *rassurante*)

Au cours de ces ateliers, les participants doivent proposer des idées d'innovations en rapport avec le concept projecteur. Pour maximiser le potentiel de créativité en dehors des effets de fixation, les ateliers peuvent être pilotés par un animateur spécialiste en C-K et qui a connaissance des effets de fixation des acteurs (Ezzat, 2017; Le Masson et al., 2014). Grâce à ces deux types de connaissance, l'animateur peut favoriser la rupture en réorientant régulièrement les acteurs, mêmes de façon implicite, vers des raisonnements en rupture à l'aide d'exemples provocants, de questions qui rediscutent une partie du concept projecteur, en insistant sur une idée originale apparue dans le groupe de réflexion (Ezzat, 2017; Le Masson et al., 2014).

Pour identifier les effets de fixation (i) existants et (ii) potentiels des acteurs pendant la phase C, il est nécessaire que l'animateur (i) ait connaissance du référentiel C-K de l'objet à concevoir, (ii) et qu'il ait auparavant exploré par lui-même le concept projecteur.

Dans notre processus de conception nous avons procédé à la phase C avec 3 sous-groupes de 5 à 6 personnes, en réflexion dirigée par un animateur membre de l'équipe de conception. Chaque participant a rempli une fiche évaluation de l'atelier (Annexe 2).

Le choix de la constitution des groupes s'est fait selon (i) les résultats du diagnostic sociotechnique nous informant sur les relations entre les acteurs et leurs représentations, (ii) notre volonté de donner un maximum de voix aux agriculteurs.

En effet, beaucoup d'études soulignent l'importance de l'échange entre agriculteurs, les pairs étant la source de savoir la plus utilisée par les agriculteurs (Daouda, 2015; Dolinska and d'Aquino, 2016; Lamine, 2012). L'exemple des communautés de pratiques, ces groupes de discussion entre agriculteurs, montre que le groupe de pairs est un terrain privilégié pour l'apprentissage et le partage de connaissances entre agriculteurs (Dionnet et al., 2013; Dolinska and d'Aquino, 2016; Goulet, 2013). Associé au paradigme encore trop présent de l'innovation top-down, nous décidons d'une part d'inclure le maximum d'agriculteurs mobilisables pour rééquilibrer le rapport de force entre les agriculteurs et les autres acteurs, mais également nous souhaitons former un groupe d'exploration uniquement avec des agriculteurs. Les autres groupes seront formés selon (i) le lien entre l'acteur et le concept à explorer, (ii) les qualités relationnelles entre les acteurs pour instaurer un climat propice aux échanges.

Pour établir que la phase C a été un succès, il faut qu'à l'issue des ateliers les acteurs aient proposé des concepts nouveaux et en rupture avec le dominant design, qui s'inscrivent dans l'exploration de voies en rupture du référentiel C-K de l'objet C0 initial à concevoir. Le concept innovant doit être un minimum caractérisé pour permettre son remplacement dans le référentiel C-K, à l'aide de sa définition générale, ou de la valeur nouvelle qu'il porte (Agogué et al., 2013).

3.2.2.4. Evaluation d'une phase de conception innovante

Parmi les attendus d'un processus de conception innovante, on s'intéressera particulièrement aux attendus (i) méthodologiques qui permettent la révision des définitions de l'objet C0, (ii) et cognitifs qui permettent de surmonter les effets de fixation (Le Masson et al., 2014). Une bonne exploration en conception innovante doit réaliser des arbres de concepts équilibrés, c'est-à-dire une exploration large, et la création de nouvelles connaissances (Le Masson et al., 2014). Pour juger de cela, les théoriciens de la conception innovante ont distingué deux familles de critères, associés aux espaces K et C (Le Masson et al., 2014) :

- Critères associés à l'espace K : la valeur représente la capacité à créer de nouvelles connaissances sur les acteurs et leurs objectifs, donc la capacité à identifier un nouveau critère d'évaluation sur l'objet C0. Ensuite on évalue la robustesse, à savoir l'enrichissement des solutions potentielles par l'apport de connaissances permettant d'assurer la fiabilité des concepts émergents.
- Critères associés à l'espace C : la variété se mesure au nombre de partitions (donc de branches), réparties dans de nombreuses directions. Ensuite, on observe l'originalité sur le nombre de partitions expansives.

Nous utiliserons les critères définis ici pour évaluer le processus de conception innovante utilisé dans la thèse. Les nouveaux critères d'évaluation établis dans l'espace K s'ajouteront à l'objectif initial de réduction de la pollution herbicide dans la rivière, et serviront ensuite à juger de la pertinence des solutions émises à l'issue du jeu sérieux.

3.2.3. La deuxième phase de conception qui utilise la méthode de jeu sérieux

Outils inspirés par la modélisation d'accompagnement

Pour cette phase de conception, nous nous sommes fortement inspirés des outils de la méthode de la modélisation d'accompagnement (Bousquet et al., 2010).

La modélisation conceptuelle du système socioécologique étudié se fait le plus souvent via la méthode ARDI (Acteurs, Ressources, Dynamiques, Interactions) développée par Michel Etienne à partir de cas empiriques de démarches ComMod (Etienne, 2009). Cette méthode repose sur l'explicitation, avec les acteurs, de 4 types de relations au sein du système, formant 4 étapes d'explicitation du modèle conceptuel du système étudié (Etienne, 2015, 2009):

- Diagramme des acteurs et des entités de gestion : consiste à lister les acteurs (directs et indirects) concernés par la question, leurs liens et leurs entités de gestion
- Diagramme des ressources : consiste à lister les ressources du territoire déterminantes par rapport à la question posée qui sont mobilisées par les acteurs du territoire, ainsi que les indicateurs de valeur (quantitatif ou qualitatif). Sont citées également les ressources fonctionnant comme variables exogènes mais déterminantes dans le fonctionnement du système
- Diagramme des dynamiques : consiste à lister les processus déterminants dans les principaux changements actuels et à venir du système, selon les trois classes écologiques, social, économique et parfois politique
- Diagramme des interactions : consiste à synthétiser les trois étapes précédentes en explicitant comment les acteurs utilisent les ressources. Une interaction est modélisée par une flèche associée à un verbe qui précise le type d'action, associée au type d'information utilisée par les acteurs pour prendre leur décision

Ces 4 étapes permettent d'objectiver le système étudié selon les différentes représentations qu'en ont les acteurs.

Le deuxième élément important qui ressort des démarches ComMod est l'implémentation de ce système dans un support intermédiaire (jeux de rôles le plus souvent, ou simulations informatiques interactives) afin de faire interagir les acteurs avec ce monde virtuel et aider la prise de décision et le dialogue entre acteurs.

L'interaction entre les acteurs et le modèle du système étudié intervient dans un processus d'aide à la décision dans un système complexe où « *l'objectif n'est pas de produire une décision ou un résultat définitif, mais d'enrichir le processus qui mène à cette décision, et ce par un travail d'explicitation et de confrontation constructive des points de vue et critères subjectifs auxquels se réfèrent les différentes parties prenantes* » (Barnaud, 2008). Aussi, l'interaction entre le support intermédiaire et les acteurs a deux fonctions : celle de produire de la connaissance sur un système complexe, et celle d'appuyer la prise de décision.

Selon lequel de ces objectifs est prioritaire dans la démarche mise en place, la question méthodologique sera différente, bien que dans les deux cas il y aura production de connaissances (Collectif ComMod, 2005). C'est pourquoi il est important pour le chercheur d'explicitier ses objectifs, ce qui va conditionner la façon dont il va se positionner par rapport au système (Barnaud, 2008). Dans notre cas, nous chercherons davantage à produire des connaissances sur le système complexe, pour déterminer les conditions de succès des innovations dans la réduction de la pollution herbicide de la rivière du Galion.

Le jeu sérieux dans notre dispositif de conception

Cette partie de la méthode est davantage explicitée en début de chapitre 5.

La démarche ComMod allie la mise en relation d'un certain nombre d'individus dans la gestion d'une ou plusieurs ressources, à des artefacts qui représentent les enjeux de gestion de ces ressources, notamment des modèles qui proposent un monde virtuel pouvant servir de support de réflexion (Barreteau et al., 2010). Ces modèles sont focalisés sur l'interface entre la dynamique des ressources et les dynamiques d'usages de ces ressources (Barreteau et al., 2010), ce qui peut permettre la modélisation des interactions de notre système socioécologique.

Avec l'équipe de conception, nous avons réuni nos connaissances issues du diagnostic sociotechnique, associées aux compétences de modélisation d'un membre de l'équipe (Charles Mottes), et nous avons réalisé plusieurs sessions de travail (voir tableau de bord Annexe 1) afin de réaliser un modèle ARDI selon la méthode préconisée par (Etienne, 2015, 2009), présentée précédemment. A ce modèle, nous avons ajouté les solutions innovantes issues des ateliers C d'exploration, afin de faciliter leur implémentation ensuite dans le jeu. Le choix s'est fait sur deux critères : (i) le degré de rupture par rapport à notre référentiel C-K et donc par rapport aux solutions explorées jusque-là par les acteurs, (ii) la représentation des différentes branches du référentiel C-K.

Puis nous avons implémenté ce modèle conceptuel, assorti de ces innovations, en un jeu de rôle. Nous avons réalisé une session participative de ce jeu avec les acteurs qui interviennent dans l'élaboration du C0 afin de discuter de la mise en place de ces innovations sur le territoire du bassin versant, au regard de leurs interactions avec le reste du système socioécologique.

Enfin, nous avons évalué les résultats produits d'après (i) leur capacité à répondre à l'objectif principal de réduction des herbicides dans l'eau de rivière, (ii) leur capacité à répondre aux nouveaux critères d'évaluation ayant émergé dans l'espace K.

Chapitre 3 : Un diagnostic du système sociotechnique et de ses effets sur les innovations développées au sein du bassin versant du Galion

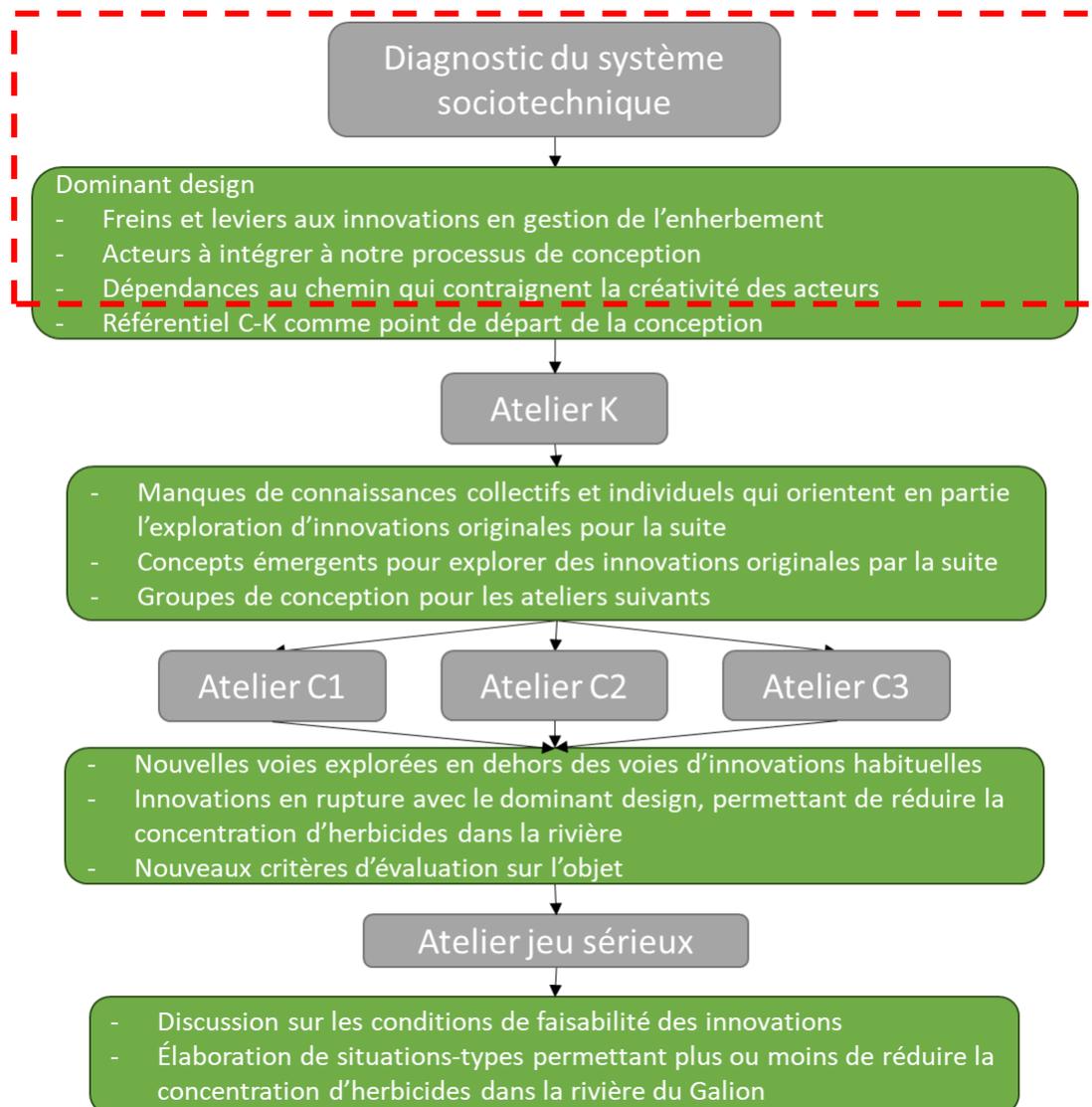


Figure 25: position du chapitre 3 dans le processus expérimental de la thèse

Ce chapitre est présenté sous la forme d'un article accepté le 2 décembre 2019 pour publication (avec révisions mineures) dans la revue *Agronomy for Sustainable Development*. Il est précédé par un tableau qui recense les acteurs interrogés pour l'étude (Tableau 4). Il est suivi par l'analyse de deux autres innovations complémentaires de celle étudiée dans la publication, qui approfondissent le paysage de l'innovation agricole en gestion de l'enherbement en Martinique (partie 4), et par une analyse des conséquences pour le bassin du Galion des freins et leviers identifiés dans l'article (partie 5).

Pour faciliter la lecture, nous mettons ici un tableau des entretiens des acteurs retenus pour le diagnostic selon le type d'acteur et le nom de l'organisme (voir partie 0 suivante) en fonction de l'année d'entretien et du nom donné dans l'article en anglais (Tableau 4).

Tableau 4: liste des acteurs interrogés pour l'analyse du régime sociotechnique de l'utilisation d'herbicide sur la bassin versant du Galion

Type d'acteur	Nom de l'organisme et fonction principale	Année(s) d'entretien ⁶ (enquêteur)	Nom donné dans l'article
Agriculteurs du bassin versant	12 agriculteurs en banane export 9 agriculteurs de canne 11 agriculteurs en agriculture diversifiée	2016 (Landry Deffontaines)	Farmers (Export banana, Sugarcane, diversified)
Union des groupements de producteurs de banane	UGPBAN (Union des groupes de producteurs de banane)	2016 (Julien Legouix)	FPGB (federation of producers groups of banana)
Groupements de producteurs ⁷	Banamart (groupement des producteurs de banane) Canne Union (groupement des producteurs de canne)	2016 (Landry Deffontaines) et 2017 (doctorante)	POB (producer group of banana) POS (producer group of sugarcane)
Distributeurs d'intrants agricoles	Phytocenter (distributeur de produits phytosanitaires et de semences de plantes de couverture) SCIC (distributeurs de produits phytosanitaire et davantage de fertilisants)	2017 (doctorante)	Distributors of agricultural inputs
Instituts techniques	IT2 (Institut Technique Tropical, possède deux départements : banane et diversification) CTCS (Centre Technique de la Canne et du Sucre) SEA (Service d'Expérimentation en Agroécologie de la Collectivité Territoriale de Martinique)	2016 (Landry Deffontaines) et 2017 (Julien Legouix, doctorante)	TIB (technical institute of banana) TIS (technical institute of sugarcane) MTA's Agroecological Experiments Service
Chambre d'Agriculture	Chambre d'Agriculture, coordonne le Projet Ecophyto ⁸ et le Réseau DEPHY ⁹ canne et diversification	2017 (Julien Legouix doctorante)	Agricultural chamber
Centre de recherche en Agronomie	CIRAD (Centre de recherche en Agronomie pour le Développement), deux unités de recherche en Martinique, banane et diversification	Participation de la doctorante aux animations scientifiques et discussions informelles (2016-2018)	Research centre
Grande distribution	Carrefour (Paris)	Julien Legouix (2017)	Medium and mass distribution
Marché local	MaNA (Marché Nord Atlantique)	2016 (Landry Deffontaines)	<i>Non mentionné dans l'article</i>
Transformateurs de canne	Deux agriculteurs-transformateurs en Agriculture Biologique (hors bassin versant)	2017 (doctorante)	Sugar cane and rum producers
Contrat de la rivière du Galion	Cap Nord Martinique (communauté de commune en charge de l'animation du contrat)	2017 (doctorante)	River contract
Agence de surveillance de la qualité de l'eau	ODE (office de l'Eau de la Martinique)	2017 (doctorante)	Water manager
Agence gouvernementale chargée du développement agricole	DAAF (Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt de Martinique) CTM (Collectivité Territoriale de Martinique)	2017 (Julien Legouix) Non interrogé	Agricultural state department Martinique territorial authorities

⁶ Les acteurs ont pu être interrogés plusieurs fois, ou plusieurs acteurs ont pu être interrogés par organisme

⁷ Les groupements de producteurs en diversification ont été contactés mais n'ont pas répondu positivement

⁸ Plan gouvernemental pour la réduction de l'usage des pesticides (objectif -50% en 2018)

⁹ Action du plan Ecophyto qui regroupe des agriculteurs engagés volontairement dans la réduction d'usage de pesticides, accompagnés par une animation spécifique de la Chambre d'Agriculture

Innovations developed within supply chains hinder territorial ecological transition: the case of a watershed in Martinique¹⁰

Key words: pollution, watershed, weed management, socio technical system, Martinique

Abstract

Some chemical herbicides used by farmers in Martinique contaminate rivers. Agroecological innovations exist; some of them are known by the stakeholders but not systematically adopted at the scale of the watersheds concerned. Our hypothesis is that sociotechnical system of agricultural supply chains built during the last thirty years restrict innovations for herbicide use in weed management systems, locking the sustainable transition of territories. The sociotechnical system theory was chosen as the analysis framework to bring out hindrances and obstacles in supply chains. As the issue cut across the supply chains on a territory scale, this framework was completed, for the first time, by a study of the links existing between supply chain innovation strategies and the territory through its spatial, organizational and conceptual dimensions. Interviews with the supply chain actors and a review of the grey literature were studied through this framework. We showed that the development of innovations, their type and how they were accompanied were defined within each supply chains, according to their own objectives, with few exchanges on all levels of the territory. The efficiency of such development depended on how much the supply chains were structured and, particularly, on their degree of integration and the intensity of relationships between stakeholders. Indeed, objectives on a watershed scale are not always explicitly taken into account in changes of practice. For the first time, by this way we identified lock-in to overcome to facilitate the design of innovations taking into account the objectives of the impact area (watershed) across supply chains.

Key words: pollution, watershed, weed management, socio technical system, Martinique

¹⁰ Les auteurs : Pauline Della Rossa, Marianne Le Bail, Charles Mottes, Magalie Jannoyer, Philippe Cattan

Introduction

Herbicides are the most used pesticides worldwide (Duke et al., 2018). Herbicides seriously contaminate water by filtration processes to aquifers (Rodriguez G and Araujo Leon, 2018) and surface flows to rivers (Masiol et al., 2018). Water decontamination processes exist (Maroušek et al., 2019), but are expensive, so upstream contamination through the use of herbicides in agricultural production needs to be avoided. Reducing their use is not simple, as the contributions of research to weed control remain dominantly chemical (Harker and O'Donovan, 2013). Agricultural innovations that reduce herbicide use do exist, but do not appear to be able to establish themselves durably in the cropping systems, as suggested by the stability of herbicide consumption in France (Dubois and Parisse, 2017). This context raises the question of how to modify agricultural practices to reduce technical environmental impacts. The agronomy innovation literature mainly concerns technical changes at the plot scale, and fails to consider the institutional and political dimensions of crop protection between regional and national levels (Schut et al., 2014). Therefore, reducing the negative impacts of agriculture, such as herbicide pollution of rivers, occurs at territorial scales.

Transition theories consider both sociotechnical systems whose study focuses on areas that fulfil particular societal functions, in our case, agriculture, and also innovation systems by studying actors involved in innovation (Markard et al., 2012). In work on practice changes in agriculture, technological lock-in (Cowan and Gunby, 1996), followed by sociotechnical transition (Geels 2004) frameworks has been used to identify lock-in mechanisms of the “dominant regime”, against certain practices despite their being identified as favourable to system sustainability. According to Geels (Geels, 2004), a “dominant regime” is a system of rules, actors and material artefacts that apply to an entire sector of activity (in our case a supply chain). Rules govern relations between the elements of sociotechnical regime (such as actors–people–and artefacts–objects–). They are either formal (laws, contracts), normative (standards, responsibilities, values) or cognitive (beliefs, cognitive routines, technological paradigms). The alignment of these rules stabilises the regime. The rules have been progressively shaped by interactions between the different actors participating in the sociotechnical regime. This creates a path dependence mechanism (David, 1985) as the initial choices are reinforced over time through the interactions which stabilise common rules. This system reinforces itself resulting in locking phenomena which prevent radical innovations. A transition can occur when the regime is destabilised, which opens up opportunities for radical innovations. Due to path dependence, farming practices evolve in response to triggering events (Sutherland et al., 2012).

The analysis of sociotechnical transition has mostly concerned the development of innovative cultural practice or group of practices as genetic engineering (Vanloqueren and Baret, 2009), permaculture (Ingram, 2018), etc. or innovative interactions between production and downstream supply chain as Geographical Indications (Belmin et al., 2017).

These studies show that barriers to transition are interconnected, occurring at every link in the value chain (Meynard et al., 2018), but do not examine the impact of these barriers on the ecological transition of a territory. Introducing environmental questions, such as the quality of water courses, requires considering the territory in its economic, social and environmental context to enable coherent and sustainable development according to the definition of (Emas, 2015). This differs the conventional approach to sociotechnical systems, by the way of the dynamics of regimes and their disruptions, which, according to Duru et al (Duru et al., 2015), poorly accounts for collective management of environmental resources. Indeed, supply chains use resources of territories, but do not always take environmental impacts into account (Madelrieux et al., 2017a), because current methods of scaling agronomic innovations do not take into account the interactions between biophysical and social, economic and institutional factors, which regularly result in negative environmental impacts, such as river pollution. (Wigboldus et al., 2016). This is the reason why, seeking and understanding interactions between supply chains and territories stands as a remaining challenge for research.

A territory is a geographical concept we studied based on a watershed. A watershed is a geographical area implying differentiation and spatial coordination of practices, linked by continuous hydrological processes linking the farm to the river (Soulard, 2005). The territory can be read through three dimensions (Laganier et al., 2002) : (i) Material, as an area endowed with properties that are natural or result from development of the area by actors in society ; (ii) Conceptual, as a history and heritage, along with the representations and perceptions of social groups of the present and of the future of that area; (iii) Organizational, as an entity endowed with an organization of its political and institutional actors, and of the multiple interrelations linking them.

Reducing herbicide pollution in water lends itself well to considering the territorial dimension where the watershed in all its aspects and the supply chains meet and oppose each other by combining actors, artefacts and specific rules: in a watershed, water quality is at stake (impacts), while technical and economic choices (pressures) occur in the supply chains. The aim of this study was to understand how the components of the regime prevailing in the sectors held back innovations for more sustainable weed management systems to reduce the use of herbicides in that territory. Our hypothesis is that the dominant regime of herbicide use is driven by supply chains objectives, blocking other regimes from radical innovations using less herbicides and therefore blocking the sustainable transition of territories. (Madelrieux et al., 2017a). The study of the changes in agricultural practices makes it possible to understand how certain types of projects, in our case territorial development projects, succeed or fail in influencing changes in agricultural practices (Sutherland et al., 2012).

The work was undertaken in a watershed in Martinique where Della Rossa et al (Della Rossa et al., 2017) previously demonstrated the relevance of the watershed scale to explain the chronic pesticides pollution.

In similar context, Mottes et al (Mottes et al., 2017) showed that herbicides were so intensively applied at watershed scale that they results in water pollution. The tropical conditions worsen weed problems and pollution levels in water are high.

The rest of the paper is organised as follows: first, we present our analytical framework and the characteristics of the study area, and then break our results down into two major parts. One part analyses diversity of practices according to (a) how farmers use herbicides, (b) which actors influence farmers' decisions to manage weeds and the relations between actors, (c) the rules and artefacts which maintain the current levels of herbicide use. The second part examines the case of a current innovation to show how interweaving of the components in the sociotechnical regime hold back innovation in weed management, and suggests some levers for novel alternatives to herbicides in the watershed (Fig 26).

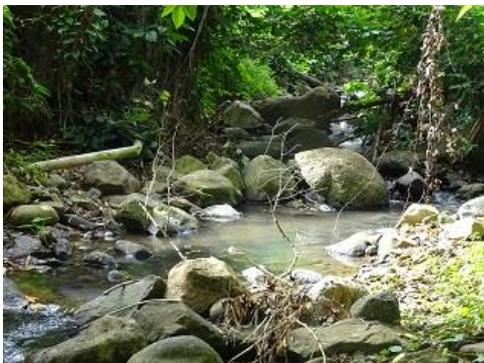


Figure 26: the quality of the river is affected by herbicides practices over the watershed. Pollution diffuses leads us to highlight lock-in effects for ecological transition, at the scale of a territory. We want to know if objectives of supply chains meet the objectives of territories for innovation design in weed management.

1. Material and method

1.1. Analysis framework

In this study, we focused on a system composed of a watershed; the farmers who grow banana, cane and garden vegetables; and the components of the supply chains which place the agricultural products from the watershed on the markets.

Farmers are at the intersection of supply chains and the territory as producers in the supply chains and as actors in the sustainability of the territory's resources. Under this double influence, they change their cropping systems (in our case using more or less herbicide) depending on their resources and on the rules which structure their actions.

To highlight lock-in aspects of the regime of herbicide use on farms, we chose a framework combining sociotechnical and territorial conceptual frameworks (see Table 5).

We saw that the elements of the sociotechnical framework regime according to Geels and the elements of the territory framework shared certain feature the following: the actors correspond to the organisational dimension of the territories; artefacts on the material dimension of territories and rules on the conceptual dimension of territories (Table 5). Our analysis of the actors, artefact and rules can be applied to the two analytical frameworks we used to study our system.

Table 5: Conceptual analysis framework

	Sociotechnical Framework		
	Actors and relations	Artifacts	Rules
Supply chains	<ul style="list-style-type: none"> - upstream actors (production) to downstream actors (consumers) of the supply chains and their relations - decision-making centres 	<ul style="list-style-type: none"> - material complementarity with other activities (economic, waste recycling, energy, etc.) - supply area and distance: chemical inputs including herbicide, farming equipment, financial aid 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>regulative rules</u>: technical standards and specifications on production, formal technological regulations (legislation, etc.), rules structuring the circulation of information, market construction (quality rules, market subsidies, etc.) - <u>normative rules</u>: gearing of research programmes and procedures for reading and validating scientific knowledge - <u>cognitive rules</u>: technological frameworks and paradigms, symbolic meaning of technologies, ideas on impacts
Farmers	<ul style="list-style-type: none"> - farmers in the watershed and their relations with actors in the territory and in research, and actors in the supply chain - supply area and distance 	<ul style="list-style-type: none"> - cropping systems, farming calendars - materials used: inputs (herbicide), farming equipment, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>regulative rules</u>: technical standards and regulations on production - <u>normative rules</u>: cultural rules of society, how consumers interact with farmers, general objectives guiding farmers - <u>cognitive rules</u>: major principles, habits, symbolic meaning of technologies, technological framework, ideas on impacts, criteria and methods for knowledge production, representation of agricultural processes linked to weeds and their management
Territory	<ul style="list-style-type: none"> - social, political and institutional actors and the multiple interrelations linking those who make decisions, perceive and plan - economic impacts on the territory: activities created, financial wealth created, economic partnerships, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> - local resources used: water, soil, labour, etc. - environmental impacts on resources: pollution (of water), optimum use of resources, conservation or creation of resources 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>regulative rules</u>: formal frameworks encompassing legislative processes (pesticide regulation, subsidy programmes, agricultural development programmes, territorial development programmes) - <u>normative rules</u>: political aims, framework of interaction between the sector and the government, cultural values of society, production of cultural symbols, citizens' expectations - <u>cognitive rules</u>: priorities, beliefs in the effectiveness of instruments and guiding principles, thought paradigms, symbolic meaning of technologies, ideas on impacts
	Organizational dimension	Material dimension	Conceptual dimension
	Territory Framework		

We defined the rules, actors and artefacts at the watershed scale for the three components of our system, i.e. the supply chains, the farmers and the territory.

The supply chain is studied not only through (i) its networks of actors who control crop production, and the distribution of added value, but also the dissemination of information between actors, up to the farmers; (ii) the accessibility of artefacts which controls technical choices; (iii) the alignment of the rules around the objectives of the most influential actors in the sector.

The farmers are studied through (i) their networks of actors, linked to their supply chains and also their relations with other farmers in their vicinity who may influence their decisions; (ii) their material artefacts which require investment and hence longterm use, and conditioning new activities to be complementary or not interfering with the use of artefacts; (iii) the alignment of the rules in order to fulfil their operating objectives.

The territory is studied through (i) the actors specific to its development, related to the actors of the agricultural sector to a greater or lesser extent, (ii) the territories natural resources and the activities that can influence them, (iii) the alignment of the rules needed to meet territorial objectives. The diagram (Figure 27) shows the meta-coordinations of the sociotechnical regime according to Geels (Geels, 2004), who distinguishes technological, user and market, socio-cultural, policy and science sub-regimes, building the dominant regime through their meta-coordination. Four scales of action are defined: the farm, the watershed, the department of Martinique and the outside of the island.

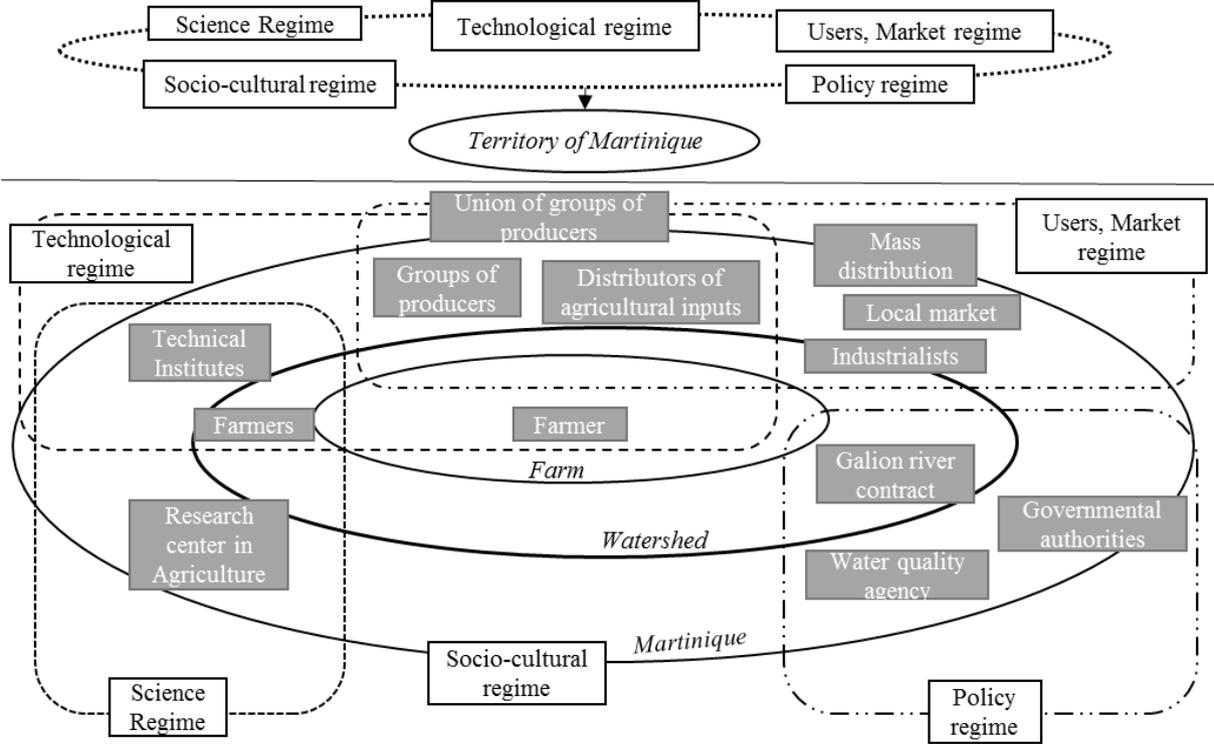


Figure 27: Diagram of our regime's actors according to their scale of action (farm, watershed, Martinique, Continental France), and to their meta-coordination in the dominant regime from (Geels 2004).

Sub-regimes are transverse to scales and most actors are not present in the watershed, but have an influence on it. Consequently, the actors we studied are beyond the watershed scale, and we have to study the sociotechnical regime at the scale of Martinique to understand its impact on the watershed.

1.2. Data acquisition

Study area

This work was conducted in the Galion watershed of Martinique for three reasons. First, because it involves a river contract, an essential integrative project that, according to Boiffin et al (Boiffin et al., 2014), is essential to develop organizational dimension at the territory scale; second, because major agro-pedo-climatic conditions of Martinique are represented on this watershed; and third, because river pollution by pesticides is monitored (OPALE observatory, (Mottes et al., 2019)).

The Galion watershed (45 km²) is located on the northern Atlantic side of Martinique. It splits into three agro-pedo-climatic zones. The upstream zone is typified by steep slopes, high rainfall (4,500 mm.y⁻¹), young volcanic soils (andosols) and, in particular, so-called diversified farming (diverse food crops for the local market) on small areas. The middle zone is typified by steep to moderate slopes, the existence of medium-sized farms specialized in banana (*Musa accuminata*), and some small diversified farms, with moderate rainfall (3,500 mm y⁻¹) and intergrade soils between andosol and ferralsol. The downstream zone of the watershed is typified by an alluvial plain, the existence of a large mechanized sugarcane (*Saccharum officinarum*) and banana farm, with a few steep slopes on which some small, non-mechanized sugarcane farms can be found, with low rainfall (1,500 mm y⁻¹), and mainly ferralsol. The 1,000 hectares farmed in the Galion watershed by 141 farmers broke down as follows: 45% were cropped with export banana (500 ha for 21 farms), 35% with sugarcane (370 ha for 38 farms) and the remaining 20% were small farms (under 4 ha, 82 farms for 130 ha) practising so-called diversification farming.

Actors in the Galion watershed have signed a technical and financial agreement for sustainable management at the scale of a coherent hydrographic unit, here the watershed. This type of territorial development programme is called a river contract. The Galion river contract is unique in Martinique and brings together 30 actors in the agricultural, industrial or institutional sectors. Its main objective is to improve the quality of the Galion River.

Sampling and surveys

We identified the actors of the Martinique farming sector and of the territory, linked to herbicide use and water quality, in two participatory workshops (17 people from technical institutes, territorial management, producer organisations, supply chains, interbranch and state institutions and research). We conducted semi-directive interviews with these stakeholders and farmers in the watershed between 2014 and 2017 (23 surveys for famers in the Galion watershed, 9 export banana, 7 diversified, 7 sugarcane, 22 surveys of actors from the farming and territorial sectors comprising 1 research centre, 7 technical institutes, 4 producer groups, 1 pesticide distributors, 1 water manager, 2 State organizations, 1 territorial innovation service). Some actors were interviewed more than once. The interviews sought to discover the following:

- Quantitative aspects of herbicide use (quantity of herbicide active ingredients in g. ha⁻¹) used on farms located on the watershed
- The relations between actors within their networks, and their effects on changes in weed management practices among farmers in our watershed
- The obstacles and levers for technical innovation arising from rules governing Martinique's farming sector

A detailed analysis of the grey literature completed the information from the interviews. In the grey references (see table 6), we studied 5 topics: supply chains (Evaluation of the Sustainable Banana Plan 1, Specifications of the certification in supply chains (GlobalGap, AOC rum, Organic Agriculture, supply chains contracts), farmers (Technical documentation by supply chain on agricultural systems in Martinique, thematic files on agriculture in Martinique by sector) and territory (Programs and guidelines for agricultural development promoted by the State, European Development Programs for the outermost regions of the European Union, water quality information, Galion river contract).

We derived normative, formal and cognitive rules from these documents and from actor's interviews.

Table 6: Major Websites for the documents available online

Specification of the certification in supply chains	<p>Global Gap: https://www.globalgap.org/uk_en/for-producers/globalg.a.p/integrated-farm-assurance-ifa/crops/FV/</p> <p>AOC rum : https://www.inao.gouv.fr/show_texte/4211</p> <p>Organic Agriculture: https://www.agencebio.org/wp-content/uploads/2018/11/RCE_BIO_834_2007_oct08.pdf</p> <p>Banana Farmer Manual : http://www.it2.fr/documentation/manuel-du-planteur-fr/</p> <p>Evaluation du Plan Banane Durable : https://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/documents/pdf/Plan_banane_durable_1_Evaluation_Bilan_2014_cle8cc958.pdf ; https://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/documents/pdf/Plan_banane_durable_EvaluationPBD1_rapportevaluation_L3_cle094f4b.pdf ; https://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/documents/pdf/plan_banane_durable_Evaluation_PBD1_Recommandations_L4_cle8778b8.pdf ; https://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/plan_banane_durable_evaluation_pbd1_synthese_15.pdf</p>
Technical documentation by supply chain on agricultural systems in Martinique, thematic files on agriculture in Martinique by sector	<p>Banana: http://www.it2.fr/documentation/guides-techniques/</p> <p>Sugar cane : http://agritrop.cirad.fr/543040/ ; communications personnelles (les sites des CTCS sont maintenant introuvables)</p> <p>Diversification : https://martinique.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Martinique/Actes_seminaire_pour_une_definition_collective-2015.pdf ; http://daaf.martinique.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Agriculture_Bio_Martinique_cle42a815.pdf ; https://martinique.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Outre-Mer/AN-TI-KOUT-ZIE_Agriculture_Biologique_2016.pdf ; https://martinique.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Martinique/EPEAD_Synthese.pdf ; https://martinique.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Martinique/ETUDE_PREALABLE_EN_VUE_DE_LA_VALORISATION_DES_PRACTIQUES_ET_DES_PRODUCTIONS_TRADITIONNELLES_2014.pdf</p>
Programs and guidelines for agricultural development promoted by the State, European Development Programs	<p>POSEI : http://www.odeadom.fr/wp-content/uploads/2019/02/POSEI-2019-fusionné.pdf</p> <p>PDRM: http://www.martinique.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ESE_finale_FEADER_Martinique_05092014_cle2e6195.pdf</p>
Water quality information	http://www.observatoire-eau-martinique.fr/documents/ODE972-Rapport-campagne-RCS-2017-VF-03-09-18.pdf
Galion River Contract	https://www.contratderivieredugalion.fr/une-vision-durable/

Data processing

We studied the network of actors according to the qualitative intensity of the relations. First, we estimated factual elements (organigram of organizations, cross-participation in development programs, contractualization, programming of activities, decision-making process ...). Second, we estimated the influence of the actors in the farm trajectories, according to the farmers of Galion watershed.

We filed the analysis grid (Table 5) from audio recordings of interviews and their partial retranscription, plus information from the grey literature analysis (Table 6).

The quantities of active ingredient used on average per hectare per year on 23 farms (9 Export Banana, 7 Diversification, 7 Sugarcane) were calculated by summing up for each farm all the quantities (kg ha⁻¹) of herbicide active ingredients used on all plots, all crops combined, over a year, and then divided by respective cultivated areas on each farm.

We did not observed any major changes in the way the actors mentioned the subject between 2014 and 2017; only a few isolated farmers have shown changes in practices but no perceptible general trend.

2. Results and discussion

We have summed up in table 7 the elements of the socio-technical regime of our three supply chains, described in the previous sections, maintaining the use of herbicide.

Tableau 7: summary of the three case studies (banana, sugar cane and diversification supply chains) according to their elements of the sociotechnical regime i.e. actors, artefacts and rules

		Banana	Sugarcane	Diversified
Actors network	Technical assistance of farmers	Centralized marketing by a union of producer groups A producer group to defend farmers' political and economic interests (a)	Marketing dispersed in the 8 processing units A group of producers to defend the political interests of farmers (b)	Very dispersed marketing and few farmers in groups Several scattered producer groups struggling to defend the interests of their farmers (c)
	Contractualization for financial inducement	Continue from upstream to downstream, with integrative contract (d)	Continue from upstream to industrialist, with production or marketing contract (e)	Continue from upstream to downstream, with purchase and sale contract mostly (f)
	Informal network on the watershed	Innovations more effective than networks linked to institutional actors, Exchanges of knowledge between the farmers structured by the supply chains (g)		
Rules and artefacts	Driving innovation in supply chains in Martinique	Innovation driving by an ecological transition that keeps monocultural system (h)	Innovation driving by varietal selection and mechanization that keeps the monocultural system (i)	Innovation driving by an agroecological orientation that favors the diversification of farms and plots (j)
	About agroecological transition in territories in Martinique	Programs to reduced pressure according to supply chains objectives farmers' supply chain organization induces an unequal agroecological transition in the region (k)		

2.1. Dominant chemical surface weeding

The interviews with the farmers revealed three types of cropping system: sugarcane monocultures (semi-perennial crop harvested each year, with replanting every 5-7 years), banana monocultures (semi-perennial crop producing a bunch every 9-10 months; with replanting every 5 to 7 years, after 1 to 2 years of fallow), diversification agriculture (combining orchards and mixed cropping of roots, tubers, vegetables, etc. in rotations or intercropped). Figure 28 shows the average quantities of herbicide used by the farms of each type per hectare and per year.

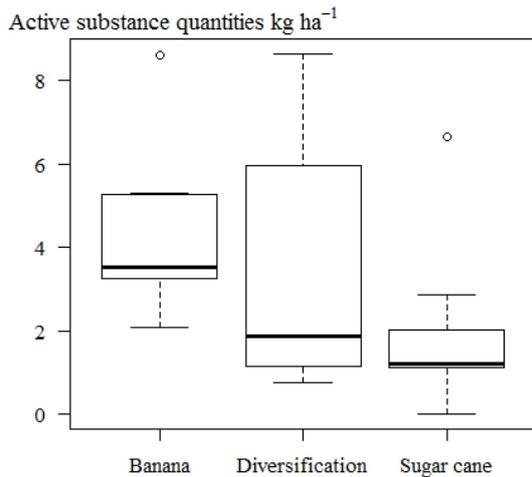


Figure 28: Farmers' uses of herbicides in Galion watershed, by cropping systems (9 banana export farms, 7 sugarcane farms, 7 diversification farms).Averages show that Banana Export cropping system uses more herbicides than others. Diversification contain a large variety of production systems and so of weeds management practices.

All the cropping systems rely on herbicides (Fig. 3). Banana farms use more herbicides on average, with relatively low variability indicating a production system which relies on herbicides with few variations in practices. Diversification comprised a wide range of herbicide amounts applied, linked to the diversity of production systems. In sugarcane, the largest sugarcane farm (450 ha) used large quantities of herbicides, while small sugarcane farms (less than 5 ha) replaced herbicide use with brush cutter as much as possible, because of limited available cash. This made it possible for one farmer to not use any herbicide. The variability of herbicide use within each cropping system indicates that other factors than the cropping system such as the size of the farm, or the mechanisable area, are taken into account in the choice of weed management practices.

2.2. Actors and networks: organization by supply chain

2.2.1. Institutionalized networks

The exchanges between stakeholders (notably farmers, producer groups, technical institutes) concerned the distribution of products, financial subsidies, information (market, prices, etc.) and technical advice, as well as negotiations with the public authorities and middlemen (wholesalers, medium and mass distribution).

These exchanges were tightly organised in networks by supply chain, and two structuring aspects of those networks affected innovation trajectories: the intensity of relationships between the actors and the degree of contractualization between actors. Access to innovation is linked to the intensity of relationships between the actors notably through the technical, financial and organisational support of farmers.

The banana supply chain had a dense network of longstanding relations between actors, thanks to the existence of a Producer Group of banana (POB) and a Federation of Producer Groups of Banana (FPGB) which centralise the political and economic interests of farmers: *“all services are offered to the planters, the central purchasing, negotiation with the suppliers, we negotiate the freight contract. In addition, there is all the technical and administrative follow-up. We have a subsidy program, we defend the measures that are most adapted to the supply chain”*(POB); *“By creating the federation of groups, we have a single marketing office here in Paris, so a single price referenced for the banana of Guadeloupe and Martinique, an industrialist that belongs to the FPGB, and one phone number, here, the FPGB. And behind was also restructured the production, a PO in Martinique, and one in Guadeloupe”* (FPGB) (Table 7, (a)). In the sugarcane network, marketing was not centralized and the processing units were independent (7 rum distilleries and 1 sugar refinery). In 2014, *“The planters have decided to get together to create a structure that will defend them at the level of state administrations”* (POS). However, this producer group of sugarcane (POS) mainly seeks to defend production conditions with government institutions rather than commercial condition with industrialists. Finally, the possibility of action of POS remains limited: *“POS have little financial means. We do not have as much land as banana growers. The cane supply chain does not have the same financial means as the banana supply chain”* (Sugar cane and rum producer) (Table 7, (b)). In the diversified crop sector, only 20% of farmers belonged to producer groups. They were spread over 8 structures (cooperatives, associations, groups, or POD), incorporated in an inter-branch organization since 2010, that suffered from governance problems. This situation seriously reduces the chances of the political and economic interests of farmers being taken into consideration and renders the circulation of information difficult: *“the diversification supply chains does not supply the financial counterpart, unlike cane and banana, which is required to obtain European funds”* (TIB) ;

“for supply chain diversification, this is a big problem, 80% of producers are not part of producers groups. Normally the Agricultural Chamber is in charge of these farmers. I doubt that the chamber can contact all of them, that represent thousands of people. The chamber has a list of farmers. But who knows if the phone numbers are still active” (TIB) (Table 7, (c)). These structural differences between supply chains influenced the technical advice and the innovations derived from research. Banana farmers benefited from structured technical assistance and from active research. A total of 67% of the banana farmers in the watershed we interviewed acknowledged that the banana technical institute (TIB) influenced their learning trajectory.

The research centre maintained close relations with the TIB, but weaker relations with the technical institutes and farmers in the diversification supply chains, as they are so scattered. Almost no relations were reported between the sugarcane technical institute and the research centre, due to the absence of a researcher specialised in sugarcane in Martinique. According to the sugarcane farmers in the watershed, the sugarcane technical institute (TIS) was not concerned with smallholders but focussed on large-scale farmers due to lack of funding, which obliged the institute to abandon personalised follow-up and only carry out trials on large farms able to lend them equipment.

The degree of contractualisation in the supply chain also influenced the ability to innovate. The form of contractualisation will determine the degree of vertical coordination of actors in a supply chain (Cholez et al., 2017). But weak vertical coordination can lock the sociotechnical system against radical innovations because the added value is not evenly distributed to all actors, especially farmers (Fares et al., 2012b). However, a farmer will be encouraged to implement sustainable practices, which are often more expensive, if the financial valuation of his production allows him to do so.

In the case of bananas, criteria that are essential for consumers, including fruit sensory quality, led to increased contractualisation over time with the final establishment of an integrative contract with a long-term commitment period, delegation of production decision-making rights and pooling of production resources (Cholez et al., 2017) : *“FPGB is in charge of the specifications. It is based on European regulations. Then you decline in relation to this reference, and you adapt it according to the needs of the mass distribution, which will be on the size of the fruit (large, small means) and packaging”* (FPGB). Knowledge of the effect of interactions between practices and environmental components in the field, and during ripening on fruit quality, led to forecasting optimum harvesting periods. In addition, the nine FPGB ripening units checked sensory quality throughout the chain, from plot to sales point. This structuring of the supply chain focussed on product quality, and the strong negotiating power of its upstream component enabled added value sharing that was quite favourable for producers and could have enabled farmers to fulfil new demands for more environmentfriendly production by acting upon the added value lever (Fares et al., 2012b) (Table 7 (d)).

For sugarcane, added value mainly came from the product being processed by the industrialist, especially rum, with production or marketing contract between farmers and industrialists, with an annual commitment contract, signed before the production campaign, with pooling of certain production resources. (Cholez et al., 2017). In such a case, according to (Fares et al., 2012b), farmers had little incentive to change their practices because the downstream part of the chain was not committed to dynamics of environmental transition including the fair distribution of added value, as revealed by opinions expressed by these actors: *“The cane supply chain suffers from a lack of financial means. All the money goes to rum. Rum makes money, there is no problem. You have to see the advertising campaigns. But there is no return to sugar cane and that's really a problem.”* (Agricultural state department); *“in sugar cane, if you want to make money, you have to have a distillery. Because it's the rum that brings in money. The small planters have a lot of financial difficulties, you cannot live just with cane, or you have to have huge farms”* (TIS) (Table 7, (e)). For the diversification supply chain, the situations depend on whether the farmer is a member of a producer organisation or not. These farmers sell on the local market and often have sales purchase contract, which is an instant contract signed after harvest, with no pooling of production resources. This situation results in weak support for developing technical skills (Cholez et al., 2017) but it makes it easier to innovate: *“fewer intermediaries, therefore more income on the selling price, which makes it possible to increase the workforce available on the farm and we also have better stock management. Having small surfaces and marketing in short circuit have a stronger ability to innovate”* (Agricultural Chamber) (Table 3 (f)).

2.2.2. Informal networks in the watershed

We saw varied local farmer networks in the watershed including an economic interest group, family network, a farm machinery cooperative or based on different forms of collective action (informal mutual assistance system, or association for a local market). Interviews with Farmers showed that the networks made more effective innovations than networks linked to institutional actors (technical institutes, producer groups). In addition, the innovations exchanged in these networks were often produced or adapted by the farmers themselves as found by (Goulet, 2013). Our results confirm those of (Dolinska and d'Aquino, 2016) who reported that peers are the most widely used source of knowledge by farmers. For instance, one banana farmer in the watershed completely replaced herbicides with brush cutter weeding. This innovation was then spread to another three farms thanks to exchanges in an economic interest group. This innovation was then gradually further disseminated via some informal networks (family, friends) and applied on three additional banana farms in the watershed. However, at the watershed scale, exchanges of knowledge between the farmers remained structured by the supply chains and clearly constrained the differentiation in weed management practices.

Lastly, our network analysis revealed two key characteristics of the sociotechnical regime. The first was that the research and advice available differed depending on the supply chain, which led to an imbalance in the farmers' resources available for innovation as already shown by Biarnès et al. (Biarnès et al., 2009). The second characteristic was that the structure of the network segmented by the supply chain (comparable with silo structure) fixed the scope of innovation to the domain of each supply chain. Novel practices were only sought within the existing cropping system, which restricted alternatives across the supply chains (Table 3 (g)).

2.3. A complex system of weed management artefacts and rules disconnected from local impacts

In this section, we show that for the two monoculture supply chains (sugarcane and banana), the search for novel solutions to reduce herbicide use was either secondary or orthogonal compared with other objectives such as higher yields, harvest mechanisation, shorter fallow periods or disease control. Thus, the framework of existing cropping systems fixed innovations, to the detriment of more cross-territorial solutions..

We will also

show that these orientations determined the main lines of research of the technical institutes, research centres and their so-called “back-office” activities, where new knowledge and upstream references for advice to farmers were developed (Labarthe and Laurent, 2013). Finally, we demonstrate that this commitment to accumulating knowledge in favour of the objectives and technologies targeted by the supply chain can strengthen technological lock-in over time (Labarthe and Laurent, 2013).

2.3.1. Uniformization of banana practices

Uniformisation of banana practices began with the Mallessard report (Mallessard, 1998). This author linked quality and yield problems with a poor command of crop management sequences by some farmers. Starting from a wide range of cultivation practices, the stakeholders of the supply chain (POB, FPGB) decided to standardize them to improve quality and stabilise yields. The supply chain realised the environmental and health risks of using pesticides in 2000 with the chlordecone scandal (Lesueur Jannoyer et al., 2017). These two challenges – standardization of practices and ecological transition – were translated in a set of specifications to be respected by all producers: the GLOBALG.A.P. quality standard (for mass distribution, and marketing), crop management sheets to be respected by farmers, and the Sustainable Banana Plan (to reduce chemical input uses) (POB interview: “*We have several specifications. First, we have the planter's manual with all the technical itineraries that planters must respect. Then we have a quality repository. The quality standard that the planter must respect, in relation to the category of banana. For each category, there are criteria according to the length of the grade, defects. Then, other specifications in the sustainable banana plan that engages all planters. So actions defined and are put in place to achieve the objectives of the sustainable banana plan*”).

The Banana Sustainable Plan reflected a partial transferral of dealings with the environmental concerns from public actors to private actors in the supply chain, in return for public policies in their favour (Bonin and Cathelin, 2014). These shifts were a sign of a strong desire for ecological transition in the supply chain, but left the private actors choosing their own standards (Bonin and Cathelin, 2014). This explains why the technical innovation developed so far did not consider the impact of herbicide use on river pollution.

The standards imposed access to the plot throughout the year for harvesting and for bunch care to ensure product quality, hence regular chemical weeding.

Although a reduction in pesticides was sought, the Sustainable Banana Plan focused on the use of insecticides and nematicides, in response to the chlordecone scandal *“It comes from a reflection aimed at answering issues that were gaining momentum (societal challenge with the case of Chlordecone)”* (evaluation of the sustainable banana plan (Meiffren et al., 2014). This led to an innovation that was both agricultural and institutional, consisting in financially backing the planting of nematode-free vitro plantlets to renew plantations. This innovation introduced a period of 1 to 2 years of fallow between two banana crops in a cropping system that had previously been almost perennial *“nematicides are responsible for 54% of the overall decline in products on all 2 islands (75% in Guadeloupe, 42% in Martinique). They fell sharply thanks to the generalization of vitroplants and sanitizing fallow”* (evaluation of the sustainable banana plan (Meiffren et al., 2014)).

It is also important to measure how the rules and standards arising from banana market organization affected these innovation capacities. Indeed, production costs in the French West Indies are higher than in other banana producing countries, due to 6 to 28 times higher wages (Bugaud et al., 2011). The supply chain therefore depends on standing out commercially (certification), but greatly depends on the subsidy regime, as for other European crops (Bonin and Cathelin, 2014). The POSEI program (EU Programme of Options Specifically Relating to Remoteness and Insularity) encouraged a global production quota system for the island, through aid calculated from a historical reference defined for each farmer. Each farmer requiring maintaining a minimum production level of 80% of the reference to receive aid corresponding to 100% of his historical reference.

Thus, at the scale of the island, production remained intensive and the aid system encouraged its maintenance as monoculture. Monocropping was also constrained by two elements. First, the necessary compulsory treatment against Black Sigatoka, sprayed onto banana leaves (order July 31, 2000 by the French Ministry of Agriculture), and that prevented any combination with cash crops without approval for this treatment. Second, the pollution of soils with chlordecone restricting the intercropping with market garden and food crops (tubers) (Clostre et al., 2017). Here again, the solutions for improving the environmental efficiency took place within the framework of the existing banana monoculture cropping systems, ignoring more territorial solutions (Table 3 (h)).

2.3.2.A sugarcane supply chain focused on varietal selection and mechanization

Innovation research in sugarcane was driven by varietal selection and mechanisation (Table 3 (i)).

Varietal selection developed in 1952, with the creation of TIS, to prevent the uncontrolled introduction of foreign planting material (Mbolidi-Baron, 2002). Priority was given to varietal selection with two objectives: (i) avoid pathogen attacks, (ii) mitigate the lack of production on the scale of the island, which is still topical (Mbolidi-Baron, 2002). This partly explained why weeds were the only rivals to sugarcane.

One of the selection criteria was suitability for mechanised harvesting, sometimes to the detriment of easier weed management. This happened to a farmer who planted sugarcane selected by TIS using varieties originally from Reunion Island: *“We’ve had a lot of rain, and these canes lodged, facilitating access to rats and creepers [...] whereas with blue sugarcane [local variety] which is nice and thick, we’d be able to have clean fields more easily”* (sugarcane farmer interview). Systematic herbicide use in sugarcane since the 1950s had influenced the sugarcane varieties disseminated. Some varieties most sensitive to herbicides had been eliminated or restricted to small areas (Mbolidi-Baron, 2002). We also found that varietal selection remained so today, reducing research on weed management innovation (*“The role of TIS is an applied research role, bringing varieties from all over the world, such as China, Brazil, Barbados etc. all countries that create varieties. So the role of the TIS is the variety selection”* (POS) ;) The existing lack of financial resources for sugarcane innovation research in Martinique worsened that situation (*“the TIS lacks means, there is no money, or very little”* (Agricultural State Department)).

Mechanization, especially harvesting, is developed because this agricultural task was the most important in terms of cost and time (Mbolidi-Baron, 2002). In the 1960s, sugarcane underwent a major crisis that marked the start of its decline, linked to disenchantment with farming work at the same time as an increase in wages (+60% between 1960 and 1965, Bassereau 1966 quoted by (Mbolidi-Baron, 2002)). Thus, sugarcane farms aimed to reduce work times, which were particularly high for harvesting. Accordingly, supply chain rapidly started mechanizing harvesting via TIS, which peaked in the 1990s when 75% of harvesting on the island was mechanized. Large farms also remodelled fields to reach maximum level of mechanization. Mechanization remained a research priority for stakeholders in the supply chain, influencing alternative to herbicides. For instance, row spacing conducive to weed growth, constrained innovation while mechanical weeding methods were promoted (*“Experiments were done for three years, tighter rows were planted so that the canes were close and the weeds did not receive the sun. Except that it was difficult to harvest double rows of cane with harvesting machines that are designed to cut one row of cane, so there was often a lot of loss because you have to cut two rows, with more than density, and that caused problems.”* (POS)).

By facilitating work in the zones accessible to machinery (large, almost flat plots), smaller farms and/or in hillier zones did not benefit from innovations. Small sugarcane farmers therefore appeared to have little negotiating power in guiding innovations in the supply chain, even though they account for 19% of the cultivated area in our watershed, and 37 farmers were involved.

2.3.3. Diversification farming, agriculture with little assistance

Diversification farming in Martinique had always received less attention from the State. As the supply chains were less structured, there were a larger number of actors with different logic of change. Little information about these supply chains and their technical development was available.

This type of agriculture was more rooted in the territory due to (i) its local outlets for almost all of its produce, providing 43% of fresh vegetables and 34% of fresh fruit consumed in 2015, and (ii) a larger number of farms (more than 2500) scattered throughout the territory.

Territorial managers or transversal agricultural stakeholders, such as the Chamber of Agriculture and the Martinique Territorial Authorities (MTA), promoted weed management rules. The latter had provided agroecological impetus since the 1990s, with the first Integrated Pest Management trials of the MTA's Agroecological Experiments Service, then at the beginning of the 2000s with organic versus conventional comparative crop trials. Since 2013, the remit of the Chamber of Commerce has been to develop the Organic Farming sector, backed up by institutional stakeholders such as MTA and the Martinique Food, Agriculture and Forestry Directorate. They strongly urge diversification farmers to convert (*"then the missions of the center evolved towards pesticide-free management, up to agenda 21, where we started to work on crop rotation, associations, all to reduce pesticides used. Agenda 21 is an action plan for local authorities for sustainable development. So our missions have evolved towards a logic of sustainable development"* (MTA's Agroecological Experiments Service); *"organic farming is the baby of the agricultural chamber"* (TIB)). However, the organic farming label was controversial among the diversification farmers on the island, as its specifications did not ban monocultures and certification was expensive (interview with the Chamber of Agriculture). Some small groups of farmers preferred to organise themselves in more or less formal groups to share a charter, which they promoted in short marketing channels. Faced with this situation, the Chamber of Agriculture considered its own label specific to so-called "traditional" farming, which prohibited chemical weed management. The Chamber of Agriculture defined traditional farming in Martinique as follows: *"a system of diversification farming (excluding sugarcane and export banana), mixed cropping or mixed cropping-livestock farming with mainly food crops, intended for the local economy"*.

This "traditional" farming dominates in the upstream zone of the Galion watershed. There, the weed management rules were designed according to requirements of the local markets. The main outlets were via short channels, with 0 or 1 middleman.

This entailed a relationship with the customer that was often direct, encouraging alternatives practices to herbicides: *“on the markets, as we meet many consumers, people ask us how we work, they are curious to know what we use as inputs. In any case, the people who come to the markets are aware of such things. So we attempt to respect consumers”* (Diversification Farmer interview). In addition, some production was consumed on-farm, which encouraged farmers not to use pesticides. Formal residue standards, were particularly strict in this supply chain due to soil pollution by chlordecone, affecting tubers and vegetables in contact with polluted soils (Clostre et al., 2017).

To conclude, although this diversification farming was very diverse and largely isolated, it entered into dialogue with consumers, and with operators in the territory and the farming sector, tending towards practices with few or no herbicides (Table 3 (j)). However, the diversity of the farming systems and the lack of financial means made the search for adapted innovations difficult.

2.3.4.A territory relying on structured supply chains for environmental transition

The evolution of agricultural development policies over the last twenty years showed that the State has gradually relied on the structured supply chains to guide ecological transition. As shown by (Maury et al., 2013), the State institutional paradigm changed from 2006, moving from farming and its multifunctionalities in the sustainability of territories, to refocusing solely on environmental impacts. This change resulted into programs where the reduction in phytosanitary pressure, was measured on the plot or farm scale, without link to the socio-economic and spatial context around the farm. Gradually, there was a transfer of environmental responsibilities from the State to professional organizations, and the structured supply chains seeing their strategic position strengthened by their middleman role. The Sustainable Banana Plan 1 was typical example of this phenomenon. It was proposed by the actors of the banana supply chain (POB, FPGB) and research, and was subsequently approved by institutionals (Ministry of Agriculture, department). This delegation of responsibilities to the supply chains sidelined farmers and actors who were not part of structured supply chains, like the diversification farmers.

The organization of farmers in supply chains prevented the operational implementation of projects of territorial development. This was reinforced by the fact that actors involved in a territorial initiative, such as the territorial communities or environmental protection agencies, could not be initiators of projects with agro-environmental measures subsidized. In addition, in the Galion watershed, sugarcane small-scale farmers did not benefit from supply chains support, making ecological transition difficult on 19% of the arable area. The diversified farmers, who accounted for 12% of farmed land, were not sufficiently structured to benefit enough from State aid to undertake ecological transition. It was therefore 31% of the farmed area in the Galion watershed that was left in the shade by agricultural development policies working for ecological transition. (Table 3 (g))

2.4. Hindrances to innovation: example of service plants in banana and sugarcane

To sum up how the characteristics of the sociotechnical regime that we have described affect agroecological transition in a watershed like Galion, we delved deeper into the emergence and expansion of a recent innovation existing in banana and sugarcane crops: associated service plants (SP). This innovation, initially developed by Banana researchers from 2008 (Research Centre, TIB) ended in an “associated cover crop” technical package transferred to sugarcane farmers in 2013.

The story began with a plant selection process in the Sustainable Banana Plan (2008) to reduce the length of fallow between two banana crop cycles. Later, the agronomic principle of associated service plants evolved to replace the weed population in crop interrows with a population of plants chosen for functional traits (Damour et al., 2014). The aim is to provide different services for the associated crop, notably preventing undesirable weeds from developing. Our survey showed that for banana, a non-native cover crop is installed before banana planting (broadcast sowing with superficial soil tillage if mechanizable, or direct sowing), or in established banana crops (preferably by cuttings). In the case of native cover crops, weed selection was carried out in patches, selecting either mechanically, but mostly chemically, the plants to be destroyed. For sugarcane, the sowing of native plants dominated and was always carried out at the beginning of the crop cycle, either by broadcast sowing or with a seeder. In the following section are detailed the main elements of the current regime restricting service plants in banana and sugar cane farms.

2.4.1. Banana

The need for access to the plot and the focus on reducing nematicide and insecticide use resulted into selecting service plants with the following functional traits: perennial and shade-tolerant to survive under banana cover for 5 years, resistant to trampling and the passage of machinery, not a host of the banana nematode *R similis*. The “not a nematode host” trait was kept from plants selected for fallow, with the other functional traits being adapted to a plant under banana cover as opposed to a plant in a monoculture fallow (Lassoudière, 2012).

Planting associated SPs entailed additional costs, linked to establishment and upkeep at the start of plant development, which was very labour-intensive. According to POB, difficulties in establishing a plant cover started from a certain size of area (more than 50 ha), when labour costs became too high and the organizational flexibility of the farm was too limited. A combination with cash crops to compensate for these costs was buried by both the presence of chlordecone in the soils ruling out root and tuber crops, and the compulsory treatment against Black Sigatoka (*Cercospora Fijuensis*). Lengthening the life span of a banana plantation to amortize the investment over a longer period was risky because of potential development of large population of *R. Similis* and weevils (*C. sordidus*).

There were also availability problems for service plants. For SPs that had to be imported, the only importer and distributor of seeds in Martinique reported the problems he encountered importing seeds at an affordable price for such a small market as Martinique (*“The French West Indies, we are a small market. For example for cover crops, it was necessary to decide how many varieties are imported. It was explained to the supply chain banana that it is not possible to import 20 varieties of seeds because we reduce the volumes, so we lose even more bargaining power”* (Distributor of agricultural inputs)). This is why he currently imported 6-7 plants out of the twenty or so identified by the research centre and TIB. Currently, no nurseryman, regularly producing local SPs in significant quantities even though there is a potential market as actors across the sociotechnical regime, said they preferred Currently, no nurseryman, regularly producing local SPs in significant quantities even though there is a potential market as actors across the sociotechnical regime, said they preferred native to imported plants. As a result, the farmers had to select or move patches of cuttings plants they had on their farm, or procure them by other means, such as from a neighbour’s field (Banana Export farmers interviews). In general, the actors in the banana supply chain were increasingly turning to selecting wild spontaneous cover plants, which ultimately became the most widespread method among the farmers as it was less labour intensive, cheaper and did not require a plantation.

2.4.2. Sugarcane

Concerning sugarcane, the cover plant innovation inherited from the selection programmes developed for banana. In this case, the plants had to be slow growing, withstand sunlight and be annual, in order to die when the crop cover closed, to prevent competition with the sugarcane (*“Because if the cover plant produces seeds, when it grows back, it will not grow properly. It's complicated, so I need a plant that does not tolerate the shade. Not like banana where you need plants that support the shade”*(TIS)). Lastly, the agronomic characteristics of the SPs selected for banana were not adapted to sugarcane. With sugarcane, growing a cash crop in the interrows had been practised historically (Mbolidi-Baron, 2002) and a few farmers who grew *oignon peyi* (spring onion) or watermelons between sugarcane rows.

Like banana, planting SPs entailed additional costs which are barely offset by added value, which rather came rather from the processed product. In this sense, the first farmer to have tested cover plants in sugarcane also had a rum distillery (*“We are farmer and industrialist. That is why we can be innovative. We are trying to get a head start on the narrowness of the market. We do not even make two percent of the rum in Martinique. For the European market, we are the first organic rum so we can value the rum”* (farmer in organic farming interview)). In this case, the organic farming label for the rum, which the SPs helped to procure, helped to offset the extra cost of installing SPs (Farmer in organic farming interview).

The issue of SP seed availability was all the more problematic in that only one farmer used SPs in sugarcane: “cover plant seeds are not easy to come by, because there are 2-3 orders per year by the importer who centralizes orders mostly for banana, whereas our dates are not necessarily those of banana. Then there are some seeds we’d have liked to test, but the importing formalities were too complicated for just 1 or 2 bags, so the importer couldn’t do it. So we use plants that are used in banana” (farmer in organic farming interview).

One last obstacle to developing this innovation in sugarcane is the farmers’ perception of “weeds”, which made it difficult to get sugarcane farmers to voluntarily grow weeds in interrows: “in interrows, farmers still have too much of a vision of competition (between plants), and are therefore less interested” (TIS interview). With the transfer of the cover plant innovation in fallow, banana farmers became aware of the benefits of cover plants for soil conservation. This is why banana farmers were much less reluctant to use cover plants in their interrows than sugarcane farmers.

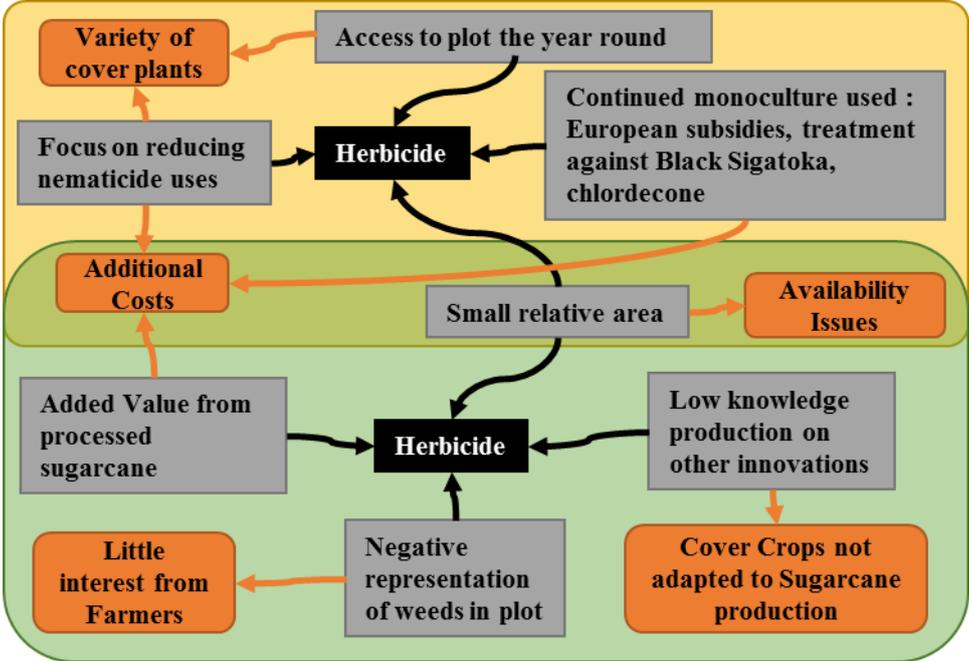


Figure 29: Diagram of obstacles induced by the sugarcane (green outline) and banana (yellow outline) innovation regimes. Herbicide use is maintained by some aspects of each regime (grey outline). Those induce innovation lock-in for weed management (orange outline).

Figure 29, summarises which aspects of the regime constrain the use of service plants in banana and sugar cane supply chains. Resulting from the interaction between actors, rules and artefacts, some elements of the socio-technical regime (orange outline) lock it against radical innovations, such as service plants. Banana farmers need access to the plot around the year, which constrains the type of plant to support trampling. The formal rules of the institutional actors, the European subsidies, the law on the treatment against Sigatoka and the maximum residue limits of chlordecone in vegetables maintain the monoculture system in banana, and the service plants cannot produce marketable commodities.

The actors in banana research and advice have focused on reducing nematicide uses, so they need to find service crops that do not host nematodes. In cane, the added value is poorly redistributed by industrialists, financially constraining farmers in their innovations. Cane farmers have a negative representation of weeds in plot, which involves a small interest of farmers for service plants in their cane plot. The weakness of the financial resources of TIS and POS prevents the production of knowledge on cover plants in sugar cane supply chain. Finally, the sugar cane and banana supply chains of the French West Indies are a small market, which weakens their bargaining power, and which is why the seeds of service plants are expensive.

2.4.3. Consequence for the Galion territory

The organization of agriculture in segmented supply chains scale affected the ability of farms in the territory to innovate. For cover plants, we showed elements holding back innovations in weed management as negative representation of weeds in plot for sugarcane, or the focus on reducing nematicide uses for banana (Figure 29). In the watershed, 6 banana export farmers had tested or were testing associated SPs on part of their farm, 5 of whom selected wild plants. For sugarcane, only the large farm had tested in 2014 the combination with a cover plant installed at the time of planting. Thus, SPs developed in line with the banana model previously explained, mainly on banana areas of our territory but not on sugarcane areas. The market gardening areas did not seem to be involved in this transition. Thus, the main hope of changes in weed management through this innovation was likely only to involve banana farmers, i.e. 45% of the agricultural area outside grasslands. Sugarcane, a major herbicide user, was not a major actor in this innovation.

Therefore, the implementation of programs of territorial development, such as a river contract, can enable supply chains to focus research on territorial objectives: *“we do not specifically give advice to farmers just because they are close to a watercourse, unless there is a problem, for example in the context of the Galion river contract. Effectively, we will take specific actions for these farmers, in this area, because we are committed to this contract. Otherwise, all farmers can benefit from POB's advice, in a homogeneous way”* (POB). This example shows that the multiplication of programs of territorial development can encourage the ecological transition of the territories, according to the objectives of territory's actors rather than according to the objectives of supply chains actors (Table 7 (k)).

3. Conclusion

Some authors, mainly economists, have showed technological lock in on pesticides use at a worldwide scale (Cowan and Gunby, 1996; Wilson and Tisdell, 2001) or has identified predictors of synthetic pesticide use in a region (Hammond Wagner et al., 2016). But few of them have combined a diagnosis at a territorial and supply chain scale to identify the technological and organisational brakes and levers to the sustainable transition of the territory.

Organisation at the territorial scale is a key point that emerged from our analysis to manage herbicide pollution in the river. Indeed, pesticide transfers are strongly dependent on the heterogeneity of territories, meaning that they depend on where and when herbicides are applied. However, we showed that linking ecological processes to processes of social organisation (the different regimes of innovation in supply chain production) through the concept of socioecological system is very useful to understand the bottlenecks that blocked a collective management of the reduction of herbicide use in the territory. This research allowed us to confirm our hypothesis, namely that the sustainable transition of a territory can be locked by a dominant herbicide use regime, maintained by the agricultural supply chains established on the territory. Indeed, our results showed that agricultural supply chains innovate but mainly in order to maintain their current farming system as much as possible, avoiding risk linked to change (here, mainly, the risk to reduce the production volumes of banana and sugarcane (global and per hectare)). As a result, each supply chain innovates independently one from each other, in a path defined and locked by the history of the supply chain and maintained today by rules, artefacts and networks of actors. This is the reason why service plants were innovations of interest for monocultural supply chains (such as banana or sugar cane), because they made it possible to maintain this monocultural system, taking little account of the constraints and resources of local territories. Some innovative farmers are trying to move away from the dominant regime model but have little technical support. This situation makes it difficult to reduce the herbicides globally used in the watershed. However, our results also showed that, in parallel, local authorities want to reduce the presence of herbicides in the rivers. Nevertheless, the government authorities have given to the supply chains the responsibility of this reduction, which runs against the economic objectives of supply chains. Indeed, actors in the supply chains are mainly responsible for the economic survival of their farmers in their production area, prioritizing this aspect. Of course, the State keeps the right to remove the molecules as an ultimate lever to ensure that the supply chain actors will follow the objectives of the territory. But they do not propose any alternative solutions, because actors of the supply chains are asked to produce it. Finally, major supply chains keep state actors regularly aware of their difficulties in reducing pesticide uses and potential economic negative impacts, justifying the development of innovations that induce little change in their production systems.

In our case study, a programme of territorial development as a river contract could become a mean to coordinate the innovation of different sectors. This type of contract makes it possible to bring together actors who occupy different societal functions (agriculture, industries, etc.) in the same project, with the opportunity to build common objectives. It is now required that such programmes equip themselves with relevant tools to design and manage new organisation of activities on a territory to reduce pollution. Innovation platforms (Kilelu et al., 2013), companion modelling (Bousquet et al., 2010), and innovative design (Ravier et al., 2018) are such tools that our diagnosis, crossing a sociotechnical framework and a territorial framework, could feed to design new collective solutions to reduce pollution on a watershed scale.

4. Deux autres innovations en discussion dans le système sociotechnique : la mécanisation et l'agriculture biologique

4.1. La mécanisation, une innovation visant à conserver les monocultures

La mécanisation est une innovation en gestion de l'enherbement de logique substitutive, c'est-à-dire que l'on remplace la pratique du passage d'herbicide par un ou plusieurs passages d'une machine de fauche (qui coupe l'herbe), broyage (qui broie l'herbe) ou roulage (qui écrase l'herbe). Il existe deux types de mécanisation : la grosse mécanisation qui fait appel à de grosses et lourdes machines et requiert des terrains mécanisables relativement plats (gyrobroyeur, rotobèche), la petite mécanisation qui se fait par passage à pied pour des machines comme la débroussailleuse ou la motofaucheuse.

Dans les filières monoculturales

De l'avis des acteurs de la recherche en canne et banane, cette mécanisation est l'innovation technique qui se développe le plus chez les agriculteurs en matière de gestion de l'enherbement. Elle est déjà répandue, comme on a pu le voir dans les pratiques à la parcelle, que ce soit par la petite mécanisation chez les petits agriculteurs (débroussailleuse), ou les plus grosses machines (gyrobroyeur, rotobèche, engin à griffes) dans les plus grosses exploitations (chapitre 2).

Historiquement, la petite mécanisation semble s'être développée préférentiellement chez les petits planteurs de canne, au moment de l'interdiction de l'Azulox en 2012, herbicide sélectif très utilisé en canne (Chapitre 1). Cet herbicide a fait l'objet de dérogations annuelles jusqu'en 2019, mais la débroussailleuse continue de se développer chez les petits planteurs, car elle permet de réduire le coût de la gestion de l'enherbement (Raimbault, 2014). Les petits producteurs de canne sont majoritairement situés sur des zones en pentes, non mécanisables ou semi mécanisables, ce qui explique ce choix. Face à ce fort développement, la chambre d'Agriculture a voulu lancer la mise en place d'un groupe d'entraide de petits planteurs « *pendant une journée DEPHY on avait proposé de faire un groupement d'entraide pour que chacun débroussaille ensemble dans le même champ. Un jour chez chacun. [...] très peu de petits planteurs utilisent l'asulox car ils ont de petites plantations, donc ils peuvent désherber à la main. Comme ils sont une dizaine à débroussailler, pourquoi ne pas monter des groupements, monter une équipe. Pour le débroussaillage* » (Chambre d'Agriculture). Mais la débroussailleuse entre les rangs nécessite un maniement délicat pour éviter d'abimer les pieds de canne, et la confiance manque entre planteurs pour la mise en place de ce type d'organisation selon la chambre d'agriculture, alors que l'entraide existe bien entre petits planteurs de canne pour la récolte manuelle.

Dans les plantations plus grandes, l'itinéraire technique est déjà fortement mécanisé, et le conseil est jusqu'ici plus orienté vers la mécanisation de l'épandage d'herbicides (Mbolidi-Baron and Grolleau, 2004) que vers des solutions mécaniques à la gestion de l'enherbement qui sont encore peu nombreuses.

Les acteurs de la filière banane se tournent vers le développement de la petite mécanisation, poussés par les agriculteurs, en développant une cellule de réflexion sur la gestion mécanique du couvert (entretien IT2 et Banamart) « *Tout ce qui est petite mécanisation est récent. On essaie de s'adapter à ce qu'on voit sur le terrain, ce que nous disent les agriculteurs. On cherche quelque chose de complémentaire pour ceux qui ne peuvent pas investir dans du gros matériel* » (IT2). La petite mécanisation représente une bonne alternative pour les petits planteurs, qui sont aussi plus flexibles sur la ressource main d'œuvre que les grosses exploitations (IT2). Elle répond également à d'autres besoins indépendants de la taille de la plantation dont : la substitution de l'herbicide sur des zones trop accidentées ou trop sensibles au tassement pour la mécanisation lourde, un moyen plus passe-partout et permettant d'éviter le risque sanitaire de l'herbicide sur les jeunes plants (Banamart). Actuellement, le groupement de producteurs de banane développe des partenariats avec des fournisseurs de matériel pour adapter le matériel aux conditions de la culture de la banane notamment en pente, organiser des démonstrations auprès des agriculteurs, et obtenir des tarifs préférentiels pour des achats groupés. Les prix semblent compétitifs et les agriculteurs intéressés, mais l'augmentation du besoin en main d'œuvre est une limitation à l'étendue de la petite mécanisation sur de grandes surfaces « *Les planteurs en pente font de la débroussailleuse. Pratique qui correspond le mieux à leurs contraintes. Sauf que la débroussailleuse c'est long, il faut quelqu'un. Faut compter par jour on fait un demi, 0,6, 0,7 hectares donc ça prend du temps. Avec des petites motoculteurs, maniable légers, on va plus vite* » (IT2). Ce temps supplémentaire, associé à la fragilité des débroussailleuses, impliquent une augmentation du coût qui contraint le développement de la petite mécanisation sur de grandes exploitations. Par exemple, un agriculteur innovant en banane a substitué l'herbicide par de la petite mécanisation sur ses 50ha, essentiellement par de la débroussailleuse, ce qui a amené à une augmentation importante du coût de sa gestion de l'enherbement. Réfléchissant aux moyens de compenser cette augmentation du coût, il en vient à prévoir d'augmenter la durée de ses plantations à 7 ou 8 ans, projet qui viendrait « percuter » directement l'innovation phare de la filière banane, à savoir subvention aux vitroplants indemnes de nématodes contre jachère au bout de 5 ans de plantation. Ce rallongement de la vie de la bananeraie risque d'entraîner une population trop élevée de *R. Similis* et de charançons, ennemis numéro 1 des producteurs de bananes.

De manière générale en canne et banane, les agriculteurs sont les principaux acteurs à innover en mécanisation par l'adaptation de leurs machines (IT2, CTCS). Le manque de matériel adapté chez les concessionnaires, permettant de gérer l'enherbement, contraint les planteurs de canne et banane à se renseigner sur d'autres cultures, notamment de métropole. On y trouve des innovations en machinisme plus importantes pour de la moyenne et grosse mécanisation.

Par exemple, un agriculteur de canne explique s'inspirer fortement des machines utilisées en vigne pour mécaniser son itinéraire technique « *On a le projet d'acheter un semoir adaptable pour les micros tracteurs. Du matériel qui viendrait de métropole car ils en font en vigne sur la partie semi inter rang* » (Agriculteur-transformateur en biologique). Un planteur de banane a, lui, fait venir directement une grosse machine d'Autriche qui permet de faucher l'herbe en dévers. Mais se doter de machines depuis l'extérieur de l'île, c'est se retrouver confronté à l'absence de Service Après-Vente en Martinique, permettant d'entretenir le matériel. C'est ce qui est arrivé au planteur de banane dont nous venons de parler, sa machine en provenance d'Autriche est tombée en panne et il a fallu patienter deux mois en l'absence d'expertise locale, le temps de diagnostiquer la panne et de commander la pièce.

De plus, l'introduction de certaines machines dans l'itinéraire technique viendrait potentiellement perturber l'organisation spatiale actuelle des parcelles en canne et banane. L'espacement des rangs en canne est optimisé à 1,65 mètre pour permettre le passage des récolteuses et machines d'épandages d'herbicides. Actuellement, le CTCS de Guadeloupe travaille sur le développement de microtracteurs, pouvant passer dans ces inter-rangs. Mais le manque de moyens financiers du CTCS en Martinique l'empêche d'investir dans des machines, ce qui contraint le développement de ce type de mécanisation sur l'île. Pour la banane, les plantations sont plantées en double rang, ce qui implique un petit rang entre 1,65 et 1,90 m, et un grand rang entre 3,8 et 4 m. Cette organisation spatiale limite les possibilités de mécanisation du petit rang. Le planteur de banane qui a fait venir sa machine d'Autriche souhaiterait réorganiser ses parcelles pour planter en simple rangs, permettant le passage de sa machine. Mais la technique du double rang est, pour le moment, la seule technique permettant le ficelage des bananiers entre eux, nécessaire pour résister au vent. Cette technique est particulièrement indispensable sur une île régulièrement soumise à des tempêtes tropicales, voire à des ouragans.

De manière générale, la mécanisation permet de remplacer l'usage d'herbicide sur les parcelles de canne et de banane. Elle fait actuellement l'objet d'une MAE¹¹ en canne car, on l'a vu, la substitution mécanique se développe chez les petits planteurs depuis 2012, et ce phénomène s'accorde avec la dépendance au chemin des acteurs de la canne pour la mécanisation de l'itinéraire technique (2.3.2). En banane, la cellule de réflexion sur la mécanisation mise en place par Banamart et l'IT2 est plus récente (2015). Les acteurs de la filière ont souhaité proposer une MAE sur la mécanisation en banane, mais le plafonnement des aides par la CTM diminue considérablement l'attractivité des MAE pour les agriculteurs « *On voulait proposer une MAE pour le désherbage mécanique. Pour aider les planteurs à le développer. Ça prend deux ans entre l'instruction et la validation de la mesure. Ce plafond va empêcher que la mesure soit intéressante. Les MAE ne sont plus un levier* » (IT2).

¹¹ MAE : les Mesures Agro-Environnementales sont des subventions européennes destinées à encourager les agriculteurs à protéger et valoriser l'environnement par la rémunération de services environnementaux. Les agriculteurs s'engagent pour 5 ans.

Ainsi cette innovation, pourtant à même de conserver les systèmes monocultureux actuels canniers et bananiers tout en réduisant les herbicides, peine à se développer en raison de freins liés principalement aux manques de références techniques, à l'insularité de la Martinique, et à la difficulté de mettre en œuvre des incitations financières via des subventions. D'autant plus que des questions sont soulevées par l'augmentation de la pénibilité du travail que le développement de la petite mécanisation apporte (matériel porté et bruyant pour l'opérateur (Bruchon and Le Bellec, 2015)), ainsi que par l'augmentation de l'utilisation de carburant. La grande mécanisation est entravée à cause du relief très vallonné et accidenté de la Martinique. Aussi, il semble que la mécanisation rencontre beaucoup de difficultés à s'étendre sur l'île, du fait de caractéristiques intrinsèques à la Martinique (relief, insularité), et peine ainsi à répondre aux besoins du territoire sur la diminution d'usage herbicide.

Dans l'agriculture de diversification

Le développement de la mécanisation en diversification rencontre moins d'intérêt de la part des agriculteurs. Tout d'abord car l'essentiel des exploitations sont de petites tailles. Historiquement, les petites exploitations en agriculture de diversification ont des pratiques qui découlent du jardin créole (chapitre 1 et 2), dont l'utilisation de produits phytosanitaires et de mécanisation est très variable dans leur système de production (Chambre d'Agriculture). On remarque notamment que certaines associations de cultures rendent difficile l'usage de la débroussailleuse entre les rangs, auquel les agriculteurs lui préfèrent le sarclage manuel. Mais même pour les grosses exploitations de diversification, on observe que la mécanisation ne fait pas l'objet de création de connaissances par les acteurs de la recherche et du conseil. Notamment le SEA est même dans une optique de diminution de l'usage de la mécanisation *« on est de plus en plus persuadé qu'il faut réduire le passage des tracteurs car ça tasse le sol. En plus, à Sainte-Anne, on a un sol argileux qui retient l'eau donc quand en plus on vient le tasser [...] la petite mécanisation n'a jamais été une chose sur laquelle on s'est arrêtée. On est plutôt dans la mécanique inverse, même si on sait bien qu'on ne va pas supprimer toute la mécanisation, on cherche à la réduire »* (SEA). Ils préfèrent alors utiliser la débroussailleuse ou, parfois, l'association avec l'élevage (moutons).

4.2. L'agriculture biologique, peu encouragée dans les filières monoculturelles et privilégiée par la diversification

En Martinique, l'Agriculture Biologique (AB) est certifiée par des organismes situés en métropole, comme Ecocert, et se base sur les cahiers des charges inspirés des normes européennes, que les acteurs de l'agriculture martiniquaise décrivent comme inadaptés au contexte tropical de la Martinique. Pourtant, l'extension de l'AB représenterait une opportunité de réduction des pressions herbicides sur le territoire. Quelques exploitations spécialisées en canne et banane, qui se sont intéressées à l'agriculture biologique au début des années 2010, ont plutôt converti une partie de leur surface en agriculture biologique avec des productions de diversification, en raison de la meilleure valorisation possible de ces productions en AB (Agreste Martinique, 2014).

Dans les filières monoculturelles

Dans les filières monoculturelles, l'agriculture biologique est pour l'instant décriée par nombre d'acteurs. Le principal frein à son développement est, selon eux, le climat tropical qui entraîne une concentration trop importante en ravageurs et adventices pour permettre une protection des plantes non chimique dans les systèmes intensifs actuels (Banamart, IT2, Canne Union).

Dans la filière banane en Martinique, l'agriculture biologique a longtemps été représentée par un seul agriculteur, certifié en 2015. Cet agriculteur indique avoir connu plusieurs conflits à ce sujet avec les acteurs de la filière banane qui étaient en désaccord sur son système de production, argumentant que son itinéraire n'était pas optimal (pollution par le tracteur, développement d'adventices résistantes, développement d'insectes ravageurs qui abîment les régimes, etc.). Pendant longtemps, la filière banane a cherché à défendre son produit conventionnel contre la concurrence jugée déloyale de banane biologique en provenance d'Equateur ou de République Dominicaine. En témoigne encore la récente campagne de communication menée par l'UGPBAN « la banane française, mieux que le bio » lancée au Salon International de l'Agriculture de 2017 « *Il s'agissait de dénoncer l'ambiguïté liée aux notions de conformité ou d'équivalence des cahiers des charges AB. La République dominicaine affuble 50 % de sa production de bananes, soit 150 000 tonnes, d'un label AB alors que ses bananeraies sont traitées avec des produits qui ne sont même pas homologués dans l'UE* » (président du groupement de producteurs de bananes de Guadeloupe, pour pleinchamp.com (Lecoq, 2018)). L'orientation en Agriculture biologique a donc été délaissée pendant longtemps dans cette filière, qui a préféré d'autres voies. En témoigne l'allocation de moyens sur la mise au point et l'homologation d'un produit de biocontrôle des adventices, le Beloukha sur lequel l'IT2 a travaillé pendant 7 ans et qui a été homologué en 2015. Or, le cahier des charges en Agriculture Biologique n'autorise pas l'usage de produits, même de bio-contrôle, pour la gestion de l'herbe (uniquement mécanique, paillage, manuel).

Cependant, depuis 2018, les acteurs de la filière banane prennent un tournant vis-à-vis de l'agriculture biologique, considérée comme une solution à l'impasse des futures interdictions pesticides, comme les triazols, fongicides utilisés contre la cercosporiose noire à traitement aujourd'hui obligatoire. En effet, si depuis plusieurs années le CIRAD développe une variété de banane tolérante à la cercosporiose, cette variété (la 925), a des défauts qui incitent les acteurs à l'associer à une certification : « *Le souci aujourd'hui c'est qu'on a un standard qualité Cavendish, on a une 925 qui a tous les défauts du monde. Si on ne dit pas à au client que cette banane à tel ou tel atout et qu'il faut l'acheter, il n'a aucun intérêt. [...] il y a des itinéraires pour conduire cette banane 925 en bio. J'ai grand espoir que ça se développe et qu'on arrive à la conduire en bio. Ça permettrait d'avoir des débouchés pour cette banane* » (Banamart). Actuellement, neuf producteurs de bananes ont décidé de se lancer dans la conversion en agriculture biologique, ce qui représente 40ha en Guadeloupe et 60ha en Martinique. Parmi eux, trois ont décidé de le faire à partir de la variété classique Cavendish dans des zones peu soumises à la cercosporiose, et six vont utiliser la variété du CIRAD 925 (Bosi, 2019).

En 2018, les modalités d'attribution des subventions POSEI pour les planteurs de banane ont même évolué pour permettre aux agriculteurs de se convertir plus facilement en Agriculture Biologique, en aménageant la règle d'octroi des subventions : un planteur entrant dans une démarche d'Agriculture Biologique n'aura pas l'obligation de produire 80% de la référence historique pour toucher la totalité des subventions mais 70% (Fonds Européen Agricole de Garantie, 2018). Si cette évolution indique bien un changement de stratégie de la filière banane, il reste que la stratégie antérieure a freiné l'élaboration de références techniques pour accompagner les agriculteurs, en particulier dans la gestion de l'enherbement.

Les acteurs de la filière canne à sucre sont, encore aujourd'hui, très sceptiques sur le développement d'une filière biologique de canne, en raison de la plus-value qui se fait pour l'essentiel sur le produit transformé. Ceci limite le développement de canne biologique à ceux qui disposent d'un outil de transformation de la canne *« des guadeloupéens sont venus en visite ici, ce sont que des petits agriculteurs, quelques ha mais moins de 10ha de canne généralement, ce qui en fait des petits planteurs, y en a quelques-uns qui sont bio, ils cherchent des débouchés qu'ils ne trouvent pas aujourd'hui, puisque peut-être le seul débouché intéressant aujourd'hui c'est le rhum bio, donc ils me demandent de venir les aider pour monter des projets de mini ou micro distilleries qui ferait que du rhum à partir de canne bio »* (Agriculteur-transformateur de canne en biologique). C'est notamment l'augmentation des coûts de production de l'agriculteur en canne biologique qui rend sceptique les acteurs de la filière canne *« Madame Neisson a fait des essais dans ses cannes et elle a une augmentation de ses coûts de 590% par rapport à une culture normale. C'est énorme. Il ne faut pas utiliser d'herbicides, pas d'engrais, il faut tout faire à la main...[...]. A part Madame Neisson. Il n'y a pas aujourd'hui de valorisation possible de cette canne biologique sauf en rhum éventuellement »* (Canne Union).

D'autant plus que la filière canne se voit déjà comme une culture « propre » du fait qu'on y utilise uniquement des herbicides *« ce qu'on cherche à faire en canne à sucre, c'est qu'on cherche à montrer que la culture de la canne à sucre est agroécologique. Il faut savoir qu'à part l'herbicide, la canne n'utilise pas d'insecticides, de nématicides, de fongicides, donc on n'utilise pas de produits à part l'herbicide. Alors que toutes les autres cultures utilisent des fongicides et autres, la banane a pollué à cause de ça. La canne a toujours utilisé que des herbicides. On a été la première culture à faire de la lutte biologique contre le Borer de la canne, dans les années 1960 on a introduit des prédateurs naturels, des chenilles et les prédateurs sont toujours là aujourd'hui, et ça fonctionne. Donc on veut valoriser nos pratiques en disant que la canne est une culture propre. On va faire un document pour ça d'ailleurs. On est en train de travailler avec la chambre d'agriculture et le CTCS pour mettre en avant les pratiques agroécologiques de la canne »* (Canne Union).

Aussi, la filière biologique intéresse peu la filière canne et commence à intéresser la filière banane, ce qui explique qu'en 2014, les exploitations spécialisées en canne et banane qui s'intéressaient à l'agriculture biologique, convertissaient une partie de leur surface en agriculture biologique avec des productions de diversification, en raison de la meilleure valorisation possible de ces productions en biologiques (Agreste Martinique, 2014).

Les filières canne et banane, bien qu'elles semblent aujourd'hui diverger sur leur appréciation de la production en Agriculture Biologique, ont en commun le fait que le développement de cette niche a commencé avec des agriculteurs innovants. Face à la position réfractaire des acteurs de la recherche et du conseil agricole de leurs filières respectives, ces quelques agriculteurs ont dû faire face à un sérieux manque de connaissances sur la conduite de la canne et de la banane en système biologique. Soumis aux réglementations de l'Union Européenne, où ces deux cultures sont considérées comme orphelines car peu d'usages sont pourvus, ils ont subi une restriction plus drastique des pesticides autorisés en AB que les exploitations en banane et en canne biologique du Brésil, de l'Equateur ou de la République Dominicaine. *« S'il y avait un pré mâchage de l'information qui soit plus utilisable, par le CTCS ou le CIRAD, ça serait super intéressant. Nous on doit aller dans tous les sens pour chopper des infos et mettre en place des choses tout seul. On manque de références »* (Agriculteur-transformateur de canne en biologique). Pour pallier ce manque, les agriculteurs ont dû aller chercher des informations par leurs propres moyens, à l'extérieur de l'île. Par exemple, l'exploitation de canne a demandé une expertise à un spécialiste du sol venu de métropole, et l'exploitation de banane a sollicité l'aide d'un agronome cubain rencontré lors d'un voyage à Cuba dans une plantation en Agriculture Biologique. Ces systèmes agricoles biologiques restent encore très expérimentaux. Ce qui explique la chute des rendements : le planteur de banane indique avoir perdu l'équivalent de 270 tonnes de banane sur la durée de sa conversion, et le planteur de canne affirme avoir perdu 75% de son rendement sur sa première parcelle durant la conversion (70t/ha de rendement en 2012, et 18t/ha en 2015).

Dans les deux systèmes, un des principaux freins à la conduite en biologique de la canne et de la banane est la gestion de la fertilisation biologique. En banane, cette problématique est la dernière à résoudre selon les acteurs de la filière *« En termes de fongicide cerco on n'en a pas besoin car la 925 est tolérante à la cerco, au niveau herbicide on a déjà des solutions, que ce soit plantes de couverture ou désherbage mécanique. Là où il faudrait encore travailler sur la 925 c'est sur la fertilisation. Et là le frein c'est surtout le coût de la fertilisation, parce qu'aujourd'hui c'est très cher la fertilisation organique bio, c'est du délire. Du coup c'est là qu'il faut qu'on travaille. Sur les autres aspects, on a déjà fait le tour »* (Banamart). Cependant, les parties précédentes nous ont montré que les solutions de gestion de l'enherbement citées ici, les plantes de couverture et la mécanisation, étaient encore loin de satisfaire tous les besoins des agriculteurs pour une diffusion à large échelle. En canne, le planteur innovant indique que le facteur principal de la baisse de rendement vient des produits fertilisants biologiques qui s'évaporent rapidement, couplés à une grosse sécheresse en 2015.

Pour pallier cela, l'agriculteur doit utiliser d'autres produits de fertilisation organique et associer des plantes fixatrices d'azote qui ont alors double emploi, fertilisation et gestion de l'enherbement. Ainsi, l'association de plantes de couverture en canne trouve tout son sens dans un système biologique.

Dans l'agriculture de diversification

Pour l'agriculture de diversification, l'agriculture biologique représente un moyen de valorisation fort selon les acteurs impliqués dans le développement de cette agriculture, notamment la Chambre d'Agriculture et la DAAF qui sont chargées de l'animation de cette filière (Agreste Martinique, 2014). Le développement de l'agriculture biologique en Martinique a commencé en 1997, avec trois agriculteurs de diversification qui entendaient valoriser leur système agricole traditionnel, hérité du jardin créole (Agreste Martinique, 2014). Mais ces systèmes maraîchers et vivriers en biologiques rencontrent, là encore, des difficultés, en raison du manque de références techniques sur les cultures biologiques sous climat tropical, des retours sur investissement trop faibles, et des différences d'opinion sur la définition d'une agriculture martiniquaise biologique (Agreste Martinique, 2014). Ceci aboutit à une atomisation de la filière biologique, avec en 2014 quatre associations, trois structures de collecte et une CUMA pour seulement 37 exploitations certifiées biologiques. En plus de ces structures, d'autres associations de producteurs cherchent également à valoriser des productions sans pesticides, mais se dégagent volontairement des standards biologiques européens dans lesquels ils ne se reconnaissent pas (Agreste Martinique, 2014; Pollen Conseil, 2014). Pour autant, une étude de l'IRD, commanditée par le Conseil Général de la Martinique (ancien CTM), conclut que les exploitations en agriculture de diversification entre 5 et 20 ha et celles inférieures à 5ha présentent des conditions favorables à la conversion en Agriculture biologique, de par la facilité de la mise en place de rotations (François et al., 2005).

Actuellement, les principaux freins au développement de la filière AB en diversification sont liés (Chambre d'Agriculture de Martinique, 2018) : (i) à des défauts structureaux des exploitations (petite trésorerie, faible niveau de mécanisation, difficultés à assurer une production régulière, petites surfaces qui ne permettent pas d'économies d'échelle), (ii) au manque de références techniques adaptées à l'agriculture biologique en climat tropical sur ces cultures, (iii) à la discontinuité de l'encadrement technique du fait de l'atomisation des acteurs en agriculture de diversification, (iv) à l'accès difficile aux semences et plants certifiés biologiques qui doivent être importés à défaut d'être produits localement, en sachant qu'il manque des connaissances sur l'adaptabilité de variétés allochtones. Les contraintes de marché sont également des freins importants, en raison de la concurrence des produits certifiés AB de la grande distribution et des produits caribéens de pays où la main d'œuvre est plus de 5 fois moins cher (Chambre d'Agriculture de Martinique, 2018).

De manière générale, la pratique d'une agriculture exempte de produits chimiques en diversification permet la sauvegarde d'une manière de produire et de productions patrimoniales, qui s'éloignent volontairement de la canne et de la banane, historiquement rattachées aux anciens colons et à certains scandales sanitaires (chlordécone). Aussi, on note une confusion régulièrement entre agriculture biologique et agriculture traditionnelle (Agreste Martinique, 2014). En plus d'une volonté affichée pour certains de s'éloigner du standard de production biologique européen, beaucoup de petits agriculteurs sont réticents à l'idée de se convertir, en raison des démarches administratives contraignantes et coûteuses. Pour pallier ces réticences, la Chambre d'Agriculture souhaite développer un label propre à cette agriculture patrimoniale, quand elle utilise peu voire pas d'intrants chimiques, avec une démarche administrative simplifiée comme l'a recommandé une étude de Pollen Conseil (Pollen Conseil, 2014). L'étude réalisée par l'IRD en 2005 rejoint ces conclusions en indiquant que les exploitations de moins de 5ha, aux systèmes de production proches du jardin créole, peuvent jouer de cette bonne image répandue dans la société martiniquaise en s'orientant vers des systèmes de certification de groupe ou participatives, valorisables en circuits courts (François et al., 2005).

5. Conséquence pour le bassin versant du Galion

Evolution des pratiques de gestion de l'enherbement chez les agriculteurs du bassin

Les éléments du régime examinés à l'échelle de la Martinique impactent les exploitations agricoles du territoire du bassin versant, et donc leur capacité d'innovation, comme on l'a montré pour les plantes de couverture en 2.4. Sur le bassin du Galion, sur les douze agriculteurs de banane export interrogés, six ont testé ou testent les plantes de services (PDS) en association sur une partie de leur exploitation, dont cinq qui sélectionnent des plantes spontanées (Deffontaines, 2016). Sur les neuf canniers interrogés, seule la grande exploitation de canne a testé, en 2014, l'association avec une plante de couverture implantée au cours d'une plantation (Deffontaines, 2016). Ainsi, les PDS se développent et concernent davantage les surfaces de banane de notre territoire que les surfaces de canne. Les surfaces maraîchères ne semblent pas engagées dans cette transition (Deffontaines, 2016). Le principal espoir d'évolution dans la gestion de l'enherbement via cette innovation risque de ne concerner que les planteurs en banane, soit 45% de la SAU hors prairies.

En ce qui concerne le développement de la mécanisation sur le bassin versant du Galion, les fortes pentes présentes sur la sole agricole du territoire contraignent fortement le développement de ces techniques. En effet, 41% de la surface agricole du bassin versant présentent des pentes entre 20% et 30% et 16% des terres présentent des pentes au-delà de 30%. Ainsi, cette innovation technique concernerait davantage les grandes exploitations situées en aval du bassin, qui disposeraient également du capital nécessaire à l'investissement dans de la grosse mécanisation. Ceci concernerait principalement la grande exploitation de canne aux terres mécanisables, qui représente à elle-seule 16% de la SAU du bassin versant hors prairie.

La petite mécanisation peut davantage se développer du fait de la présence de petits planteurs de canne chez qui cette technique semble se développer, ce qui concernerait 19% de la SAU du bassin versant hors prairie. Pour cela, il serait souhaitable d'encourager la formation de groupes d'entraides comme l'avait proposé la Chambre d'Agriculture (partie 4.1 sur la formation de groupes d'agriculteurs en débroussaillage), mais il faudrait également faciliter l'accès à cette mécanisation via des achats groupés ou via la CUMA pour les 37 exploitations agricoles concernées, ce qui risque d'être difficile étant donné le manque de moyens et la faiblesse structurelle de cette filière. La mécanisation se développe également en banane on l'a vu, transversalement à la taille de l'exploitation, ce qui concernerait potentiellement 45% de la SAU du bassin hors prairie. D'ailleurs, un planteur de banane situé sur le bassin versant a déjà substitué la totalité de ses usages herbicides par de la débroussailleuse sur ses 50ha. Mais cela demanderait de trouver des solutions permettant aux agriculteurs d'amortir l'augmentation du coût de la gestion de l'enherbement, sans rallonger la durée de vie d'une bananeraie qui serait contreproductive en augmentant le risque de parasitisme tellurique sur les bananiers. En ce qui concerne l'agriculture de diversification, elle se situe sur les pentes les plus fortes, et la petite mécanisation s'y développe peu en maraîchage et vivrier comme exprimé en (partie 4.1), ce qui exclut presque 12% de la SAU du bassin hors prairie.

L'agriculture biologique a de réelles possibilités de développement dans les filières diversification mais aussi, depuis peu, dans la filière banane, ce qui représente potentiellement 45% de la SAU hors prairie de notre bassin versant. Un projet est également en réflexion dans l'usine sucrière sur le développement d'une filière de sucre biologique, en encourageant les petits planteurs de canne à se convertir (entretien Canne Union), représentant 19% de notre SAU. Le changement d'orientation des acteurs de la filière banane sur l'agriculture biologique laisse espérer que des systèmes bananiers AB se développent sur le bassin versant. Mais en campant sur des systèmes résolument monocultureux, les problèmes de cercosporiose pourraient être exacerbés dû au fait que les agriculteurs certifiés n'utilisent pas tous la variété résistante à la cercosporiose. Ceci peut amener à une concentration du pathogène dans les exploitations biologiques (donc sans traitement fongicide), augmentant le risque de propagation aux exploitations proches du fait de la forte densité d'exploitations de bananes sur notre territoire. De même, la question du coût de la fertilisation biologique reste vive. Pour la filière canne, les problèmes de fertilisation biologique, à la fois chère et peu efficace pour le moment, seront certainement présents chez les petits planteurs. En outre, la faiblesse du pouvoir de négociation des planteurs en canne, surtout des petits planteurs, laisse peu d'espoir de pouvoir valoriser une canne beaucoup plus chère à produire auprès des industriels. En agriculture de diversification, le développement de l'agriculture biologique dispose de conditions plus favorables du fait que cette agriculture soit très majoritairement représentée sur le bassin versant par de petites exploitations de moins de 5ha, aux pratiques agricoles descendant du jardin créole (Brykalski, 2015; Deffontaines, 2016; Raimbault, 2014) et peu consommatrices de pesticides.

Selon les conclusions énoncées en partie 4.2, cette agriculture a tout intérêt à développer un label propre, dont les conditionnalités concernant les intrants chimiques sont similaires à l'Agriculture Biologique, mais qui ajoute une dimension patrimoniale aux productions, pour une valorisation en circuits courts rendue possible par la présence d'un marché local près de notre territoire, le Marché Nord Atlantique. Dans le contrat de rivière du Galion, le développement de l'agriculture biologique fait d'ailleurs l'objet d'une fiche action de la Chambre d'Agriculture pour les seules exploitations de diversification, excluant d'office les exploitations de canne et de banane.

Les objectifs du territoire peu pris en compte dans les transitions écologiques des filières

De manière générale, on observe que les objectifs environnementaux à l'échelle du bassin versant ne sont jamais pris en compte, de façon explicite, dans les changements de pratiques. Pourtant, il existe deux types de mécanismes qui pourraient y inciter les agriculteurs : les MAE et les contrats de bassin.

Les MAE sont dorénavant plafonnées à 30 000 € par exploitation sur les 5 ans, soit 6 000 euros/an, avec la possibilité de souscrire une seule fois à une MAE sur la durée de vie de l'exploitation. Cette orientation, qui conduit à sélectionner plutôt l'adhésion des petites exploitations, décourage les plus grandes. Les groupements de producteurs des filières canne et banane s'en indignent en arguant le fait que les changements de pratiques, dans les exploitations les plus grandes, pourraient avoir des répercussions plus visibles sur l'état de l'environnement martiniquais. Sur le bassin versant du Galion, 1/3 des exploitants se partagent 80% de la SAU, qui se retrouvent presque exclus de ce mécanisme d'incitation financière à la transition écologique.

Le développement du contrat de rivière du Galion, basé sur le volontariat, est très dépendant de facteurs exogènes qui ne concernent pas le territoire. Ainsi, l'amorce d'un développement de l'Agriculture Biologique en banane, sur le bassin versant du Galion depuis 2018, ne doit rien au contrat de rivière qui n'y fait aucune allusion mais résulte, comme on l'a vu plus haut, d'une logique intrinsèque de la filière banane. De même en canne, l'existence du contrat de rivière visant à diminuer leur usage d'herbicide ne perturbe en rien la conviction des acteurs de cette filière d'être déjà dans des pratiques agroécologiques, puisque leur niveau de pesticides hors herbicides sont faibles. Aussi, ils n'ont pas proposé d'actions spécifiques à la canne dans le contrat de rivière. Pourtant, ce dernier pourrait pousser les filières à entreprendre des projets de développement focalisés sur des objectifs territoriaux « : *on n'a pas spécifiquement des planteurs que l'on va voir parce qu'ils sont à côté d'un cours d'eau ou autre, sauf s'il y a une problématique particulière qui a été définie, par exemple dans le cadre du contrat de rivière du Galion, effectivement on va mener des actions pour ces planteurs-là puisqu'on est engagé sur ce contrat. Donc on mènera des actions avec les planteurs de ce territoire-là. Par contre l'ensemble des planteurs bénéficient des conseils de Banamart, de manière homogène* » (Banamart).

Ainsi, le contrat de rivière du Galion a réussi à orienter la filière dans l'entreprise d'actions en faveur de la réduction des fongicides post-récolte, molécules pointées du doigt par les analyses d'eau de l'ODE et du CIRAD dans les rivières de Martinique, et en particulier dans la rivière du Galion (Office De l'Eau Martinique, 2013; Raimbault, 2014). Mais cet effet du contrat doit être soutenu par des facteurs exogènes au territoire du bassin comme ce « virage écologique » entrepris par la filière banane à l'échelle de la Martinique, et la menace de Syngenta d'arrêter de vendre des produits post-récolte si leur présence dans les eaux de rivière était toujours problématique « *Sur les produits post-récolte quasiment tous les produits sont Syngenta. Quand, par les rapports de l'IT2, Syngenta apprend la pollution de l'eau par les post-récolte de banane, leur réponse a été immédiate vis-à-vis de Banamart c'est « vous faites quelque chose ou on ne vous envoie plus les produits ».* C'était clair et net » (IT2). Le territoire local peut alors devenir un objet intermédiaire pilote pour les filières, afin de mettre en place certains dispositifs, avant de les étendre à une échelle supérieure. Mais le contrat de rivière revêt une légitimité assez faible pour les agriculteurs qui, on l'a vu, participeront au contrat de rivière uniquement si les acteurs de leur filière en sont signataires. Même dans ce cas, les agriculteurs suivront en priorité les directives de leurs acteurs filières.

Finalement, le diagnostic du système sociotechnique a confirmé notre première hypothèse de thèse. En effet, nous avons confirmé le fait que le régime dominant de production et d'innovation dans l'agriculture martiniquaise est régi par des objectifs et des dépendances au chemin des filières agricoles, ce qui le verrouille contre des innovations radicales qui réduiraient de façon drastique l'utilisation d'herbicides, et qui verrouille ainsi la transition écologique du bassin versant du Galion. Nous avons montré qu'au sein du régime dominant, l'innovation se pense principalement au sein des filières du territoire d'étude, et que cela contraint l'intégration des objectifs de territoire dans les démarches d'innovation de gestion de l'enherbement à l'échelle du territoire, et donc la transition écologique du territoire.

On en conclut que pour penser une véritable transition agroécologique du territoire, adaptée aux enjeux de pollution actuels des rivières par les herbicides, il sera nécessaire d'interroger la nature des innovations et l'organisation de leur conception actuelle, pour aller vers une coordination plus explicite d'innovations en rupture à l'échelle du bassin versant du Galion, terrain de test de cette nouvelle démarche dans notre thèse.

Chapitre 4 : De nouvelles voies d'innovation pour gérer l'enherbement, combinant créativité et connaissances

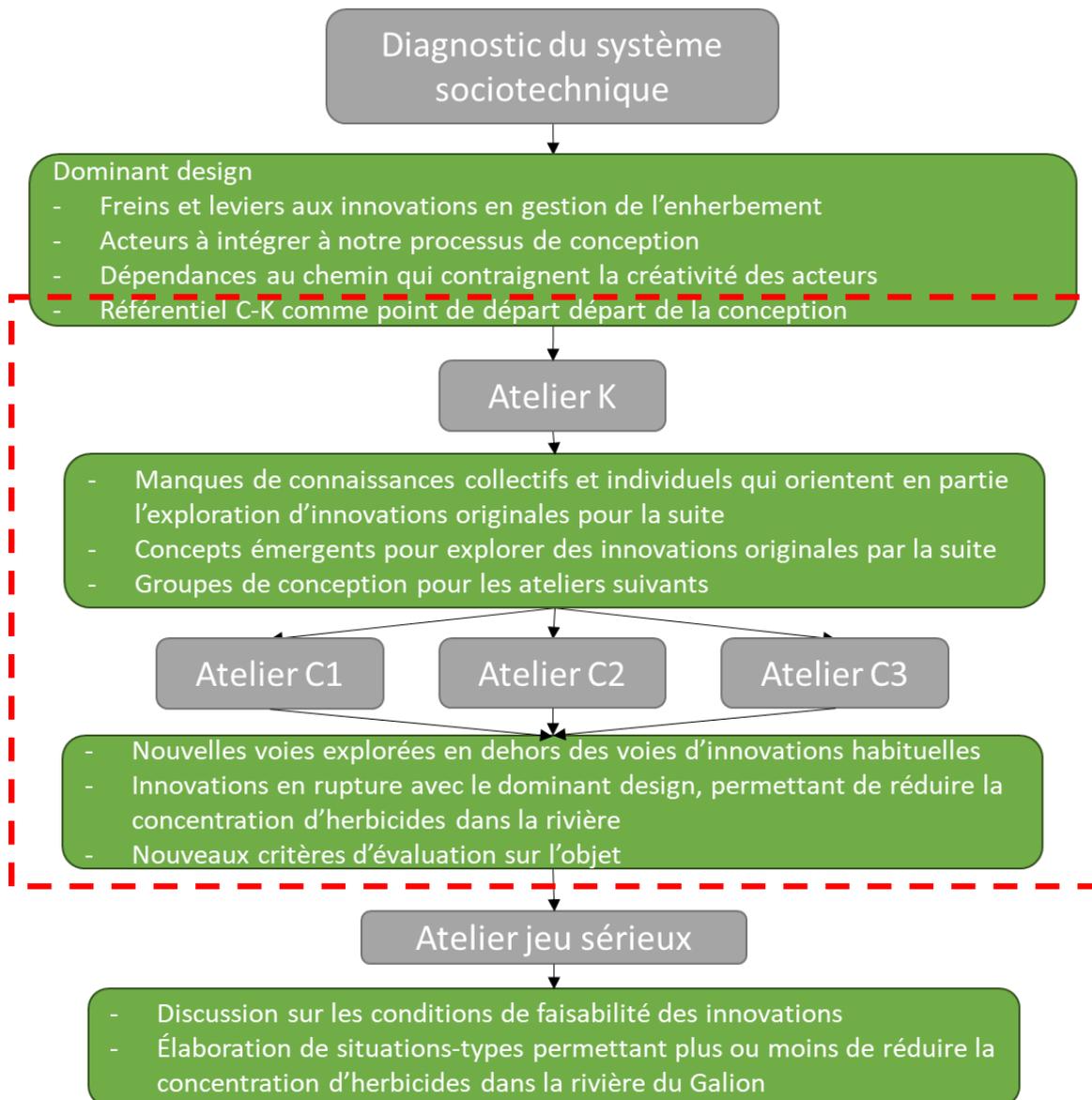


Figure 30: positionnement du chapitre 4 dans le processus expérimental de la thèse

Le diagnostic du système sociotechnique du chapitre précédent nous a permis de comprendre les mécanismes à l'œuvre aujourd'hui dans l'élaboration de solutions pour une meilleure maîtrise de l'enherbement, dans un bassin versant typique des systèmes de production martiniquais. Nous avons identifié les organisations d'acteurs concernées qui replacent cette question dans les enjeux plus vastes des filières banane, canne et diversification, organisations construites selon différentes trajectoires au cours du développement agro-économique de l'île ces trente dernières années. Ces trajectoires sont marquées par un certain nombre d'innovations clés. Nous avons à cette occasion confirmé l'hypothèse d'une étroite relation entre les composantes structurelles du régime dominant du système sociotechnique et les innovations qui sont élaborées en son sein. Se faisant, nous avons identifié des freins et des leviers à l'élargissement, l'approfondissement et à l'expansion d'innovations en rupture avec ce dominant design (chapitre 1, partie 3.2.2) qui permettraient pourtant d'améliorer encore la qualité de l'eau des rivières par leurs effets sur le transfert des herbicides dans l'eau, préoccupation fondatrice de cette thèse.

Ce chapitre vise donc à explorer de nouvelles voies d'innovation en faisant l'hypothèse que la démarche de conception choisie (Chapitre 2 supra, et partie 1.2 infra), inspirée des recherches en sciences de gestion, théorie C-K et méthode KC, offre la possibilité de dépasser les verrous identifiés dans la partie précédente.

La Figure 31 est un zoom de la Figure 30 « position du chapitre » qui explicite plus en détail le contenu de ce chapitre. Elle se lit comme suit. Au départ, le diagnostic sociotechnique (partie 2.1) vient nous apporter les connaissances nécessaires pour repérer les acteurs de l'innovation en gestion de l'enherbement en Martinique, ainsi que leurs effets de fixation et certains manques de connaissances. Nous pouvons alors réaliser le référentiel C-K qui synthétise ces résultats (partie 2.1.3, Figure 37). Grâce à ces informations, nous avons réalisé le premier atelier de conception, l'atelier de partage de connaissance ou atelier K (partie 2.2), qui nous a permis de repérer à la fois les manques de connaissances des acteurs sur les propriétés constitutives du C0 (p45), ainsi que des thèmes récurrents dans les discussions entre les acteurs. Ceci nous permettra ensuite d'orienter l'exploration de nouvelles voies de conception. Ces apports sont matérialisés dans l'évolution du référentiel C-K (partie 2.2.2, Figure 39). Pour chaque thème, l'atelier K nous a permis d'y associer (i) un concept projecteur pour orienter les discussions (ii) et un groupe d'acteurs pertinents (partie 2.2.3). Chacun des thèmes a ensuite donné lieu à un atelier d'exploration d'innovations en rupture, ou atelier C, qui ont permis d'obtenir des innovations en rupture avec le dominant design (partie 2.3), grâce auxquelles on a pu approfondir des voies nouvelles de conception, matérialisées par l'évolution de notre référentiel C-K (Figure 40).

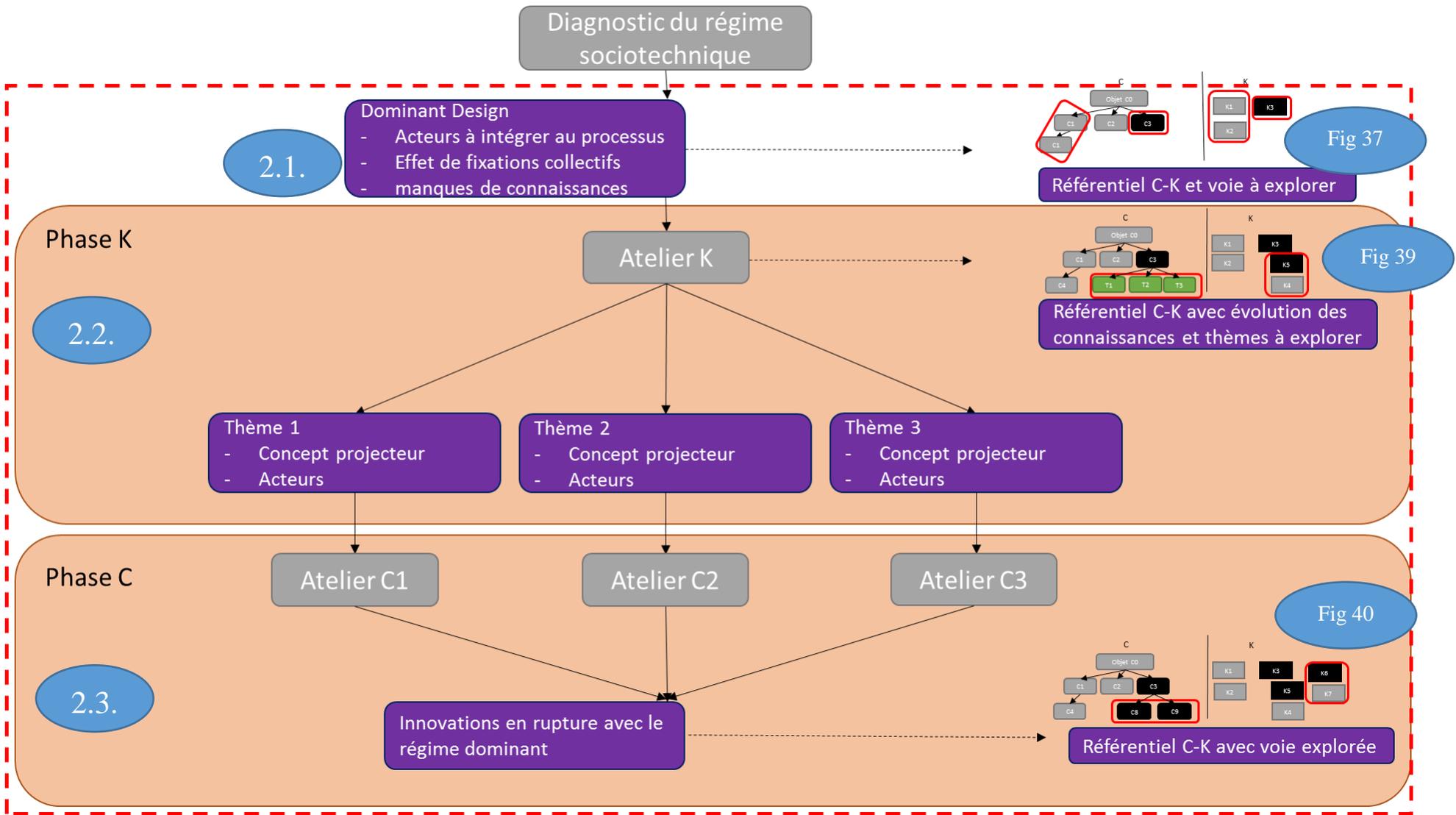


Figure 31: schéma qui explicite la succession des étapes du processus de conception explicitée dans la partie 2 (reprend la partie en pointillé de la fig. 30). Les cadres gris indiquent l'étape de conception, les cadres jaunes indiquent les résultats de l'étape de conception correspondante. Les flèches en pointillés amènent vers l'évolution du référentiel C-K qui permet de visualiser l'évolution de notre objet à concevoir C0 au cours du processus de conception. Les cadres rouges indiquent l'évolution du référentiel C-K à chaque étape. A chaque étape est indiqué le numéro de la partie correspondante du chapitre, et à chaque référentiel C-K le numéro de figure correspondante dans le chapitre.

Cette feuille est détachable pour aider la lecture du chapitre 4

Rappel du lexique C-K utilisé :

Théorie C-K : théorie issue des sciences de gestion, qui permet de modéliser et analyser un processus de conception.

Il existe deux type de conception : la conception réglée et la conception innovante. Dans ce chapitre, nous faisons de la **conception innovante**.

La **conception innovante** peut se faire suivant plusieurs méthodes parmi lesquelles nous avons choisi la méthode KCP, en conservant uniquement les phases K et C, que nous appellerons donc **méthode KC**.

C0 : inconnu désirable, objet que l'on cherche à concevoir.

1. Mise en place du dispositif de conception KC

La méthode KC (voir rappel) et sa place dans le dispositif que nous avons élaboré a été décrite dans le chapitre 1 partie 4 et chapitre 2 partie 3. Pour aider à la compréhension des chapitres suivants, nous en rappelons ici quelques principes fondamentaux et développons les principaux formalismes qui ont soutenus la mise en place, l'animation et l'analyse des ateliers participatifs que nous avons organisés.

1.1. Quelques rappels

Explicitant les mécanismes d'émergence d'innovations en rupture avec l'existant, la méthode KC fournit un formalisme du processus de conception qui permet d'éviter deux travers classiques dans les démarches d'innovation : la fermeture trop rapide de la définition de l'objet (service, l'organisation, pratiques, etc.) à concevoir, et l'enfermement des acteurs dans les connaissances et les concepts qui leur sont les plus familiers. C'est pourquoi la méthode insiste sur le travail collectif à partir d'un « inconnu désirable » qui va évoluer au cours du processus, et donne les clés pour organiser le travail collectif afin de réduire les effets de fixation et, au contraire, favoriser l'expansion des idées, des connaissances.

Pour se faire la méthode s'appuie sur quatre principes :

- **L'articulation de deux espaces complémentaires** : celui des connaissances (K), existantes ou à élaborer, et celui des concepts (C) formalisant tout ou partie des propriétés des objets encore inconnus à concevoir.
- **Une dynamique temporelle** visant une expansion maximum des échanges entre les deux espaces qui s'enrichissent mutuellement au cours du temps (une nouvelle formulation de concepts réclame de nouvelles connaissances, de nouvelles connaissances suggèrent une nouvelle voie créative)
- **Une formalisation des différentes trajectoires** de concept et de connaissances (chapitre 2, Figure 23) permettant de représenter, à chaque étape du processus, les approfondissements de concepts déjà bien rodés et les connaissances stabilisées (en gris clair), des concepts atteignables et des connaissances à adapter, à transformer, à transférer (en gris foncé) ou des concepts complètement décalés, en rupture avec ce qui se fait, et les manques radicaux de connaissances associés (en noir).
- **Le référentiel C-K**, nécessaire pour amorcer le processus, est formulé sur la base des concepts et des connaissances associées au dominant design (p44), et sous la forme d'un C0 qui soit un inconnu commun que l'on cherche à concevoir avec les acteurs impliqués. Ce C0 doit à la fois être suffisamment large pour permettre les explorations en rupture avec ce qui se fait actuellement, mais doit également contenir les propriétés fondamentales de l'objet que l'on veut maintenir absolument.

1.2. Déroulé de l'étape KC du dispositif de conception

1.2.1. Extraire du diagnostic du régime sociotechnique les bases nécessaires pour initier le processus de conception

La grille d'analyse

Dans un premier temps l'ensemble des données du diagnostic sociotechnique du chapitre 3 portant sur les acteurs, sur les connaissances partagées au sujet des cultures et leurs filières, et sur les changements techniques et organisationnels réalisés, ont été reformulés, traduits, dans le cadre de la théorie C-K en utilisant ses formalismes (chapitre 2, Figure 23). Tout d'abord sous la forme de diagrammes C-K par filières, puis sous la forme d'un diagramme commun (référentiel C-K) destiné à servir de base de départ aux ateliers de conception, en distinguant les voies de conception déjà explorées par les acteurs de celles qui sont à explorer. De cette façon, nous serons capables de repérer (i) les principaux effets de fixation hérités du dominant design des filières agricoles, (ii) et les acteurs pertinents à associer aux ateliers de conception. La grille d'analyse suivante (Tableau 8) nous permet de sélectionner les informations du diagnostic sociotechnique et des diagrammes C-K par filière agricole qui en découle.

Tableau 8: grille d'analyse des entretiens du diagnostic sociotechnique, pour l'élaboration du référentiel C-K

Thèmes	Objectifs	
	Elaboration de notre référentiel C-K	Repérage des effets de fixation collectifs
Les innovations actuelles	<ul style="list-style-type: none"> - Distinguer dans la recherche d'innovations les propriétés privilégiées, ignorées, écartées, et pourquoi - Définir l'historique du développement des innovations, les diagnostics qui ont guidés leur développement et l'évolution des innovations au cours du temps - Distinguer les connaissances utilisées pour générer les innovations, et comment ces connaissances ont été créées - Distinguer le degré de rupture des innovations avec les systèmes de culture actuels, à l'aide de la grille Efficience, Substitution, Reconception (Hill and MacRae, 1996) 	<ul style="list-style-type: none"> - Succession de concepts connus et des connaissances stabilisées qui y sont reliées. Le formalisme C-K permet de repérer les effets de fixation comme sur le schéma suivant : l'effet de fixation est une succession de concept connus, entourée ici en orange, auquel correspondent des connaissances stabilisées
Les acteurs de l'innovation	<ul style="list-style-type: none"> - Tel acteur a participé au développement de telle innovation - Objectifs des acteurs dans le développement des innovations - Les relations formelles et informelles entre les acteurs du développement d'innovation, leurs accords et désaccords 	<ul style="list-style-type: none"> - Répartir les acteurs selon les branches des diagrammes qu'ils ont explorées - Distinguer le rôle des acteurs dans le développement des innovations

Figure 32: référentiel C-K avec effet de fixation

Elaboration des diagrammes C-K par filière

Les diagrammes C-K par filière ont été construits de la manière suivante. Tout d'abord, nous avons demandé aux acteurs de chaque filière quel était l'objet qu'ils souhaitaient voir émerger à travers leurs innovations. Cela nous a donné leur C0f, point de départ de leurs arbres de concepts Cf. Ensuite nous avons étudié les innovations développées dans chacune des filières en extrayant leurs principales propriétés. Pour cela, nous avons cherché à répondre aux questions suivantes : (i) quel degré de changement elles impliquent sur le C0f, (ii) quelle(s) propriété(s) du système de production elles rediscute(nt), modifie(nt),

Pour répondre à la question (i), nous nous sommes aidés de la grille de lecture des innovations de (Hill and MacRae, 1996) qui classe les innovations agronomiques en fonction du degré de changement qu'elles impliquent sur le système de production. Les agriculteurs souhaitant au maximum conserver leur stratégie agricole actuelle (Espinosa-Goded et al., 2010), nous avons considéré que moins une innovation modifiait le système de production actuel, et moins cette innovation s'inscrivait dans une voie en rupture avec le dominant design.

La question (ii) nous a aidé à définir les concepts explorés par les acteurs dans les arbres Cf (Annexe 4). Pour construire un arbre Cf, il faut ajouter des propriétés au concept initial C0f. Ces propriétés vont soit partitionner un concept (on appelle cela une partition restrictive), soit étendre la définition d'un concept (on appelle cela une partition expansive) (Agogué et al., 2013). Pour les arbres Cf, la formalisation d'une branche de concept a été guidée par une ou plusieurs innovations, regroupées en sets d'innovations définis selon la propriété du C0 discutée (Annexe 4).

Maintenant que nous avons nos branches, il faut déterminer si les concepts sont connus, atteignables, ou en rupture (partie 1.1), c'est-à-dire caractériser la stabilité des connaissances. Pour chaque concept, nous avons observé deux caractéristiques. Tout d'abord, nous avons observé la distribution des efforts de conception des acteurs selon la méthode de Agogué (Agogué, 2012), caractérisée ici par le nombre d'innovations développées issues du concept ou de la branche de concept. Cet élément nous permet de distinguer si les concepts ou branches de concepts qui ont fait l'objet d'une plus ou moins grande génération de connaissances. Puis, nous avons observé si le concept ou la branche de concepts amène vers des innovations plus ou moins en rupture avec le régime sociotechnique actuel.

Enfin, pour compléter nos arbres, nous avons réparti les acteurs sur chacune des branches explorées, selon leur participation au développement des innovations qui ont guidé la formalisation des branches de concepts.

A l'issue de ce traitement des données, nous avons obtenu les arbres des concepts pour la canne, banane et l'agriculture de diversification, ainsi que leurs espace K de connaissance. A partir de ces diagrammes C-K de filières, nous avons réalisé le référentiel C-K issue du C0 de la thèse.

1.2.2. Premier étape de conception : partager les connaissances existantes, repérer les connaissances manquantes

Afin de placer les acteurs dans un raisonnement de conception innovante, l'atelier K permet un partage de connaissance à partir de présentations-discussions d'experts. Afin que les présentations mettent les acteurs dans un état d'esprit de prospective, nous avons émis deux règles à l'attention des experts pour que leurs présentations contiennent :

- Un bilan des connaissances et des manques de connaissances, non seulement ce que l'on sait mais aussi les questions qui se posent
- Des exemples originaux pour permettre aux acteurs de sortir du cadre habituel de réflexion

Les résultats de cet atelier sont de quatre types : (i) Les manques de connaissances individuels et collectifs ; (ii) Les effets de fixations collectifs et/ou individuels ; (iii) Des concepts projecteurs émergents qui visent à explorer une branche en expansion du référentiel C-K issu du C0, (iv) la constitution des groupes de conception pour les ateliers suivants. Pour amorcer l'atelier suivant d'exploration d'idées nouvelles, ces résultats sont synthétisés dans l'évolution du référentiel C-K.

L'atelier K de partage de connaissance a été organisé le 6 mars 2018, d'une durée de 6h, et a réuni 26 participants. Cet atelier K a consisté en de courtes présentations d'experts sur un thème donné (15-20 min) séparées par un temps de questions-discussions avec les autres participants. Les sujets des présentations ont été déterminés d'après les résultats du diagnostic sociotechnique. La grille de lecture suivante (Tableau 9) nous a permis d'extraire les informations nécessaires au remplissage des objectifs de cette étape.

Tableau 9: grille d'analyse des données observées pendant la phase K

	Résultats pour la construction du référentiel C-K	Résultat sur l'atelier de conception
Traitement des informations	<ul style="list-style-type: none"> - Distinguer les connaissances en fonction de l'importance des discussions qu'elles ont suscitées auprès des acteurs - Distinguer les manques de connaissances des acteurs à travers leurs questions et leurs affirmations - Repérer des idées originales d'innovations émises par les acteurs - Repérer des thématiques récurrentes dans les discussions 	<ul style="list-style-type: none"> - Distinguer les propriétés des connaissances communes - Distinguer les propriétés des manques de connaissances - Distinguer les positions des acteurs sur les connaissances et les manques de connaissances discutées

1.2.3. Seconde étape de conception : explorer des idées nouvelles

A l'issue de l'atelier K nous avons pu déterminer des thèmes à explorer avec les acteurs, c'est-à-dire des grandes thématiques qui vont nous permettre d'approfondir le référentiel C-K issu du C0, et d'y associer un groupe d'acteurs pertinents avec lesquels explorer chacun des thèmes.

Afin d'explorer ces thèmes de façon dirigée en dehors des effets de fixations collectifs des acteurs, les sorties de l'atelier K nous ont également permis d'élaborer des concepts dits projecteurs, associés aux thèmes à explorer. Leur formulation a été travaillée en amont de chaque atelier d'exploration (dit C) par l'équipe d'animation pour s'assurer de démarrer chaque séance avec des définitions enrichies, décalées, élargies de l'objet en cours de conception.

Les résultats des ateliers C sont également de deux ordres. Tout d'abord, les résultats qui servent à la construction du référentiel C-K, à savoir : (i) de nouvelles partitions du référentiel C-K issu du C0 à l'aide de connaissances nouvelles, (ii) des innovations en rupture avec le dominant design, permettant de réduire la concentration d'herbicides dans la rivière. Enfin, les résultats sur les ateliers, à savoir si la méthode de conception a bien réussi à écarter les acteurs de leurs effets de fixation collectifs repérés à l'issue de l'élaboration du référentiel C-K (partie 1.2.1).

Nous avons ainsi mené 3 ateliers d'exploration. Chaque atelier a permis d'explorer un des trois thèmes, à partir d'un concept projecteur, avec un groupe de 5 ou 6 acteurs sélectionnés en fonction du thème (composition en Annexe 3). Ces groupes ont été guidés dans l'exploration par un animateur spécialiste de la méthode et particulièrement vigilant à éviter que les acteurs reviennent vers les effets de fixation identifiés. Ces ateliers ont eu lieu entre mai et septembre 2018. La grille de lecture suivante (Tableau 10) nous a permis d'extraire les informations nécessaires au remplissage des objectifs de cette étape.

Tableau 10: grille d'analyse des données observées pendant la phase C

	Résultats pour la construction du référentiel C-K	Résultat sur les ateliers de conception
Traitement des informations	<ul style="list-style-type: none">- Relever les idées nouvelles d'innovations émises par les acteurs- Distinguer les propriétés des nouvelles idées d'innovations et leur degré de rupture avec les effets de fixations collectifs	<ul style="list-style-type: none">- Relever les discours en lien avec les filières- Relever la présence de règles spécifiques aux filières dans les idées d'innovations des acteurs- Relever l'échelle de réflexion des acteurs à travers leurs idées d'innovations- Relever l'échelle de réflexion à travers les représentations des processus par les acteurs (innovation, transfert des herbicides, gestion de l'enherbement)

1.2.4. La participation des acteurs aux ateliers K et C de conception : une participation principalement discontinue entre les ateliers

En tout, nous avons 31 personnes qui ont participé à la phase de conception innovante (ateliers K et C, Annexe 3). La phase C a demandé moins de participants que la phase K car les explorations ont été faites en 3 sessions, avec un petit groupe de 5-6 personnes par session. Cependant, on note que seuls 8 sur 15 participants à la phase C ont participé également à l'atelier K.

2. Résultats : Elaboration de nouvelles voies d'innovation Les résultats de la première phase de conception KCP du dispositif

2.1. Initier le processus de conception à partir du régime d'innovation actuel

Pour dépasser le dominant design dans l'innovation de gestion de l'enherbement à l'échelle territoriale du bassin versant, il faut d'abord en tracer le périmètre, ce que nous avons fait en cartographiant les voies d'innovation de chaque filière (figures 33, 34 et 35) (partie 2.1.1) sous forme d'arbre des concepts que nous avons pu comparer pour identifier plus finement les effets de fixation, puis dessiner la base de connaissance que tous les acteurs activent spontanément lorsqu'ils innovent dans ce domaine (partie 2.1.2). Enfin, nous avons construit le référentiel C-K de conception pour le concept initial à construire dans cette thèse (le C0), pour rendre compte des objectifs formulés par les acteurs et des voies de conception qu'ils explorent préférentiellement aujourd'hui sur cet objet (partie 2.1.3).

2.1.1. Mise à jour des voies d'innovation explorées par les acteurs en gestion de l'enherbement

En suivant la méthode présentée en 1.2.1, nous avons réalisé les diagrammes C-K des filières banane, canne et diversification, dont nous avons extrait les arbres Cf (respectivement les figures 33, 34 et 35). Grâce à ces trois arbres, nous allons pouvoir identifier les effets de fixation collectifs des acteurs de l'innovation en gestion de l'enherbement (2.1.1.1), ainsi que les acteurs à inclure dans notre dispositif de conception (2.1.1.2).

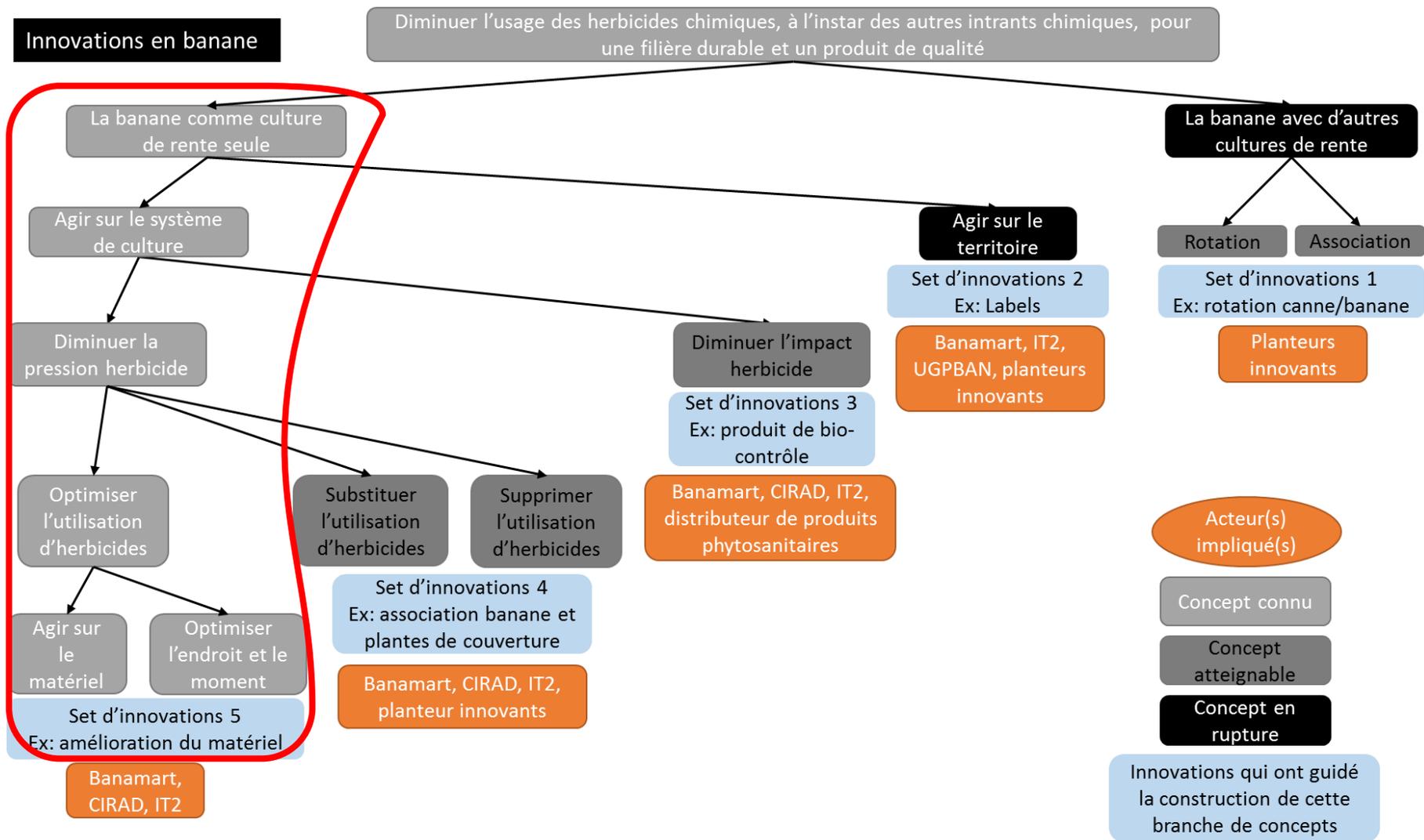


Figure 33: arbre des concepts explorés par les acteurs de l'innovation en gestion de l'enherbement en banane, effet de fixation entouré en rouge

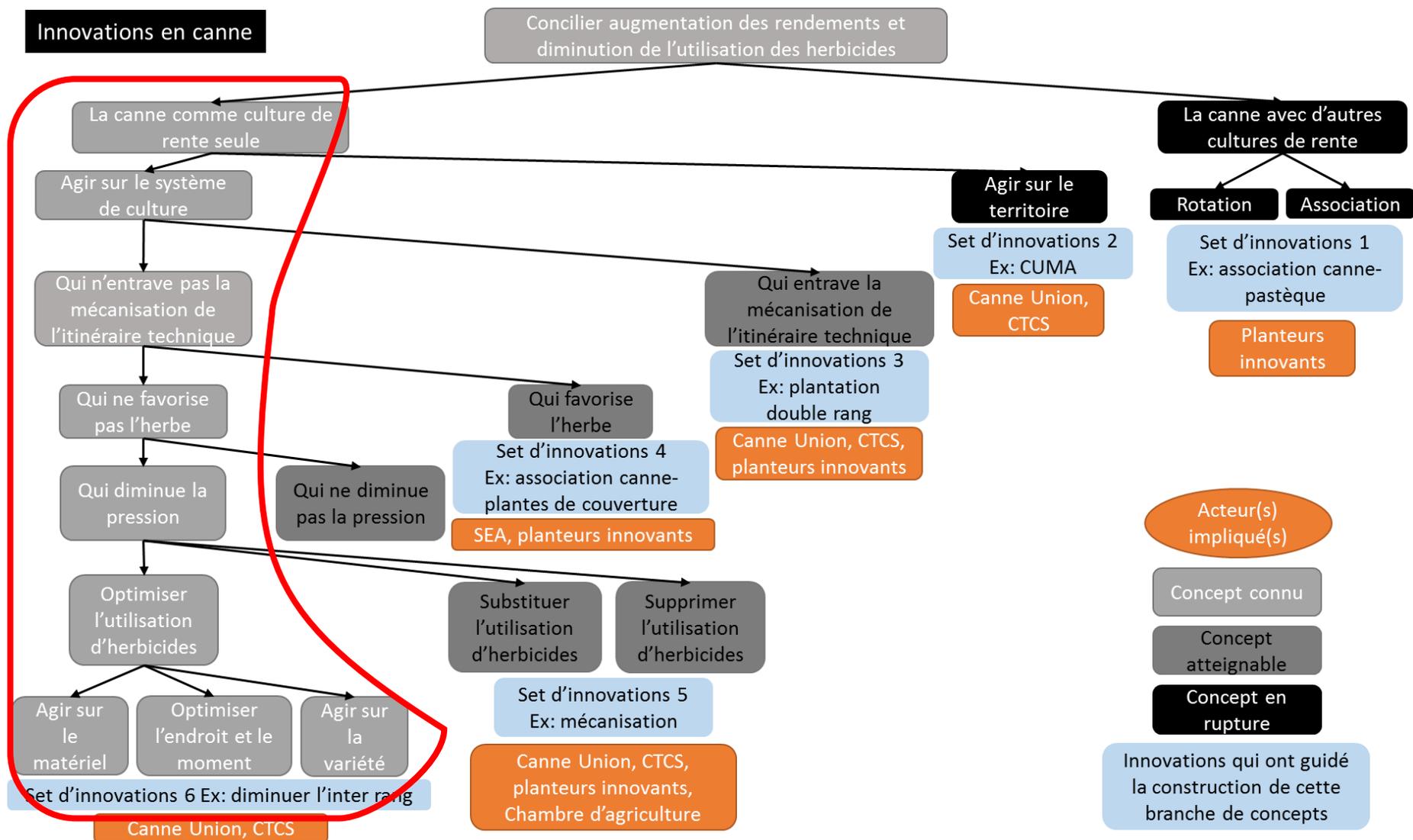


Figure 34: arbre des concepts explorés par les acteurs de l'innovation en gestion de l'enherbement en canne, effet de fixation entouré en rouge

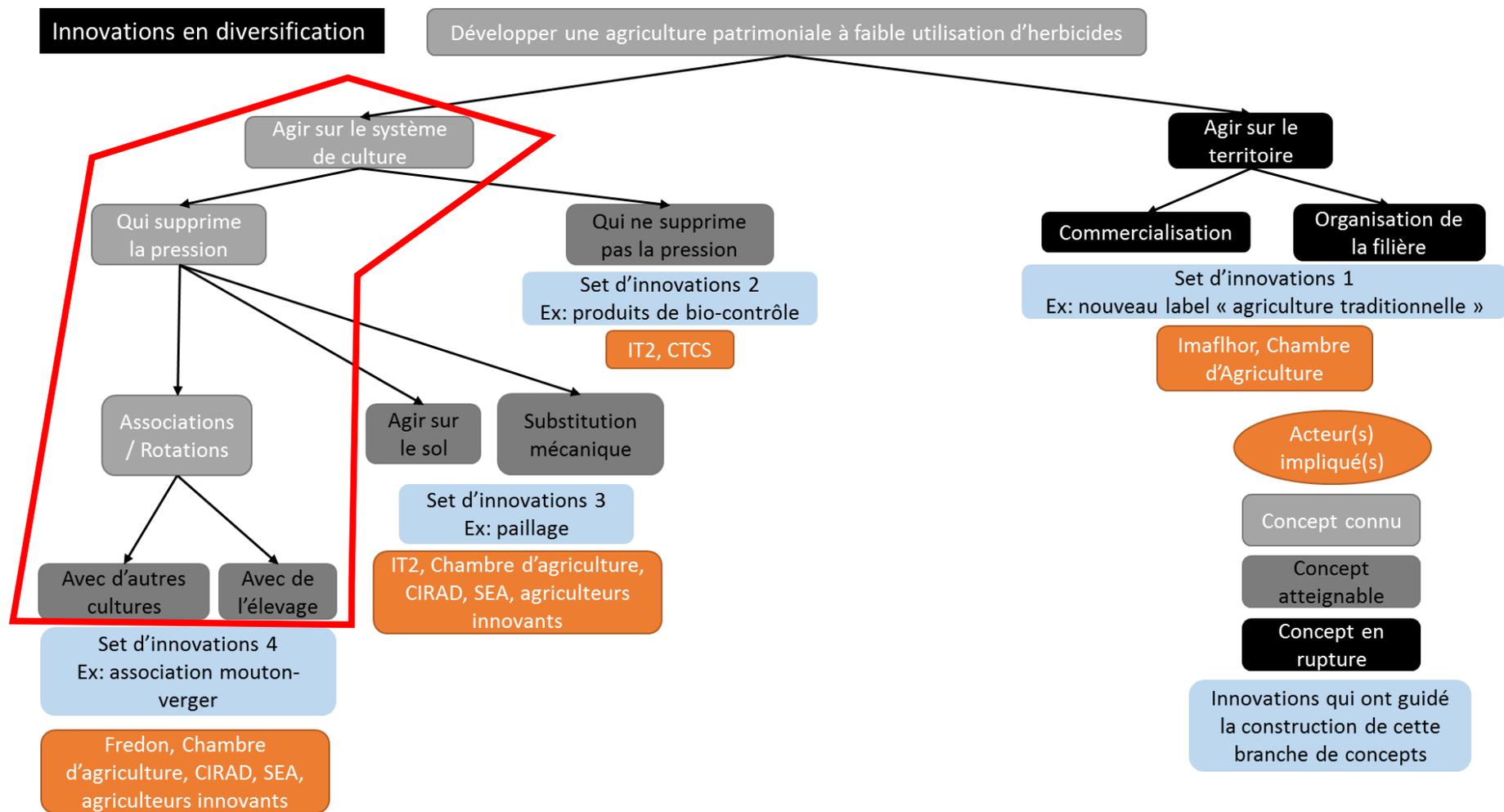


Figure 35: arbre des concepts explorés par les acteurs de l'innovation en gestion de l'enherbement en agriculture de diversification, effet de fixation entouré en rouge

2.1.1.1. Les effets de fixations collectifs des acteurs de l'innovation en gestion de l'enherbement

La lecture des branches les plus développées dans les figures 33, 34 et 35 permet d'identifier un effet de fixation principal, communs aux trois filières. Cet effet de fixation se distingue par la suite la plus longue de concepts connus (partie 1.2.1). Il se caractérise par la focalisation des acteurs du secteur agricole martiniquais à innover à l'échelle de la parcelle. Un deuxième effet de fixation a été relevé à partir du diagnostic du système sociotechnique, qui se lit ici par la nécessité d'établir des arbres propres à chaque filière, à savoir la focalisation des acteurs à innover au sein d'une filière de production. Dans ce paragraphe, nous expliciterons les faits qui apportent la preuve de l'existence de ces deux effets de fixation, en remobilisant des informations issues du chapitre précédent. Les sets d'innovations sont explicités dans l'Annexe 4.

Il convient de rappeler que d'autres innovations ont eu lieu à l'extérieur de la parcelle, comme le montre les figures 33, 34 et 35 (formation de CUMA par exemple). Mais elles sont moins nombreuses que les innovations situées sur les effets de fixation des acteurs. Comme nous souhaitons, dans cette thèse, décaler les acteurs de leurs biais cognitifs, nous focaliserons notre analyse en priorité sur les innovations intervenant dans les effets de fixation.

Effet de fixation de la focalisation des acteurs sur l'échelle parcellaire pour innover

Nous montrons ici que les acteurs de l'innovation en gestion de l'enherbement en Martinique ont en commun de s'intéresser préférentiellement à l'échelle parcellaire lorsqu'ils développent des innovations, même si les raisons de cette focalisation diffèrent entre les filières monoculturelles et le secteur agricole diversifié. Bien que les filières canne, banane et diversification ont plus ou moins des concepts connus en communs, la succession de concepts connus aboutit dans les trois cas à la recherche privilégiée d'innovation à l'échelle de la parcelle.

Les filières canne et banane présentent une longue succession de concepts très similaires, partant du concept « la canne/la banane comme culture de rente seule » et terminant sur « optimiser l'utilisation d'herbicides ». Ces deux filières ont en commun de cultiver en monoculture, par des exploitations spécialisées dans l'une ou l'autre culture. Quelques grandes exploitations pratiquent les deux cultures, et font parfois des rotations canne/banane sur une même parcelle, mais ce phénomène reste anecdotique. Ces deux filières ont donc en commun de rentabiliser leur système de production sur une seule culture, canne ou banane. Les acteurs du conseil et de la recherche de ces filières ont surtout exploré les concepts « agir sur le système de culture » à l'échelle de la parcelle, et particulièrement sur les pratiques « qui diminuent la pression herbicide » en optimisant, substituant ou supprimant l'utilisation d'herbicide du système de culture actuel. Ceci peut s'expliquer par un régime sociotechnique qui encourage le maintien des systèmes de production actuels, par différents moyens.

Tout d'abord, la dépendance des filières canne et banane aux subventions européennes, calculées en fonction d'un rendement élevé à la parcelle, diminuent la marge de manœuvre dans la recherche d'innovation, à l'instar d'autres filières monoculturelles dont les systèmes sont viables grâce à des économies d'échelles (Altieri et al., 2005). De plus, ces filières sont fortement structurées pour l'écoulement de leur production, quand les filières de diversification sont atomisées, peu structurées, avec une capacité d'absorption des produits faibles, ce qui rejoint les conclusions de (Meynard et al., 2018) sur les freins à la diversification en France, interconnectés tout au long de la chaîne de valeur. On note par exemple le manque de références quantifiées sur la rotation de culture et les contraintes logistiques pour la collecte des récoltes.

C'est pourquoi ces systèmes monoculturels, à l'instar d'autres systèmes monoculturels, ont tendance à évoluer en restant dans leur système monoculturel. Cependant, les monocultures sont propices à l'attaque de ravageurs car elles concentrent les ressources que cherchent les ravageurs de cultures spécialisées (Altieri et al., 2005), ce qui induit une forte utilisation de pesticides, dans un contexte de prise de conscience environnementale. C'est le cas notamment de la cercosporiose pour la banane, ou encore de certaines adventices qui se développent préférentiellement en fonction de types de production (herbe à riz pour la canne par exemple). Ces filières monoculturelles sont alors prises dans un paradoxe, celui de rester dans le modèle productiviste monoculturel pour assurer leur survie économique, basé sur l'utilisation d'intrants chimiques, tout en cherchant à répondre à la demande de la société civile de réduire leurs impacts environnementaux. Cette situation amène les filières monoculturelles, comme la canne et la banane, vers une forme de faible modernisation écologique au sens de (Duru et al., 2014), qui cherche à conserver le régime dominant actuel en optimisant l'utilisation des intrants, ou en substituant des éléments du système de production comme ici avec l'utilisation d'intrants biologiques ou de nouvelles variétés plus résistantes ou à croissance plus rapide, sans reconcevoir la logique monoculturelle du système. Les changements ont lieu principalement à l'échelle de la parcelle, pour y développer le système de culture optimisé le plus proche possible du système actuel, qui ne remette pas trop en question l'organisation des unités de production et de la filière.

A contrario, l'agriculture de diversification, qui vise à développer « une agriculture patrimoniale à faible utilisation de pesticides », ne possède pas de branche de concepts qui concernerait une seule culture de rente. Cette agriculture regroupe une grande diversité de systèmes de culture, dont beaucoup sont diversifiés jusqu'à l'échelle de la parcelle. La recherche agronomique dans ce secteur, fortement influencée par une mouvance agroécologique chez les acteurs de la recherche, du conseil et des nombreuses organisations de producteurs, souhaite favoriser avant tout la suppression des intrants chimiques pour répondre à la volonté de la société civile martiniquaise d'une agriculture locale sans externalités négatives. C'est pourquoi certains acteurs cherchent à développer la certification en agriculture biologique des exploitations de ce secteur agricole.

Finalement, une grande diversité d'acteurs, peu organisés, interviennent dans l'innovation, avec des moyens financiers beaucoup plus faibles que pour les filières monoculturelles. Ce manque de coordination et de moyens financiers dans les projets de recherche de ce secteur agricole implique des connaissances éparpillées et peu validées, et donc des concepts flous qui ne sont pas encore bien connus. Mais à l'instar des filières monoculturelles, les acteurs de la recherche dans ce secteur ont approfondi préférentiellement les innovations à l'échelle de la parcelle, principalement dans le but de répondre à un manque de connaissances stabilisées sur ces systèmes agricoles. Pour cela, les acteurs de l'innovation ont produit des connaissances sur les systèmes diversifiés existants qui comprennent très souvent des associations et rotations culturales, également des rotations et associations avec de l'élevage. Devant le manque d'organisation des agriculteurs de ce secteur agricole, l'innovation à des échelles supérieures qui comprendraient des modes de coordinations ou d'organisation entre agriculteurs semblent peu réalisables, ce qui explique le manque de recherche d'innovations à des échelles plus territoriales.

On constate que les acteurs des trois filières ont également en commun le fait de vouloir développer des solutions agroécologiques, même si elles doivent permettre de conserver au maximum le régime de production agricole actuel. Or, développer des solutions agroécologiques implique souvent de changer d'échelle de conception car il faut prendre en considération des interrelations à des échelles intégratives (flux hydrologiques pour le bassin versant par exemple). C'est pourquoi, en s'interrogeant à des échelles supérieures, il est possible de développer des solutions qui ne sont pas du tout visibles à l'échelle parcellaire. A travers notre processus de conception, nous chercherons à dépasser cet effet de fixation des acteurs.

Effet de fixation des acteurs à innover au sein d'une seule filière

Le deuxième effet de fixation commun aux acteurs des trois filières est cette propension à développer des innovations par filière. C'est-à-dire que les acteurs, les projets de recherche, sont organisés par filière pour développer des innovations propres à chaque système de production, sans s'interroger sur de potentiels partages de connaissance, de moyens, avec d'autres filières.

C'est grâce aux conclusions du chapitre précédent (chapitre 3) sur le diagnostic du régime sociotechnique que nous avons pu distinguer cet effet de fixation sur la préférence des acteurs à innover au sein des filières de production. Des échanges de connaissances ont lieu entre les acteurs de la recherche et du conseil, grâce à quelques projets transversaux, mais on observe peu de transfert d'innovations d'un institut à l'autre. Ces transferts entre filières sont généralement le fait d'agriculteurs innovants, comme le montre le transfert des plantes de couverture de la banane vers la canne. Mais les réseaux informels entre agriculteurs à l'échelle du bassin versant sont eux aussi structurés par filière, ce qui verrouille la circulation d'information transversale.

Cette situation entrave le développement de systèmes durables à l'échelle territoriale, encore fortement négligé dans la recherche agronomique selon Wezel et al (Wezel et al., 2016). Ces conclusions rejoignent celles de (Augusseau et al., 2012) qui démontrent que l'organisation de l'agriculture en filière est un frein à la mise en place de projets territoriaux. Car les mesures incitatives des dispositifs agroenvironnementaux actuels type Mesures Agro-Environnementale (MAE) impliquent que la responsabilité d'adhérer à une démarche environnementale incombe aux organisations professionnelles, renforçant la position stratégique des filières. D'autant plus que, selon Augusseau et al (Augusseau et al., 2012), l'orientation des politiques de développement agricole sont basées sur des diagnostics de filière et non sur des diagnostics de territoire, ce qui exclut d'emblée les objectifs territoriaux dans le développement agricole. Or, nous souhaitons diminuer la concentration d'herbicide dans la rivière d'un bassin versant très hétérogène en matière de spécialisation agricole. C'est pourquoi il est nécessaire d'amener les acteurs de l'innovation en gestion de l'enherbement à réfléchir de manière transversale aux filières. A travers notre processus de conception, nous chercherons donc à dépasser le deuxième effet de fixation des acteurs, à savoir la prédominance de la recherche de solutions intra-filière.

Nous souhaitons ajouter qu'en plus de vouloir innover préférentiellement à la parcelle, les acteurs de la canne et de la banane se focalisent sur le maintien d'un système qui se base sur une seule culture de rente. Mais cette focalisation n'existe pas en agriculture de diversification, et afin de répondre à l'objectif de conception de cette partie de la thèse, qui est de s'écarter des effets de fixation des acteurs des trois filières du territoire d'étude, nous nous intéresserons préférentiellement aux deux effets de fixation communs aux trois filières.

Aussi, le dominant design repéré ici est le développement d'innovations à l'échelle des parcelles, au sein des filières, qui conservent au maximum les systèmes de culture existants.

2.1.1.2. Les acteurs à inclure dans le dispositif de conception

Les concepteurs de la méthode KC indiquent que le groupe d'acteurs doit être composé d'experts ayant des domaines et des compétences couvrant le périmètre d'exploration (Agogué et al., 2013). Pour couvrir l'ensemble des trois filières au-delà des organismes spécialisés, nous avons identifié, dans les organismes plus généralistes comme la chambre d'agriculture ou le centre de recherche CIRAD, les acteurs responsables de l'innovation des départements ou unités de recherche qui sont, là encore, spécialisés dans une seule filière agricole. Le périmètre d'exploration implique également les acteurs intervenant directement sur le territoire ou sur les ressources en eau. Ainsi, nous avons sollicité : (i) des acteurs institutionnels responsables du développement de l'agriculture, toutes filières confondues, (ii) et ceux intervenant sur la surveillance et la restauration de la qualité de l'eau des rivières à l'échelle de la Martinique, (iii) ainsi que la seule organisation qui soit propre au bassin versant. En associant des acteurs des filières et des acteurs du territoire, on vise le dépassement d'une innovation préférentiellement fixée à l'échelle de la parcelle.

Le risque pour un dispositif de réflexion collective qui mêle des acteurs trop différents est de voir se réduire les échanges à un consensus minimaliste, trop rapide, réduit aux connaissances communes des acteurs et bridant la créativité (Le Masson et al., 2014). C'est la raison pour laquelle nous avons identifié, dans l'analyse du système sociotechnique, les connaissances communes, stabilisées dans les branches d'innovation les plus classiques, mais aussi les connaissances moins stables et les manques de connaissances associées aux branches d'innovations les plus en rupture vis-à-vis de notre objectif de conception, connaissances à enrichir pour élargir le champ des possibles au cours du processus.

2.1.2. Mise à jour de la base de connaissances utilisée par les acteurs de l'innovation en gestion de l'enherbement

La Figure 36 présente la base de connaissances des acteurs qui innove en gestion de l'enherbement dans les filières canne, banane et diversification de Martinique. Cette base de connaissance représente l'espace K commun aux arbres Cf des filières (figure 33, 34 et 35). Pour discuter de ces connaissances, nous reprendrons les thèmes (encadrés pointillés) de la Figure 36. Ces thèmes regroupent les connaissances des acteurs et forment leur périmètre d'exploration du C0.

(Figure 36, a). Concernant la chlordécone, les acteurs de l'innovation en Martinique ont une connaissance récente mais approfondie des règles de gestion des terres polluées. Ces règles indiquent les Limites Maximales de Résidus (LMR), les cultures autorisées en fonction du degré de contamination du sol (Clostre et al., 2017), mais aussi les risques de contamination des animaux d'élevage qui pâturent sur des terres polluées (Jondreville et al., 2014). Les analyses de sol sont gratuites et les denrées vendues sont très régulièrement contrôlées dans les circuits de commercialisation formels. Cependant, avec le niveau de contamination des milieux et les problèmes de santé associés, la méfiance de la population martiniquaise a amené les instances de l'Etat et le Parc Naturel de Martinique à proposer la mise en place d'un label « 0 chlordécone » pour rassurer le consommateur. Dans les zones polluées, ces connaissances, associées à la méfiance élevée des consommateurs, limitent fortement les possibilités d'associations de cultures ou d'association cultures-élevage.

(Figure 36, b). Par contre, en ce qui concerne les connaissances sur les mécanismes de pollution de la rivière liées aux herbicides, on observe des manques importants qui contribuent à ce que les acteurs, toutes filières confondues, peinent à relier les pressions herbicides et les impacts observés dans les rivières. Dans les filières canne et diversification, les acteurs regrettent le peu d'informations que leur fournissent les agences chargées de la surveillance de la qualité de l'eau. Plus généralement, le comportement des molécules dans un environnement tropical et les produits de dégradation de ces molécules sont mal connus. La volonté de réduire l'usage d'herbicides, présente sous des formes différentes dans les trois arbres Cf des filières, ressort surtout d'un principe de précaution (sans doute entretenu par l'intense débat récent sur la chlordécone) induisant de relier directement la diminution de l'impact à une diminution de la pression.

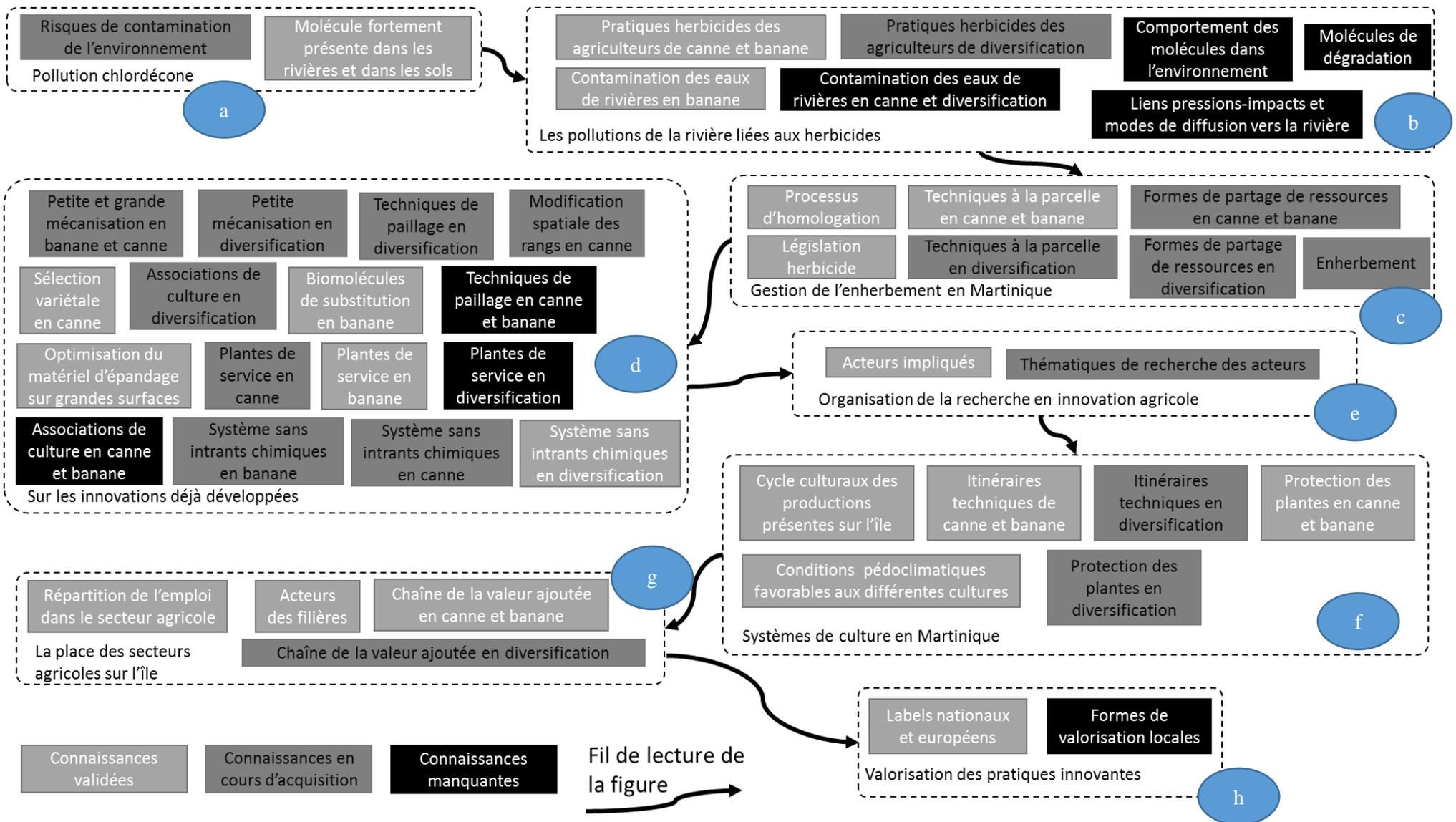


Figure 36: espace K des connaissances des acteurs de l'innovation en gestion de l'enherbement en canne, banane et diversification en Martinique, pour une réduction de la présence d'herbicide dans les rivières. Les ronds bleus sont des indicateurs pour la lecture du texte.

(Figure 36, c). Si la gestion chimique de l'enherbement est bien connue des agriculteurs en canne et en banane (processus d'homologation, législation et techniques à la parcelle), elle est plus partielle dans le secteur diversifié. La thématique la plus discutée au moment de nos entretiens pour optimiser et réduire cette gestion chimique, et ce dans toutes les filières, concerne la nécessité d'approfondir les connaissances sur le peuplement végétal de l'enherbement en Martinique dans trois directions : la reconnaissance des stades précoces des adventices, la détermination des périodes de désherbage les plus efficaces et la sélection de couverts spontanés qui présenteraient de bonnes qualités agronomiques (maintien de la fertilité, de l'humidité du sol, etc.). Les connaissances sur les autres pratiques (mécanique, manuelle) sont moins partagées. Elles réclament souvent plus de ressources matérielles ou en travail qu'une gestion chimique, ressources d'accès très variables selon la taille des systèmes de production, renvoyant à des connaissances techniques sur les machines mais aussi à des connaissances organisationnelles sur les différentes formes de partage de ressources entre agriculteurs (CUMA¹², GIE¹³, koudmen¹⁴).

(Figure 36, d). Finalement les connaissances sur les innovations déjà développées dépendent des filières et révèlent les dépendances au chemin qui leur sont propres. Les acteurs de la filière banane ont des connaissances plutôt stables sur les plantes de service et les molécules de biocontrôle, et des manques de connaissances sur les systèmes en association de cultures, ce qui rejoint la volonté de conserver au maximum le système de monoculture actuel. Les acteurs du secteur de la canne ont des connaissances stables sur la sélection de variétés à croissance rapide et l'optimisation du matériel d'épandage, et des manques de connaissances sur les associations culturales adaptées à la canne. Cette orientation est liée non seulement à la volonté de conserver le système monoculturel, mais aussi à la forte mécanisation de l'itinéraire technique (on ne modifie pas l'organisation des rangs, on n'ajoute rien dans les inter-rangs qui pourraient gêner la mécanisation, on améliore le matériel déjà présent ou on développe du matériel adapté à ces inter rangs comme des robots). Enfin, le secteur de la diversification a des connaissances validées sur les systèmes sans intrants chimiques, en raison de leur fréquence élevée chez ces agriculteurs, bien que le nombre importants d'associations de cultures existant et les faibles moyens en recherche et conseil impliquent que ces connaissances soient toujours en cours d'acquisition.

¹² CUMA : société coopérative agricole de partage du matériel agricole entre agriculteurs

¹³ GIE : Un Groupement d'Intérêt Economique regroupe plusieurs personnes (au moins deux), physiques ou morales, dans le but d'accroître les résultats d'activité de chacun de ses membres, par la mise en commun de certaines activités (matériel, etc.)

¹⁴ Le koudmen est une pratique fréquemment présente dans les petites exploitations (souvent diversifiées ou en canne). Cette organisation informelle réunit quelques agriculteurs d'une même filière dans un groupe d'entraide, qui tournent sur ces exploitations pour aider à certaines tâches, dont le désherbage manuel et la récolte.

(Figure 36, e). Ces différences entre secteurs renvoient, on l'a dit, à une organisation de la recherche par filière. Les acteurs de la diversification oscillent entre phase de diagnostic et recherche d'innovations, dans une gamme très large de systèmes cultureaux, tandis que dans les filières monocultureles les acteurs de la R&D ont des pratiques très standardisées et développent des innovations caractérisées très finement. Même si les acteurs de la recherche et du conseil déplorent ces approches verticales, génératrices de conflits entre acteurs lorsque se développent des thématiques de recherche très proches, les réflexions sur d'autres modes de gouvernance plus transversales sont très faibles. Ainsi, les acteurs de l'innovation ont une connaissance fine des systèmes cultureaux de Martinique et de leur adaptation aux conditions pédoclimatiques favorables aux différentes productions. Mais ces connaissances les conduisent à privilégier une répartition sur l'île optimale pour chaque système (besoin en eau du bananier, faible tolérance au froid de la canne, etc.) au détriment d'une réflexion sur des solutions transfilières, qui ouvriraient sur des réorganisations de la sole.

(Figure 36, f). Plus globalement, les données sur le poids des différents secteurs agricoles dans l'économie de l'île sont autant d'arguments pour un auto-renforcement de l'organisation de R&D actuelle. Le chiffre des 10 000 emplois générés par la filière banane dans les Antilles, l'importance réaffirmée de l'industrie du rhum pour la canne, voire même l'orientation des subventions européennes pour le secteur de la diversification essentiellement consacrées à la commercialisation, empêchent les acteurs de construire des visions plus globales de l'agriculture, où l'idée de réduire la production bananière et/ou cannière par de la diversification ou de reconvertir des exploitations seraient testées. Il est donc nécessaire de dépasser cette focalisation du développement des filières selon leurs seuls problèmes structureaux, pour aller vers la définition d'objectifs communs aux filières dans le développement du territoire, à savoir ici la réduction de la contamination des eaux par les herbicides.

(Figure 36, g et h). Enfin, les acteurs butent sur la question de savoir comment valoriser des pratiques innovantes. On l'a vu, la répartition de la valeur ajoutée le long de la chaîne permet plus ou moins d'entreprendre une valorisation par la certification selon les filières. Le label régulièrement cité est celui de l'Agriculture Biologique (AB), qui permettrait de valoriser les pratiques des petits producteurs de diversification selon la Chambre d'Agriculture, mais qui est perçu comme impossible à atteindre par la majorité des acteurs des filières canne et banane dans leurs systèmes actuels, du fait de la forte concentration de ravageurs en milieu tropical. La Chambre d'Agriculture a lancé une réflexion sur un label d'agriculture locale pour les agriculteurs diversifiés, mais la canne et la banane, qui produisent essentiellement pour l'export, ne cherchent pas de valorisation des pratiques à cette échelle, soutenus qu'ils sont déjà par un label « banane française » et « AOC Rhum de Martinique ». Dans une visée de développement d'un territoire, on note un manque de connaissances sur des modes de valorisation locaux des pratiques, qu'ils soient sur le produit final issu de la culture ou de la transformation, ou qu'ils soient sur les services environnementaux rendus par les agriculteurs qui innoveront.

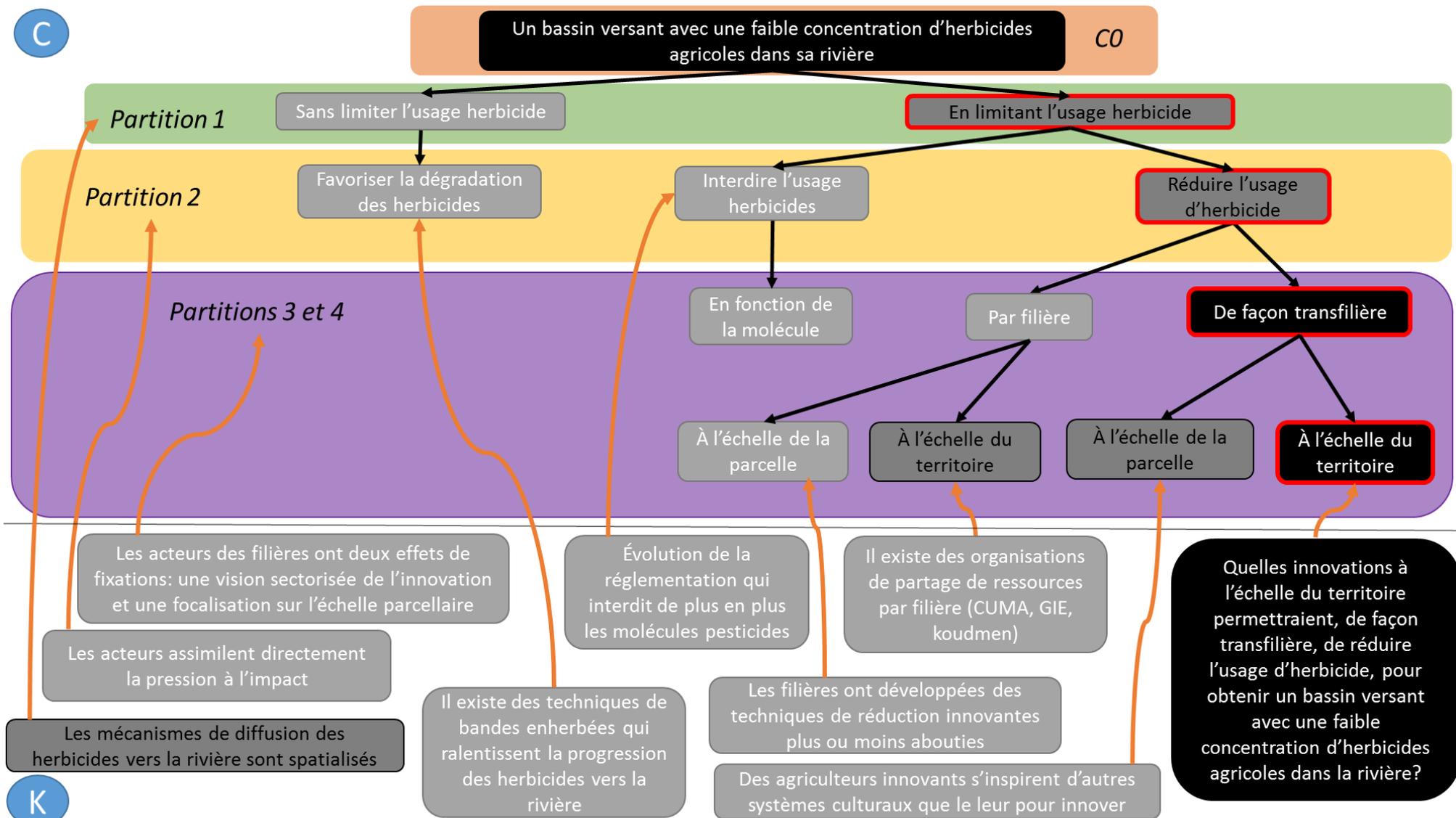


Figure 37: référentiel C-K. Les flèches orange indiquent les connaissances qui ont permis de construire le concept relié. Les concepts encadrés en rouge représentent la voie d'exploration choisie pour le processus de conception de la thèse.

2.1.3. Formulation du référentiel C-K qui servira de base pour initier le processus de conception collective

Le référentiel C-K de contrôle est présenté Figure 37 ci-contre. Il rend compte de manière transversale des analyses précédentes sur les différentes filières et des voies de rupture qui y sont esquissées à contrepied des effets de fixation identifiés. Ce référentiel a pour objectif de montrer les voies explorées et non explorées par les acteurs sur l'objet C0 à concevoir dans la thèse.

L'objet à concevoir C0 dans la thèse est un « bassin versant avec peu d'herbicide agricole dans sa rivière ». Comme nous l'avons exprimé dans le chapitre 1 partie 4.1, cette définition initiale de l'objet s'appuie sur les connaissances en matière de pollution diffuse dans des espaces à forte activité agricole. Elles nous indiquent que c'est l'accumulation d'usages qui va générer la pollution. D'une part parce que les homologations sont effectuées par usage (1 pesticide pour 1 ravageur sur 1 plante), ce qui implique que des bassins versants agricoles soient pollués quand bien même toutes les exploitations respectent la réglementation, et d'autre part car les pics de pollution sont créés par la simultanéité des usages individuels. **La partition 1** attribue donc la responsabilité du flux de polluant à l'usage d'herbicides agricoles mais une partition restrictive du C0 pourrait envisager que l'on réduise les flux et l'impact sur la rivière sans réduction d'usage, ce que la filière banane cherche par exemple à développer à travers l'usage de bandes enherbées à la frontière des exploitations en bordure de rivière.

Dans **la partition 2** nous avons rajouté une propriété au bassin versant agricole, celle d'une limitation de l'usage des herbicides par les agriculteurs. C'est, nous l'avons montré plus haut, la voie d'innovation la plus explorée par les acteurs de l'innovation dans les filières étudiées actuellement. Car, la partition 2 le montre, l'alternative serait l'interdiction molécule par molécule, modalité que privilégient de plus en plus les instances gouvernementales suivant l'évolution de la réglementation européenne depuis le milieu des années 2000. Les acteurs conscients de ce risque veulent montrer leur volonté de réduire la pression phytosanitaire.

Les partitions 3 et 4 visualisent le fait que la réduction d'usage se gère au sein de chaque filière agricole et plutôt à l'échelle de la parcelle quand une alternative serait d'adopter des objectifs territoriaux telle que la qualité d'une ressource naturelle, (Maury et al., 2013; Wezel et al., 2016). Une partition expansive (chapitre 2 p76) de la **partition 3** du concept de réduction de l'usage herbicide serait donc d'effectuer la recherche d'innovations de manière transfilière, comme le font déjà certains agriculteurs innovants, à l'instar d'un producteur de canne certifié AB, qui va régulièrement se renseigner du côté des producteurs de vignes pour développer des machines adaptées à ses inter rangs. On l'a vu, la recherche d'innovations centrée sur l'échelle parcellaire a ses limites.

La **partition 4** propose donc d'étendre au territoire la recherche d'innovation en approfondissant les organisations plus ou moins formelles de partage de ressources (CUMA, GIE, koudmen) qui pourraient, même si elles n'ont pas été conçues pour cela au départ, constituer des leviers potentiels à la réduction de la présence d'herbicide dans la rivière par leur fonction de réseaux d'échange entre acteurs locaux (Lucas et al., 2015).

Enfin, la partition expansive (chapitre 2 p76) visant une conception innovante, combinant l'échelle territoriale et l'interaction entre filières pour réduire l'usage des herbicides, apparaît aujourd'hui très en rupture avec les effets de fixation collectifs des acteurs de l'innovation en gestion de l'enherbement en Martinique. Elle est intéressante en cela dans le dispositif de conception qui va suivre, pour décaler les acteurs qui peinent aujourd'hui à rendre effective la diminution de la concentration d'herbicide dans la rivière par l'élaboration d'innovations à l'échelle de la parcelle, au sein de chaque filière.

2.2. Premier atelier de conception : partager les connaissances existantes, repérer les connaissances manquantes

Après la présentation succincte des thèmes retenus pour l'atelier K (partie 2.2.1) nous présentons les productions résultant des échanges qui ont émaillé les présentations des intervenants, tant en matière d'idées et de connaissances à approfondir que de concepts projecteurs (partie 2.2.2) retravaillés par l'équipe d'animation en vue de l'étape d'exploration suivante (ateliers C).

2.2.1. Les thèmes retenus pour le partage des connaissances pendant l'atelier K

Pour le choix des thèmes à aborder dans cet atelier, nous avons retenu trois sources. L'espace des connaissances et le référentiel C-K (figures 36 et 37), nous ont d'abord permis d'identifier les thèmes en cours d'approfondissement dans chaque filière, occasion de mobiliser les organismes de recherche et de conseil les plus actifs dans ces filières, mais aussi les thèmes les plus susceptibles de faire rupture qui ont été traités par des intervenants extérieurs à ceux identifiés dans le diagnostic sociotechnique initial. Enfin, nous avons identifié au cours des discussions préalables avec les personnes invitées, quelques thèmes très porteurs dans l'actualité de l'île, susceptibles de renforcer leur motivation pour prendre le temps d'assister à l'atelier. Ces thèmes ont été présentés par des experts. La Figure 38 reprend les thématiques des présentations réalisées pendant l'atelier K, replacées en vis-à-vis des éléments du système support de la discussion avec les acteurs : un bassin versant avec les acteurs qui ont un impact sur les modes de gestion de l'enherbement et sur la qualité de l'eau de la rivière.

Les thèmes ont abordé les trois propriétés de notre C0, à savoir (i) les processus de transfert et la pollution herbicide engendrée, (ii) la gestion de l'enherbement par les agriculteurs, (iii) le territoire vu à travers l'échelle bassin versant. Un compte-rendu présenté en Annexe 5 reprend deux exemples de présentations effectuées pendant l'atelier. Ces présentations ont été suivies de discussions entre les présentateurs et les autres acteurs présents, retranscrites dans cette même annexe.

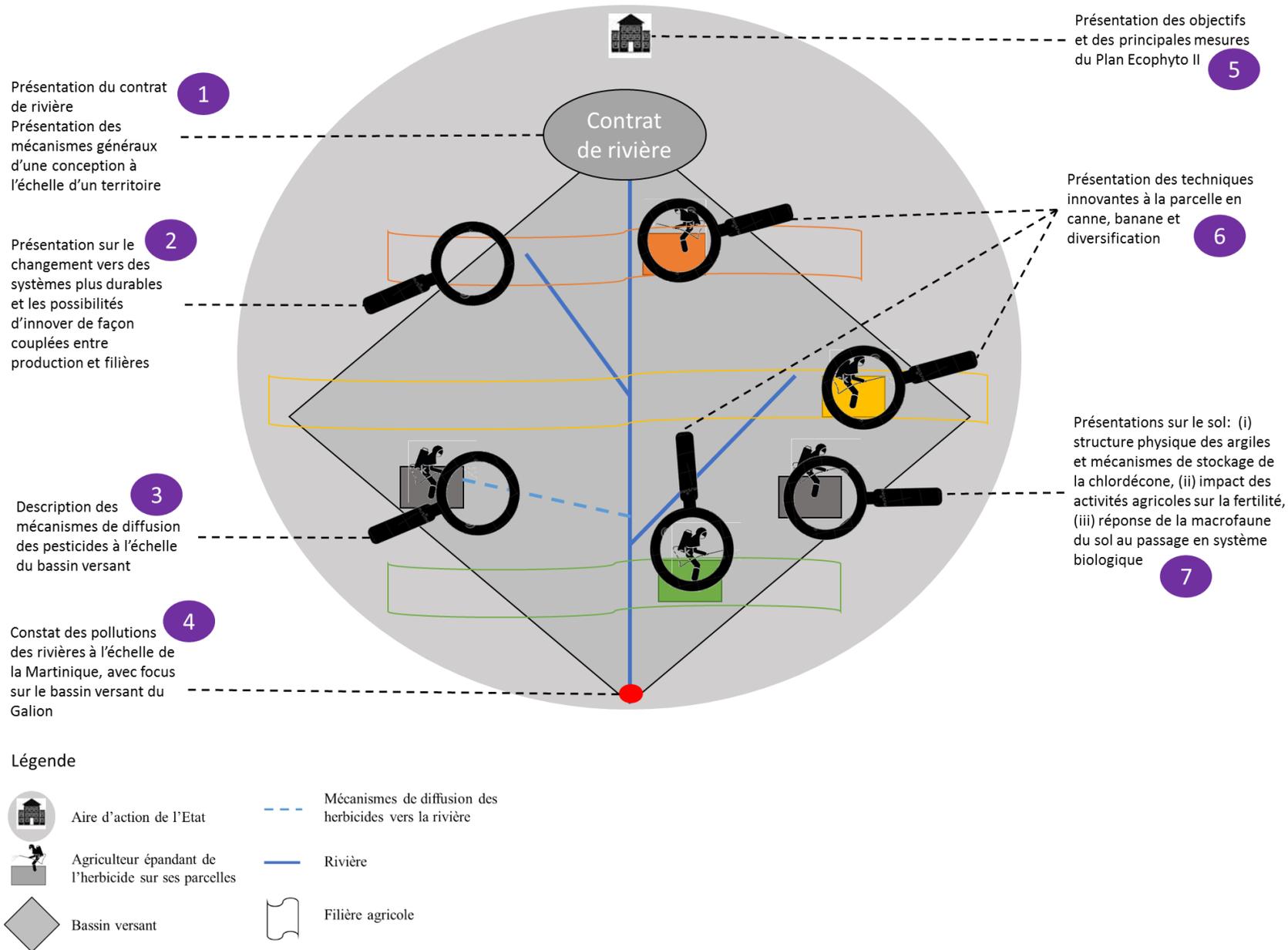


Figure 38: schéma replaçant les thématiques des présentations de l'atelier K en fonction du système étudié dans la thèse

2.2.2. Echanges entre les acteurs sur les connaissances exposées

En conception innovante, l'objet à concevoir évolue au fil des ateliers, pour s'adapter aux attentes des acteurs. On a ainsi relevé, au cours des discussions, des thématiques récurrentes qui amènent des débats et constituent des voies possibles d'exploration pour l'objet C0. Ce sont celles qui répondent à la fois à la demande des acteurs, mais permettent également d'explorer la rupture avec le dominant design. Le tableau suivant (Tableau 11) quantifie les sujets discutés en réactions aux présentations.

Tableau 11: résumé quantifié des échanges qui ont eu lieu entre les acteurs au cours de l'atelier K

Propriété du C0	Présentation (entre parenthèse, le numéro du thème de connaissance auquel se rattache la présentation, Figure 38)	Nombre d'interventions d'acteurs	Nombre d'acteurs ayant interagi	Durée de la discussion (en nombre de lignes retranscrites)
Les processus de transfert et la pollution herbicide engendrée	(3) Présentation des mécanismes de transfert des pesticides à l'échelle du bassin versant	14	7	86
Le territoire vu à travers l'échelle bassin versant	(2) présentation sur le changement vers des systèmes plus durables et les possibilités d'innover de façon couplées entre production et filières	10	5	69
La gestion de l'enherbement par les agriculteurs	(7) Présentation sur le sol : mécanismes de stockage de la chlordécone	12	4	69
	(7) Présentation sur le sol : réponse de la macrofaune du sol au passage en agriculture biologique	4	3	16
	(6) Présentations des techniques innovantes de gestion de l'enherbement à la parcelle : plantes de couverture et association avec animaux en verger	11	7	35
	(6) Présentations des techniques innovantes de gestion de l'enherbement à la parcelle : couverts végétaux en banane	11	6	62
	(6) Présentations des techniques innovantes de gestion de l'enherbement à la parcelle : les réseaux DEPHY de la chambre d'Agriculture	7	5	31

Légende : La propriété concernant la gestion de l'enherbement par les agriculteurs a fait l'objet du plus grand nombre d'interventions, avec le plus grand nombre d'acteurs, et des discussions les plus longues. Cela peut s'expliquer en partie le nombre plus important de présentations portant sur cette propriété. La présentation sur les mécanismes de transfert des pesticides maximise les trois indicateurs. A contrario, la réponse de la macrofaune du sol au passage en Agriculture Biologique a suscité peu de discussions. La propriété territoriale du C0 n'a été discutée qu'à travers une seule des quatre présentations. Celle-ci portait sur des innovations couplées entre amont et aval de la production agricole ouvrant sur de nouvelles formes de valorisation commerciale des productions, ce qui intéresse particulièrement les acteurs des filières agricoles.

Nous détaillons d'abord les contenus des échanges en reprenant l'ordre d'importance des discussions sur (i) les différentes alternatives agronomiques à la parcelle pour gérer l'enherbement, (ii) les processus de transfert et la pollution herbicide engendrée, (iii) les différentes labellisations existantes et à créer pour changer vers des systèmes plus durables. Puis, nous extrayons les éléments pour enrichir le référentiel C-K et faire émerger les thèmes à approfondir par la suite, à l'aide de la grille d'analyse présentée en partie 1.2.2.

Les différentes alternatives agronomiques à la parcelle pour gérer l'enherbement

Les couverts végétaux en banane ont suscité la discussion la plus longue en lien avec la gestion de l'enherbement. Les interactions ont porté sur l'impact du couvert sur le rendement, les avantages et inconvénients de la rotation canne-banane, et la possibilité de valoriser la biomasse produite par les couverts végétaux. Il importe de montrer que les couverts ne réduisent pas le rendement de la culture de rente (Annexe 5), comme l'exprime cet ingénieur de l'institut technique IT2 qui développe ces couverts sur banane : « *En Martinique, il existe un producteur de bananes de trois hectares qui est 0 herbicides, c'est celui que j'ai montré avec le petit mouton. Il produit 67t/ha. Donc le couvert végétal n'a aucun impact sur le rendement puisque c'est l'un des plus gros producteurs de banane de l'île* ». Cette affirmation autorise à étendre cette pratique comme le précise ce même acteur : « *Aujourd'hui, la filière banane veut qu'il y ait 50% des surfaces en couverts. Parce qu'on sait que les problèmes principaux qu'on a sur le rendement, ce sont les cyclones. Ce ne sont pas les couverts végétaux* ». Il n'est pas précisé, et c'est une connaissance manquante de notre point de vue, si les 50% sont une étape vers l'extension générale de la pratique ou bien si elle représente les milieux sur lesquels cette pratique reste effectivement profitable (pas de concurrence sur les ressources avec la banane). La rotation canne-banane est souvent citée comme une innovation pour la gestion du nématode *R. Similis* en banane, et pour la gestion des adventices en canne par l'interruption des cycles de ces nuisibles. Cependant, l'itinéraire technique fortement mécanisé de la canne, qui représente une forte dépendance au chemin de cette filière (partie 2.1.1) contraint les systèmes bananiers « *Mais on reste dans un système mécanisé. Je connais des producteurs qui mettent des plantes de couverture après canne, avant de mettre la banane. Pour re-perforer le sol, pour retravailler le sol, pour remettre un peu de vie dans le sol* » (ingénieur de l'IT2). Mais surtout, les changements récents dans la gestion de l'enherbement en banane diminuent fortement l'intérêt de cette rotation pour les canniers : « *C'était très profitable en termes de gestion des adventices, quand les planteurs de bananes désherbaient davantage. C'était profitable aussi en termes de fertilisation, car juste après la banane, on pouvait presque ne pas fertiliser la première année. Par contre, c'est vrai que depuis qu'on a tous des soucis de restriction en lutte chimique, ce n'est pas si simple que ça. On a des planteurs de bananes qui utilisent beaucoup de graminées en couverts végétaux, ce qui pose problème pour la culture de la canne ensuite. Vice versa pour les lianes. Donc la symbiose entre les deux cultures n'est plus aussi intéressante qu'avant* » (ingénieur du CTCS). Ainsi, le développement de l'innovation de plantes de couverture en banane se ferait au détriment de l'innovation rotation canne-banane, ce qui confirme la préférence des acteurs du conseil et de la recherche des filières pour des innovations qui permettent de conserver le système monocultural (partie 2.1.3). Mais la diminution de l'utilisation des herbicides par les planteurs de banane a également diminué l'intérêt de cette rotation pour les canniers, ce qui identifie un manque de connaissances sur les effets collatéraux de la baisse d'utilisation d'herbicide.

La question de la valorisation des plantes de couverture apparaît en premier lieu comme très secondaire « *Il y a une différence avec la métropole, car ici, on est sur des plantes que l'on achète, que l'on met sous les bananiers, et qui ne vont pas être valorisées financièrement. Elles sont valorisées uniquement d'un point de vue agronomique* » (ingénieur de l'IT2). Considérée à la seule échelle parcellaire, elle est même contestée par un chercheur en écologie du sol « *je pense qu'il faut arrêter de tout faire pour avoir une biomasse importante car on essaye de restaurer la vie des sols. On ne peut pas restaurer la vie biologique des sols et, pendant une jachère, exporter 80t de biomasse. Une jachère est faite pour reposer le sol* ». Cette fixation des solutions à la parcelle est discutée car des systèmes territoriaux pourraient être développés pour mieux gérer ce problème, comme l'exprime ce chercheur en agronomie « *Cela dépend à quelle échelle on raisonne. Si on raisonne au niveau d'un bassin, on peut très bien avoir les deux stratégies et ne pas exporter systématiquement toutes les parcelles. La Champagne par exemple, était partie sur de l'exportation importante de paille. Ils se sont aperçus que cela avait des conséquences négatives. Maintenant, ils exportent une fois sur deux et cela fonctionne, y compris pour la vie biologique du sol* » (chercheur AgroParisTech).

La présentation sur les associations en verger fait émerger des discussions centrées sur les associations avec des animaux, autour d'une part de l'impact des animaux sur la culture de rente, et d'autre part de la rente possible des produits issus de l'élevage. Les acteurs de la recherche et du conseil déconseillent d'associer des animaux dans un verger jeune d'un an ou moins. Les risques seraient trop grands pour les arbres. Cependant, un conseiller de la chambre d'agriculture affirme que, passé ce délai, le risque d'associer des moutons peut être diminué fortement selon le temps passé dans les parcelles : « *le mouton va commencer à s'intéresser aux arbres quand il aura mangé tout le fourrage. Donc si vous ne faites que des passages courts, 1 à 2h par jour, a priori, on évite qu'il y ait des dégâts sur le verger* ». Cette question du couple « durée-impact » des animaux dans un verger apparaît comme essentielle à approfondir pour optimiser les associations avec animaux. Les associations culture-élevage intéressent également la filière de la banane : « *En bananeraie, nous sommes en train de réfléchir à des parcs mobiles, pour les poules et les moutons* » (ingénieur de l'IT2). Certains animaux sont même identifiés par leur appétence envers certaines adventices problématiques : « *Les moutons vont sélectionner les lianes pour les manger car ils aiment beaucoup ça* » (agriculteur de banane). En canne, une agricultrice associe des moutons dans ses parcelles avec succès.

Mais ces associations sont freinées par la pollution par la chlordécone des parcelles de banane (ou anciennement en banane) qui devient une propriété inhérente du milieu : « *sa parcelle étant chlordéconée, elle ne pourra pas vendre les œufs* » (chercheur CIRAD en association animaux-verger). Dans ce cas, pour décontaminer des animaux d'élevage, il est nécessaire de les mettre à paître sur une parcelle vierge de chlordécone pendant un certain temps, mais certaines parties de l'animal ne peuvent pas être décontaminées (Jondreville et al., 2014).

Les grandes exploitations d'élevage décontaminent leurs animaux en les faisant paître quelques mois sur des parcelles non contaminées avant abattage, mais cela suppose de posséder de telles terres. Là encore, au-delà des limites des exploitations, ces échanges ouvrent des perspectives sur une gestion territorialisée de la décontamination du bétail.

Cette perspective d'associer des animaux est donc latente dans toutes les filières, mais les connaissances sont plus ou moins développées et les acteurs de la recherche et du conseil s'interrogent sur la possibilité pour un agriculteur de se former et d'accorder du temps à la gestion d'animaux « *il faudrait une association entre un agriculteur et un éleveur car l'agriculteur n'a pas le temps de faire ça* » (chercheur CIRAD en association animaux-verger). Là encore c'est l'échelle territoriale qui est sollicitée, comme le montre cet exemple « *il y a des expériences de ce type en région parisienne, de bergers qui n'ont pas de terres, et qui utilisent les jachères et les repousses de plantes de couverture en hiver. Pour le berger, c'est du foncier gratuit et de la matière sèche pratiquement gratuite, et pour le céréalier, c'est un nettoyage, notamment en fin de jachère, ce qui supprime un passage de glyphosate* » (chercheur en agronomie AgroParisTech).

Si les discussions reflètent bien, dans un premier temps, les effets de fixation des acteurs sur une gestion de l'enherbement par culture et à l'échelle de la parcelle, elles ouvrent finalement sur des questions communes exigeant des connaissances complémentaires plus systémiques sur (i) l'impact de la diminution de l'utilisation d'herbicides sur certaines rotations : y a-t-il des innovations passées ou présentes, à l'instar de la rotation canne-banane, qui perdraient de leur intérêt pour les acteurs en cas de réduction d'herbicides ? (ii) Quels sont les couples « durée-impact » du pâturage et les modes de contention des animaux en association qui permettraient de réduire le risque pour la culture de rente sans faire exploser le temps de gestion ? (iii) Quels systèmes de coordination territoriale pourraient rentabiliser une jachère (une couverture du sol) par l'export et la vente de la biomasse sans appauvrir le sol, (iv) Quelles associations entre éleveurs (plus ou moins riches en terre) et producteurs végétaux permettraient d'échanger un service d'alimentation contre un service de désherbage ?

Les processus de transfert et la pollution herbicide engendrée

La présentation sur les mécanismes de transfert est celle qui a suscité le plus de discussions, avec un grand nombre d'acteurs. En premier lieu, les réactions des acteurs montrent qu'ils accordent beaucoup de crédit à la modélisation comme outil de formalisation et de clarification des mécanismes, voire d'évaluation globale : « *Est-ce qu'avec le nombre de données actuellement récoltées on va pouvoir faire évoluer ce modèle en termes de précision ?* » (Animateur DEPHY de la Chambre d'Agriculture) ; « *Existe-t-il des marqueurs qui pourraient être mis dans les produits que les agriculteurs appliquent, pour mieux évaluer les temps de transfert ?* » (Agriculteur de banane) ; « *Pourriez-vous modéliser ce qu'il va se passer dans trois ans avec la fin du glyphosate ?* » (Représentant de la DAAF).

Mais ils ne voient pas directement l'intérêt de son utilisation dans un processus collectif de gestion opérationnelle impliquant les acteurs d'un territoire, objectif pourtant défendu par le chercheur qui a créé le modèle en question « *la difficulté est que, tout seul, je ne peux pas savoir comment cela va changer réellement dans les exploitations agricoles, les filières etc. Parce qu'on a vu qu'il n'y a pas que les pratiques d'applications qui jouent sur les transferts de pesticides dans l'environnement, mais les autres pratiques à la parcelle jouent un rôle important également, comme le travail du sol, la matière organique etc. qui jouent sur la remobilisation des pesticides des parcelles vers les nappes et les eaux ruisselées. Donc c'est l'intégration de tout cela qui permet de modéliser les transferts de pesticides dans l'environnement. Et cela, on est obligé de le faire ensemble* » (chercheur CIRAD sur les mécanismes de transfert des pesticides dans l'environnement).

Plus généralement, la présentation des mécanismes de transfert dans le territoire, sous la forme de ce modèle, se heurte à une représentation des acteurs plus fondée sur l'addition d'effets essentiellement mono-factoriels (quantité appliquée), à l'échelle parcellaire et reliant directement la pression et l'impact, comme dans la question (ingénieur à l'IT2) : « *est-ce qu'il y a quelque chose qui peut se faire sur le bassin versant dont on voit rapidement les effets ? notamment dans le cadre des changements de pratiques en gestion de l'enherbement, est-ce qu'il faudrait par exemple qu'il y ait 50% des producteurs qui ne mettent plus d'herbicides pour avoir un impact visible dans les 6 mois ?* ». Pourtant, les connaissances exposées montrent que les mécanismes de transfert des pesticides sont fortement spatialisés. En outre, « ne plus mettre d'herbicides » suppose d'autres transformations dans les systèmes. Aussi, il existe plusieurs solutions différentes pour obtenir le résultat escompté par cet acteur. Il est possible que le changement provienne d'un petit nombre d'agriculteurs situés sur une zone à forte contribution, ou bien d'un grand nombre d'agriculteurs sur des zones éparpillées. Il est également possible qu'un changement de pratiques diminue la pression mais augmente l'impact car il remobilise des stocks de pesticides contenus dans le sol. Ces manques de connaissance impliquent que les acteurs peinent à considérer les effets systémiques et l'hétérogénéité du territoire dans leur recherche d'innovation.

Par contre (« effet chlordécone » sans doute) les agriculteurs sont sensibles aux reports d'impacts dans le temps : « *Et si on faisait apparaître les temps de demi-vie des molécules sur les sacs de pesticides, pour informer les agriculteurs ? De manière à ce que l'utilisateur sache quel impact aura l'utilisation de ce pesticide* » (Agriculteur de bananes). Le débat ne permet pas d'éclairer ce que les agriculteurs feraient de cette information, mais son intérêt est contrebalancé par l'urgence du court terme tant que l'on reste sur un raisonnement individuel : « *On se dit que peut-être, dans un siècle, les gens en garderont une trace. Mais là, pour le moment, l'agriculteur a l'impression que s'il ne fait pas ça il va perdre sa culture* » (chercheur en agronomie AgroParisTech).

En conclusion, les débats mettent à jour que l'approche systémique non additive des mécanismes de transfert des herbicides dans l'environnement étant mal connue, les acteurs ont du mal à percevoir l'intérêt de coordonner les changements à l'échelle d'un territoire.

Les différentes labellisations existantes et à créer pour changer vers des systèmes plus durables

Les discussions ont essentiellement tourné autour du destinataire du label, et de la valorisation du prix.

Pour le groupement de banane, le label est destiné au consommateur : « *Est-ce que ce qu'un label de type agroécologique serait reconnu au niveau du consommateur ? Comment développer une niche ou un label qui serait bien perçu par le consommateur et en même temps qui répondrait aux problématiques des agriculteurs ?* » (Représentant de Banamart). Le chercheur expert qui a présenté cette thématique répond « *est-ce que le consommateur est toujours le client avec lequel on doit dialoguer au départ ? Aujourd'hui, l'interlocuteur c'est aussi l'Etat. Parce qu'il va falloir convaincre l'Etat qu'on est HVE¹⁵ 2ou3 (Haute Valeur Environnementale). Et que cela mérite de ne pas payer certaines taxes* » (chercheur en agronomie AgroParisTech). Mais le secteur de la banane semble peu réceptif à cet argument, peut-être à cause du fait que cette filière s'assure déjà l'aval de l'Etat sur ses pratiques à travers le Plan Banane Durable (Bonin and Cathelin, 2014). La filière canne peut davantage être intéressée par le fait de convaincre l'Etat car sa faible répartition de la valeur ajoutée (chapitre 3) ne lui permet pas d'engager une transition écologique aussi globale que la filière banane. L'agriculture de diversification, elle, est déjà perçue comme essentiellement agroécologique par les acteurs de l'Etat (Chapitre 3). D'autres acteurs peuvent rechercher des labels comme dans cet exemple rapporté de métropole : « *Aujourd'hui, il y a beaucoup d'industriels qui financent au prix qu'estime un groupe d'agriculteurs, sur un cahier des charges orienté éventuellement sur l'agroécologie. Ce n'est pas le consommateur qui va lui-même choisir, mais ce sont les industriels qui vont initier un cahier des charges sur lequel ils vont mettre des techniques agroécologiques* » (ingénieur à l'IT2). Cette proposition peut intéresser davantage les filières comme la canne et la banane dont le principal client est à l'exportation, avec un consommateur déconnecté de l'amont de la production. Car la vision est répandue chez les acteurs d'un consommateur sensible uniquement au label Agriculture Biologique « *si je ne peux pas infléchir sur le consommateur qui restera sur l'AB, je vais infléchir sur des industriels* » (ingénieur à l'IT2).

¹⁵ HVE : L'agriculture à Haute Valeur Environnementale est une certification créée et encadrée par le Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt qui vise à valoriser les productions issues d'exploitations agricoles s'engageant volontairement dans des démarches respectueuses de l'environnement

Et c'est l'aval des filières, en particulier la grande distribution, qui cherche de plus en plus des produits agroécologiques pour satisfaire le consommateur, quitte à engager des processus de transformation à grande échelle : « *Aujourd'hui, la grande distribution a annoncé qu'ils allaient transformer les élevages de poules pondeuses pour produire des œufs plein air. Ils savent que le consommateur est attentif au bien-être animal. Comment lui répondre ? Ils vont transformer les élevages. Et vous avez des articles dans la presse « bientôt il n'y aura plus d'élevages de poules pondeuses hors sol »* (représentant de la DAAF). La grande distribution apparaît comme un partenaire essentiel de la construction de labels par sa capacité à innover dans la vente des produits « *On voit aujourd'hui des pubs Carrefour « 0 insecticide », donc la grande distribution arrive à le faire passer* » (ingénieur à l'IT2) mais aussi par sa capacité « *phénoménale d'absorption des produits* » (chercheur en agronomie AgroParisTech). Les acteurs commencent alors à dialoguer autour de la valorisation réelle que peut permettre ou non une labellisation. Les acteurs cherchent principalement, on vient de le voir, à toucher le consommateur. Et pour cela, les acteurs s'orientent principalement sur la valorisation des pratiques vertueuses par produit. Pour autant, le territoire aussi peut être support de label : « *Côté consommateur, beaucoup de travaux ont été faits sur la question du « panier de biens ». Le panier de biens mêle des produits alimentaires et des services sur un territoire. Et c'est le territoire qui est vendu, et non le produit seul* » (chercheur en agronomie AgroParisTech). Mais si la promotion du territoire est déjà utilisée par la canne et la banane qui exportent leurs produits en insistant sur leur origine antillaise, le « panier de biens » ne les intéresse pas. Ils ne semblent pas percevoir l'intérêt de s'associer entre filières pour vendre ensemble une combinaison de produits et de services locaux. L'agriculture de diversification pourrait être davantage intéressée par ce type de système puisque son marché est local. Mais on n'observe aucune réaction de la part d'acteurs de ces filières locales durant ces discussions.

En conclusion, ces discussions montrent que la labellisation peut prendre différentes formes selon si elle cible le consommateur, l'Etat ou encore l'aval des filières (industriels, grande consommation). Les acteurs la voient surtout comme un moyen privilégié de valoriser les pratiques vertueuses des agriculteurs, sur chaque culture. L'hypothèse d'une labélisation à l'échelle du territoire et pour un bouquet coordonné de produits et de services (dont le tourisme) entre en conflit avec la tendance à viser l'innovation dans chaque filière et principalement sur le produit. Les acteurs ne la retiennent pas ici car elle est trop en rupture avec leur « dominant design ».

Evolution du référentiel C-K

La base de connaissances ne fait que s'enrichir au cours du processus. La Figure 39 présente l'évolution du référentiel C-K à l'issue de l'atelier K. Nous n'avons conservé que les connaissances de l'espace K qui ont été ajoutées pendant cet atelier pour faciliter la lecture de la figure. Ces nouvelles connaissances ont permis l'émergence de deux nouveaux concepts qui viennent alimenter le référentiel C-K, et de trois thèmes à explorer par la suite pour enrichir les branches de concepts en rupture.

Les deux nouveaux concepts concernent cette question des sols dont le diagnostic du régime sociotechnique n'avait pas permis de saisir l'importance. Nous les avons formulés sous la forme de : « blocage des flux dans le sol » et « en fonction des caractéristiques pédoclimatiques ». Le premier concept résulte des discussions sur un mécanisme de stockage possible de la chlordécone dans le sol via l'apport de matière organique à l'aide de compost, réduisant fortement sa diffusion sur les cultures de tubercules. Nous avons alors imaginé le développement de connaissances rendant possible le stockage d'herbicide dans le sol, pour éviter qu'il ne sorte de la parcelle et ne se diffuse jusqu'à la rivière. Le deuxième concept est apparu dans les discussions sur les mécanismes de transfert des herbicides à l'échelle du bassin versant. Ces mécanismes sont fortement liés à des caractéristiques (i) de l'environnement (type de sol, pluviométrie), (ii) de la nature des substances actives. De nouvelles réglementations pourraient prendre en compte le lien entre ces deux types de caractéristiques pour adapter les normes au contexte pédoclimatique et aux molécules épanchées.

Pour approfondir la branche d'innovation « limiter l'usage des herbicides par des approches transfilières » (choisie à l'issue de la partie 2.3.1), nous avons formalisé les débats de l'atelier K sous forme de thèmes d'approfondissement, à savoir : (i) la mutualisation entre exploitations agricoles, (ii) les innovations couplées amont-aval des productions, et (iii) le partage de connaissance.

La justification de ces thèmes comme base d'exploration, la constitution des groupes d'acteurs pour les explorer et les concepts projecteurs qui permettent d'initier les réflexions de chacun des ateliers C qui ont suivi, sont développés dans les parties suivantes.

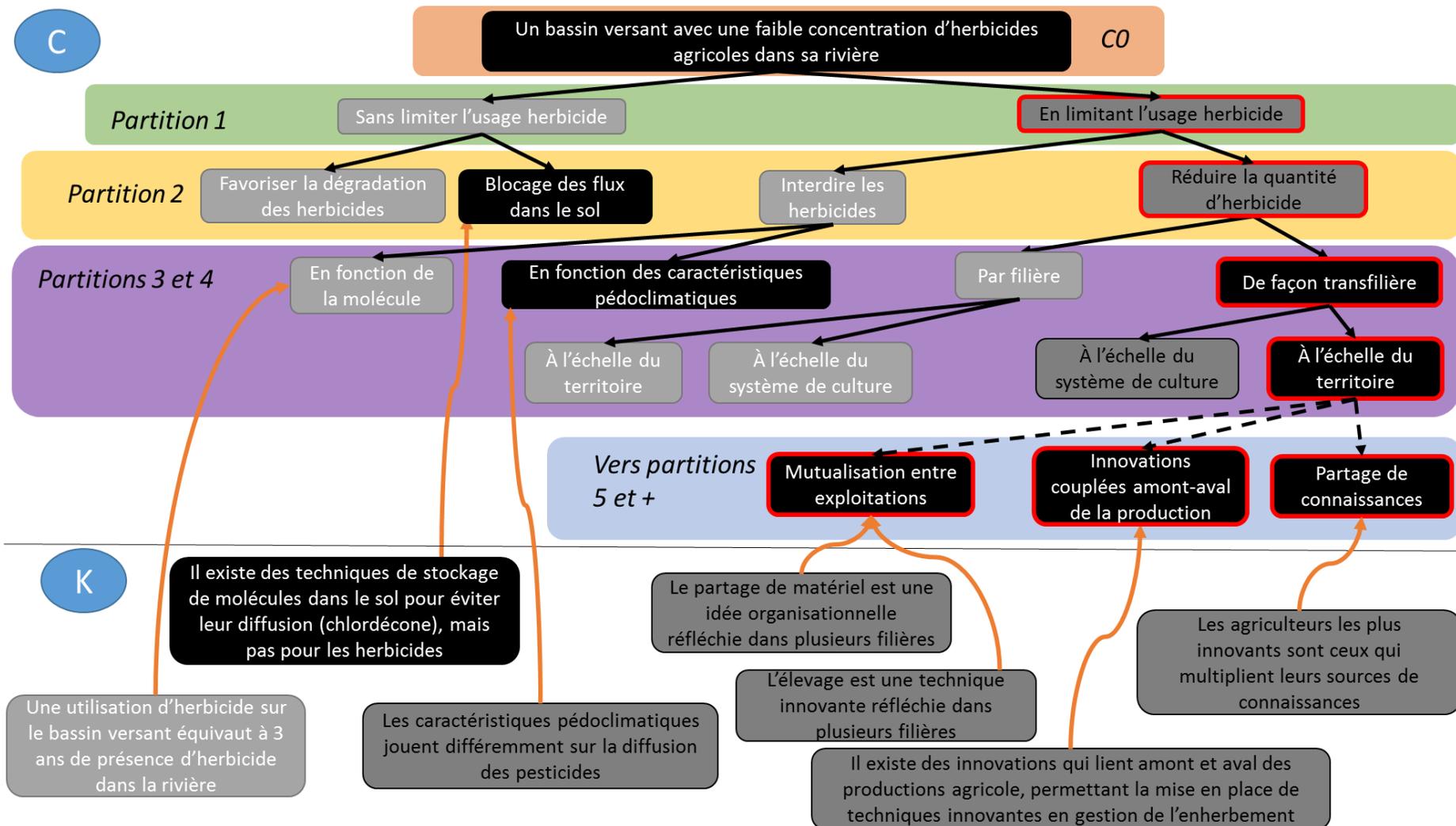


Figure 39: Référentiel C-K à l'issue de l'atelier K. Les cadres gris clair sont des concepts connus et des connaissances stabilisées, les cadres gris foncé sont des concepts atteignables et des connaissances qui demandent encore de la recherche, les cadres noirs sont des concepts en rupture et des manques de connaissance. Les flèches orange indiquent les connaissances qui ont permis de construire le concept relié. Les concepts encadrés en rouge représentent la voie d'exploration choisie pour le processus de conception de la thèse. Les flèches en pointillés montrent que les thèmes choisis pour la phase C nous orientent vers un approfondissement de la voie d'exploration que nous avons choisie.

2.2.3. Sorties de l'atelier K qui servent à l'élaboration des ateliers C

Justification du choix des thèmes d'approfondissement

La genèse des thèmes est ancrée dans les discussions rapportées ci-dessus, complétées par une formalisation de chaque thème effectuée par l'équipe d'animation, visant à éviter les effets de fixation sur les axes de réflexion les plus connus des acteurs.

La mutualisation entre exploitations agricoles

Ce thème émane des réflexions des acteurs qui ont eu lieu autour des différentes alternatives agronomiques à l'herbicide.

L'utilisation d'animaux d'élevage a été discutée de manière transversale aux filières et aux acteurs. Les obstacles au développement de cette pratique étaient essentiellement posés à l'échelle de la parcelle et de l'exploitation, avec des questionnements sur la valorisation d'une rente animale, l'apprentissage nécessaire des agriculteurs sur la conduite d'animaux, etc. Mais il a tout de même été évoqué un élargissement de l'échelle de réflexion, avec le développement potentiel d'un partenariat entre agriculteurs et éleveurs. Les discussions sur l'accès à des outils de désherbage mécanique ont aussi ouvert des perspectives sur la mise en commun de matériel : prêts de machines au sein d'un même GIE banane, projet de mise en commun de débroussailleuses chez les planteurs de canne de la CUMA pour former un groupe de désherbage qui tournerait sur les exploitations.

Ces expériences nous ont suggéré cette thématique de la mutualisation entre exploitations (échanges de parcelles, partenariats éleveurs-agriculteurs, partage de matériel etc.) qui permettrait l'implémentation de pratiques moins utilisatrices d'herbicides dans les exploitations du bassin versant.

Les innovations couplées entre amont-aval des filières et le territoire

Ce thème émane des réflexions des acteurs qui ont eu lieu autour des différentes formes de labellisation existantes et à créer pour valoriser les productions.

Les acteurs, très motivés par la question de la valorisation des produits, se sont surtout interrogés sur les formes de labellisation qui permettraient de mettre en valeur les pratiques des agriculteurs, sans être aussi exigeante que le label Agriculture Biologique. La discussion a permis d'ouvrir le champ des réflexions vers la création d'opportunités locales de valorisation, par le couplage d'activités de production agricole innovantes avec d'autres activités présentes sur le territoire, donnant accès à une valorisation et des débouchés locaux pour les productions.

A travers ce thème, nous souhaitons amener les acteurs à explorer de potentielles organisations nouvelles, entre amont et aval des filières, permettant de labéliser les produits de manière transfilière à travers la valorisation du territoire.

Le partage de connaissances

Le déroulement même de l'atelier K nous a montré que, réunis ensemble, les acteurs de différentes filières identifient à la fois des problèmes communs dans le développement d'alternatives (les pentes pour la mécanisation, la gestion des lianes ...) et des connaissances à échanger (même si elles doivent être adaptées comme les plantes de couverture entre les filières banane et canne). Cette diversité des sources est un levier d'innovation important comme le présente l'un des experts invités.

Ainsi, ce thème cherchera à réfléchir avec les acteurs à de nouvelles formes de création, de partage et d'adaptation de connaissances qui bénéficient à tous, en particulier aux agriculteurs.

Justification de la composition des groupes d'acteurs pour l'exploration des thèmes

Pour explorer les thèmes précédents, nous avons déterminé des groupes d'acteurs de façon à faciliter l'exploration en rupture en fonction (i) de leurs connaissances individuelles sur le thème, (ii) de la diversité des connaissances à l'échelle du groupe, (iii) de l'entente entre les acteurs pour établir un climat propice aux échanges.

Pour explorer le premier thème sur la mutualisation entre exploitations agricoles, nous avons décidé de former un groupe composé uniquement d'agriculteurs. A la fois parce que ce thème les concerne en premier lieu, mais aussi parce que la littérature indique que réserver certains ateliers exclusivement aux agriculteurs, en l'absence des acteurs du développement qui les accompagnent habituellement, est susceptible de faciliter l'ouverture de l'innovation (Dolinska and d'Aquino, 2016). Nous avons donc choisi des agriculteurs de chaque filière (4 agriculteurs, en canne, verger, maraîchage et vivrier).

Pour explorer le deuxième thème sur les innovations couplées amont-aval de la production, nous avons choisi de réunir (i) des membres du conseil technique pour apporter des connaissances sur les techniques innovantes actuelles à valoriser (Chambre d'Agriculture), (ii) un représentant de la recherche en agroalimentaire pour apporter des connaissances sur de nouveaux produits finaux à valoriser, (iii) un représentant d'une grande usine de transformation de fruits située sur le bassin versant afin d'apporter des connaissances sur leurs besoins et les attentes des consommateurs, (iv) un représentant d'une organisation de producteurs pour apporter des connaissances sur les besoins et les attentes des agriculteurs (Canne Union).

Pour explorer le troisième thème sur le partage de connaissances, nous avons choisi de rapprocher des acteurs à la fois (i) de la recherche et du conseil agricole pour apporter des connaissances sur la création de connaissances fondamentales et appliquées (IT2, Chambre d'agriculture), (ii) des agriculteurs pour apporter des connaissances sur leurs mécanismes de création et de partage de connaissances (banane, canne), (iii) et un acteur représentatif du bassin versant afin d'apporter des connaissances sur le territoire d'étude, qui pourraient alimenter de nouveaux modes de création et de partage de connaissances à cette échelle (Contrat de rivière).

Les concepts projecteurs, pour amorcer les explorations dans les ateliers suivants

Les ateliers d'exploration C sont guidés par un concept projecteur, qui place d'emblée les discussions en dehors des effets de fixation (partie 1.2.3 p127).

Dans notre recherche, les concepts projecteurs ont été formés d'après la méthode de Le Masson et al (Le Masson et al., 2014) (chapitre 2), en formant un concept dit « en pointe », c'est-à-dire qui ébranle et qui remet en cause l'objet, avec des correspondances nouvelles et provocantes. Nos trois concepts projecteurs ont ainsi deux caractéristiques communes, (i) celle de se situer à l'échelle du bassin versant afin d'obliger les acteurs à réfléchir à partir de cette échelle, (ii) et celle d'amener à des réflexions transfilières. Ensuite, les concepts projecteurs ont chacun leurs objectifs propres.

Pour le premier atelier sur la mutualisation entre exploitation, nous avons construit le concept projecteur "**Union de la gestion de l'enherbement du bassin du Galion**". Nous avons choisi d'associer une Union de Producteurs visant un objectif agronomique, à une échelle qui n'est pas du tout celle à laquelle les agriculteurs gèrent l'enherbement, à savoir le bassin versant du Galion. Le bassin est non seulement transfilière, mais il s'y déroule nombre d'activités en dehors de l'agriculture.

Pour le deuxième atelier sur les innovations couplées amont-aval de la production, nous avons construit le concept projecteur "**La filière Bassin Versant du Galion**". En associant le terme de filière, à un objet par essence transfilière, nous espérons susciter l'émergence de nouvelles formes de valorisation des productions du bassin versant.

Pour le troisième atelier sur le partage de connaissances, nous avons construit le concept projecteur "**Université de la gestion de l'enherbement du Galion**". Nous souhaitons opposer la représentation très formelle des connaissances issues de la recherche portée par le terme d'université, à la représentation plus concrète des connaissances pour l'action des agriculteurs en matière de gestion de l'enherbement.

Ces trois concepts projecteurs ont tout d'abord été testés par l'équipe d'animation qui les a explorés par elle-même dans le but de repérer quelle(s) voie(s) d'exploration retourne(nt) dans les effets de fixation, et de développer des parades pour en éloigner les acteurs au cours des ateliers C.

2.3. Seconde étape de conception : les ateliers d'exploration d'idées nouvelles

Dans ces ateliers, nous avons demandé aux participants de proposer et de discuter d'innovations qui répondent aux concepts projecteurs. A l'issue des trois ateliers C, une quinzaine de propositions innovantes ont émergé, résumées dans le tableau (Tableau 12). La description de l'innovation, les acteurs concernés et les effets directs ou indirects sur l'usage d'herbicides y sont décrits. Ces attributs sont issus des discussions des ateliers, ou d'une interprétation de notre part pour pallier les informations manquantes. Dans l'analyse du tableau qui suit, les numéros entre parenthèses et en italique renvoient aux lignes du tableau.

Tableau 12: présentation des innovations issues des ateliers C selon la description du principe de l'innovation, les acteurs concernés, les effets directs et indirects sur l'usage herbicide

Ligne	Innovations	Description de l'innovation	Acteurs concernés	Effets sur l'usage herbicide	
				Effets directs	Effets indirects
1	Communauté de pratiques	Création d'un groupe d'échanges entre agriculteurs, toutes filières confondues	Les agriculteurs volontaires du bassin versant, toutes filières confondues		Augmentation des connaissances des agriculteurs pour la mise en place de solutions alternatives
2	Catalogue des associations judicieuses avec « l'herbe »	Création d'un catalogue permettant de repérer et de sélectionner des plantes locales adaptées à chaque type de culture pour un couvert compétitif envers les adventices	Experts en enherbement local Les agriculteurs volontaires du bassin et de la Martinique souhaitant sélectionner un couvert spontané	Substitution de l'utilisation d'herbicides par la mise en place d'un couvert végétal	Augmentation des ressources financières si culture associée de rente, pour la mise en place de solutions alternatives
3	Prestataire en débroussaillage	Création d'un partenariat entre des agriculteurs du bassin proches géographiquement et une entreprise de débroussaillage	Les agriculteurs volontaires du bassin, toutes filières confondues, reliés par leur proximité géographique, entreprise de débroussaillage	Substitution d'herbicide par de la fauche	Gain de temps par l'externalisation de la gestion de l'enherbement pour la mise en place de solutions alternatives Diminution des coûts par l'accès à un matériel plus sophistiqué amorti sur plus d'hectares et tarif préférentiel, donc ressources financières plus importantes pour la mise en place de solutions alternatives
4	Marché des « herbes »	Marché des herbes à destination de la consommation humaine (médicinales, légumes) ou à destination de la consommation animale	Les agriculteurs volontaires du bassin, toutes filières confondues, les consommateurs, les éleveurs	Substitution de l'herbicide par du ramassage manuel ou de la fauche	Augmentation des ressources financières pour tous les types d'herbes vendus, pour la mise en place de solutions alternatives
5	Compostage collectif	Création d'une association d'agriculteurs autour de la gestion d'un ou plusieurs composteurs, à partir « d'herbe » de ces agriculteurs et des communes	Les agriculteurs volontaires du bassin versant, toutes filières confondues, communes, habitants	Substitution de l'herbicide par de la fauche des adventices	Augmentation des rendements par effets agronomiques autres (fertilité) et baisse du coût des intrants, donc ressources financières plus importantes pour la mise en place de solutions alternatives
6	Mutualisation des services d'un éleveur itinérant	Création d'une association d'agriculteurs ou d'un partenariat qui emploie un éleveur avec son troupeau pour passer sur les exploitations des adhérents	Les agriculteurs volontaires du bassin, toutes filières confondues et un , reliés par leur proximité géographique, éleveur tous reliés par leur proximité géographique,	Substitution d'herbicide par gestion animale	Gain de temps par l'externalisation de la gestion de l'enherbement, pour la mise en place de solutions alternatives
7	Koudmen	Création d'un groupe d'entraide entre agriculteurs du bassin, de différentes filières, pour gérer l'herbe sur les exploitations des uns et des autres	Les agriculteurs volontaires du bassin, toutes filières confondues		Diminution du coût de gestion de l'enherbement, partage d'expériences, donc augmentation des ressources financières et cognitives pour la mise en place de solutions alternatives
8	Co-exploitation de terres	Création de partenariats entre agriculteurs de différentes filières pour la mise en valeur et l'entretien de terres en jachère ou en inter-rang des cultures principales	Les agriculteurs volontaires du bassin versant de secteurs agricoles différents		Gain de temps pour les agriculteurs qui possèdent les terres et augmentation des ressources financières par rendements supplémentaires, pour la mise en place de solution alternatives

Ligne	Innovations	Description de l'innovation	Acteurs concernés	Effets sur l'usage herbicide	
				Effets directs	Effets indirects
9	Magasin du Galion, AMAP	Création d'un réseau de distribution local des productions des pour les agriculteurs du bassin versant, dans un magasin et/ou avec un contrat passé avec les consommateurs	Les agriculteurs volontaires du bassin versant, les consommateurs du bassin versant et d'ailleurs	Cahier des charges bio pour AMAP	augmentation des ressources financières par la valorisation du produit, pour la mise en place de solutions alternatives
10	Diversification en verger sous contrat	Création d'un contrat de partenariat entre des agriculteurs du bassin et l'usine de transformation sur le bassin	150ha sur le bassin versant (pour remplir les besoins de l'usine, l'usine de transformation)		Augmentation des ressources financières grâce au contrat, pour la mise en place de solutions alternatives
11	Bassin versant vitrine	Accord entre agriculteurs du bassin pour la formalisation et l'adhésion à une charte de bonnes pratiques	Les agriculteurs volontaires du bassin versant	Cahiers des charges de la charte incluant des règles sur l'usage herbicide	augmentation des ressources financières grâce au label, pour la mise en place de solutions alternatives
12	MAE Paysage	Création d'une MAE concernant la sauvegarde des paysages du bassin du Galion, (définition description collective des acteurs du bassin de ces paysages par les acteurs du bassin)	Tous les acteurs présents sur le bassin versant du Galion et les agriculteurs volontaires en particulier		Augmentation des ressources financières (aides), pour la mise en place de solutions alternatives
13	Circuit touristique	Création d'un réseau de fermes touristiques de secteurs agricoles différents, associé à d'autres activités de loisirs sur le territoire	Les agriculteurs volontaires du bassin versant de secteurs différentes, les communes et les structures d'accueil de touristes		augmentation des ressources financières par diversification de l'activité, pour la mise en place de solutions alternatives
14	Modules de formation selon les contextes	Création d'une formation basée sur les différents contextes pédoclimatiques et leurs innovations sans utilisation d'herbicides adaptées	Les agriculteurs du bassin versant, tout secteur confondu, et plus largement d'autres agriculteurs aux contextes agricoles similaires ; Les structures de formation existantes et leurs formateurs		Gain et partage de connaissances sur les rapports entre apports d'intrants et fonctionnement des sols, pour la mise en place de solutions alternatives
15	Pôle de formation du consommateur	Création d'un pôle de formation pour les consommateurs, axé sur l'agriculture et le questions de résidus dans l'eau dans les produits et les alternatives	Les consommateurs, les structures de formation		Augmentation des ressources financières pour les agriculteurs labellisés, pour la mise en place de solutions alternatives

Atelier « filière bassin versant du Galion »

Atelier « université de la gestion de l'enherbement du bassin versant du Galion »

Atelier « union pour la gestion de l'enherbement du bassin versant du Galion »

2.3.1. Caractérisation des innovations

La nature des innovations proposées dépend bien sur des ateliers qui les ont formulées, mais elles partagent pratiquement toutes d'être de nature plus organisationnelle que technologique. Les formes d'organisation sont variées : groupes d'échanges ou d'entraide, pôles de formation, associations, contrats de partenariat, réseaux (de fermes, de commercialisation ...). Elles visent à fédérer principalement des agriculteurs volontaires associés plus ou moins explicitement à des acteurs porteurs de ressources (structures de formation, entreprises de transformation, entreprises de services agricoles, structures administratives, ...) ou potentiels bénéficiaires des organisations envisagées (consommateurs, structures touristiques, autres agriculteurs ...). La proximité géographique est un argument très souvent mis en avant par les acteurs (périmètre d'ailleurs souvent inférieur au périmètre du bassin), pour faciliter à la fois l'obtention de services externes et l'organisation de mutualisations entre les agriculteurs. C'est en partie grâce à cet argument que les agriculteurs dépassent leur appartenance à une filière agricole.

Au-delà même de l'atelier « Université du bassin Galion » (14-15), l'intérêt porté à l'échange de connaissances entre systèmes agricoles différents transparait dans des projets comme la création de groupes d'échanges sur les pratiques alternatives de désherbage, au rang desquelles on trouve la sélection *in situ* de plantes locales couvrantes adaptées aux différents systèmes. Le « catalogue » envisagé pour réunir ces références répondrait à plusieurs limites des travaux développés jusque-là sur les plantes de couverture (demander des semences ou des plants à ses voisins, circuit formel d'achat de semences surtout adapté aux systèmes bananiers). Mais plus généralement, les innovations proposées, même dans l'atelier "Union pour la gestion de l'enherbement du bassin versant du Galion" (1 à 7), concernent moins l'efficacité des pratiques de gestion de l'enherbement, que l'organisation du travail qu'elles permettraient, le devenir des adventices qu'elles pourraient gérer, ou le retour financier qu'elles pourraient susciter par la valorisation des efforts des agriculteurs, le tout à l'intersection des filières et du territoire.

Certaines innovations ont bien un lien direct avec la gestion de l'enherbement car elles s'appuient sur des techniques alternatives à la lutte chimique (debroussaillage (3-7), fauchage (4-5-7), pâturage (6), couverture du sol (2)). Mais ce qui a intéressé les agriculteurs lorsqu'ils ont émis ces innovations, c'est d'abord la manière de gérer l'augmentation du temps de travail que ces pratiques représentent généralement par rapport à un désherbage chimique. Ils cherchent donc tous les moyens de partager (Koudmen), de déléguer (éleveur) ou d'externaliser (prestataire) les pratiques, quand les techniciens leur proposent plutôt, au moins implicitement, de les mettre en place individuellement. Les agriculteurs veulent aussi se concentrer davantage sur « *quelque chose de rentable* » (un agriculteur de l'atelier « union pour la gestion de l'enherbement du Galion »).

C'est un des traits sous-jacents de l'atelier "filère bassin versant du Galion" on le verra, mais c'est aussi perceptible dans les propositions des agriculteurs de faire quelque chose d'utile de ces adventices, en les vendant sur un marché des « herbes » (4) si elles sont comestibles pour les humains ou les animaux, ou en les transformant en compost (5) en lien avec les déchets des autres habitants et des communes. Le recours à l'élevage est un autre moyen de « transformer » les adventices (6) en quelque chose d'utile, soit en comptant sur un éleveur proche soit en créant l'activité pour un "éleveur itinérant". Les agriculteurs visent surtout à faire du désherbage « une opération blanche » dont le coût serait compensé par ces usages de la biomasse. Ils espèrent quelques gains de rendement et de revenus par les effets collatéraux de certaines pratiques sur la fertilité des milieux.

Les agriculteurs imaginent aussi, mais très marginalement, que la constitution de ces différentes innovations organisationnelles sous le chapeau d'une « Union du Galion pour la gestion de l'enherbement » pourrait permettre de drainer des subventions. Mais ce sont les acteurs réunis dans l'atelier "une filère Bassin Versant du Galion" qui vont le plus loin dans les propositions de qualification valorisante. Dans cinq innovations sur les six qu'ils imaginent, ils visent une augmentation des capacités financières des exploitations agricoles. Ainsi, dans cet atelier qui regroupe des acteurs de l'aval des filières, de la transformation agroalimentaire et des conseillers techniques, les participants ont développé une représentation des objectifs des agriculteurs centrée sur la nécessité de donner une valeur à l'innovation, autant que possible financière, et souvent appuyée sur des mécanismes d'incitation subventionnés. Ces innovations sont de deux types. Les premières s'appuient sur l'investissement dans l'aval de la production pour valoriser les pratiques des agriculteurs spécifiquement situés sur le bassin versant, comme la mise en place d'AMAP, le magasin du Galion, ou encore la contractualisation avec l'usine de transformation pour appuyer une diversification par l'augmentation de vergers. Mais à travers la spécification du « bassin versant du Galion », on cherche également à valoriser le territoire comme un exemple réussi de stratégies individuelles situées à une échelle d'impact environnemental. C'est donc le territoire du bassin du Galion, et ses agriculteurs et consommateurs, qui sont également valorisés. Par l'inclusion d'acteurs autres que les agriculteurs, certaines innovations cherchent à valoriser l'identité même du territoire, comme dans le Bassin versant-vitrine, le circuit écotouristique et la MAE paysage. Là, il s'agit de faire ressortir la riche diversité agricole du bassin du Galion qui concentre, sur ses 45km², tous les grands types d'exploitations et de productions que l'on peut trouver à l'échelle de la Martinique. Ces innovations participeraient à la « création de territoire » selon Peyrache-Gadeau et Perron (Peyrache-Gadeau and Perron, 2010) en faisant du bassin versant un élément fédérateur pour les agriculteurs et autres acteurs qui font partie de ce territoire.

La gestion de l'enherbement avec peu ou sans herbicides n'est plus ici un **résultat** de l'organisation innovante (comme dans l'atelier « Union pour la gestion de l'enherbement ») mais une **condition** qui s'exprimerait dans la formulation de cahiers des charges incluant ces obligations (certification Haute Valeur environnementale (HVE), Agriculture Biologique, AMAP).

Mais pour les acteurs qui les formulent, ces innovations sont avant tout une source d'augmentation des capacités financières des exploitants pour supporter le surcoût des techniques alternatives aux herbicides. Alors, même quand les labélisations envisagées ne portent pas sur des garanties sur l'eau comme pour la MAE Paysage ou le Circuit écotouristique, on pourrait imaginer qu'elles se développent en coévolution avec des innovations propres à réduire les herbicides.

2.3.2. De nouveaux critères d'évaluation du CO d'après la caractérisation des innovations

A travers les innovations imaginées, on distingue certaines attentes des acteurs vis-à-vis de l'objet que l'on conçoit. Ces attentes peuvent s'apparenter à des critères d'évaluation sur l'objet final, pour évaluer la façon dont le CO répondrait à ces attentes.

Tout d'abord, les acteurs autres qu'agriculteurs, en particulier ceux ayant participé à l'atelier « filière bassin versant du Galion », ont imaginé préférentiellement des innovations organisationnelles qui augmentent les capacités financières des exploitations agricoles, pour pallier le surcoût de la mise en place de pratiques alternatives. Cette augmentation peut être effectuée via une valorisation du produit de rente ou encore via l'octroi de subventions valorisant des pratiques vertueuses.

Ces mêmes acteurs ont accordé la priorité à la construction d'une identité propre au bassin versant du Galion que doivent permettre ces innovations organisationnelles, dans le but de créer un sentiment d'appartenance nécessaire à la mise en place de projets territoriaux.

Cette construction d'identité, on la retrouve également chez les agriculteurs qui, par la mise en place de nouvelles formes de mutualisation entre exploitations agricoles, souhaitent augmenter la solidarité entre les agriculteurs par l'appartenance à de nouveaux réseaux d'entraide et de partage, à des échelles intermédiaires entre l'exploitation agricole et le bassin versant.

Selon les agriculteurs, cette solidarité doit permettre de répartir différemment l'utilisation de la ressource « temps de travail » lors de l'implémentation de pratiques alternatives. A travers ces innovations, les agriculteurs souhaitent avant tout se libérer du temps de travail pour se concentrer davantage sur des activités dites « rentables », tandis que la gestion de l'enherbement est vue comme chronophage, n'aboutissant pas à une rente particulière.

Enfin, la réduction de l'usage individuel des agriculteurs transparaît à travers chaque innovation imaginée, en modifiant la taille et l'allocation des ressources terre, capital et travail de l'exploitation pour permettre la mise en place de pratiques alternatives à l'herbicide.

Ces attentes deviennent autant de nouveaux critères d'évaluation du C0, à savoir : (i) augmenter les ressources financières de l'exploitation agricole, (ii) valoriser le bassin versant à travers la construction d'une identité propre, (iii) augmenter la mutualisation de moyens entre agriculteurs, (iv) libérer du temps de travail aux agriculteurs, (v) et enfin diminuer l'usage d'herbicides des agriculteurs.

2.3.3. De nouvelles partitions et des idées en rupture pour le référentiel C-K

A travers les propositions d'innovations des acteurs dans les ateliers C, nous avons pu faire évoluer le référentiel C-K (Figure 40).

Ces innovations ont permis de créer deux nouvelles partitions (en comparaison de la Figure 39 précédente). La partition 5 distingue les innovations qui cherchent à valoriser le territoire, des innovations qui formulent de nouvelles mutualisations entre exploitations agricoles. Puis la partition 6 désigne les « objets » de la valorisation ou de la mutualisation : les pratiques ou le territoire lui-même pour la première, les connaissances, les ressources, les services ou la force de travail, pour la seconde.

Ces nouvelles partitions apportent aussi de nouvelles connaissances dans l'espace K (l'espace K de la Figure 40 montre uniquement les nouvelles connaissances issues des ateliers C). Certaines s'appuient sur une meilleure évaluation de l'effet de quelques techniques agricoles (compostage, association avec l'élevage), mais la plupart sont des récits d'expériences exemplaires, d'ici ou de métropole. Ce qui justifie de faire de ces propositions des innovations de rupture, alors que l'idée ne semble pas toujours nouvelle dans l'absolu, c'est qu'elles sont généralement pensées : (i) à une échelle supra-exploitation, (ii) et entre des exploitations de filières agricoles différentes. Cela répond à nos objectifs d'exploration. Nous montrerons ici que toutes les innovations retenues sont en rupture avec le dominant design, que les propriétés de ces nouvelles idées aient été rediscutées par le collectif ou non. Pour cela, nous nous aiderons de représentations en arbre C (figures 41 et 42) issus des idées de départ des participants, pour montrer quelle(s) propriété(s) (i) et (ii) ont été rediscutées.

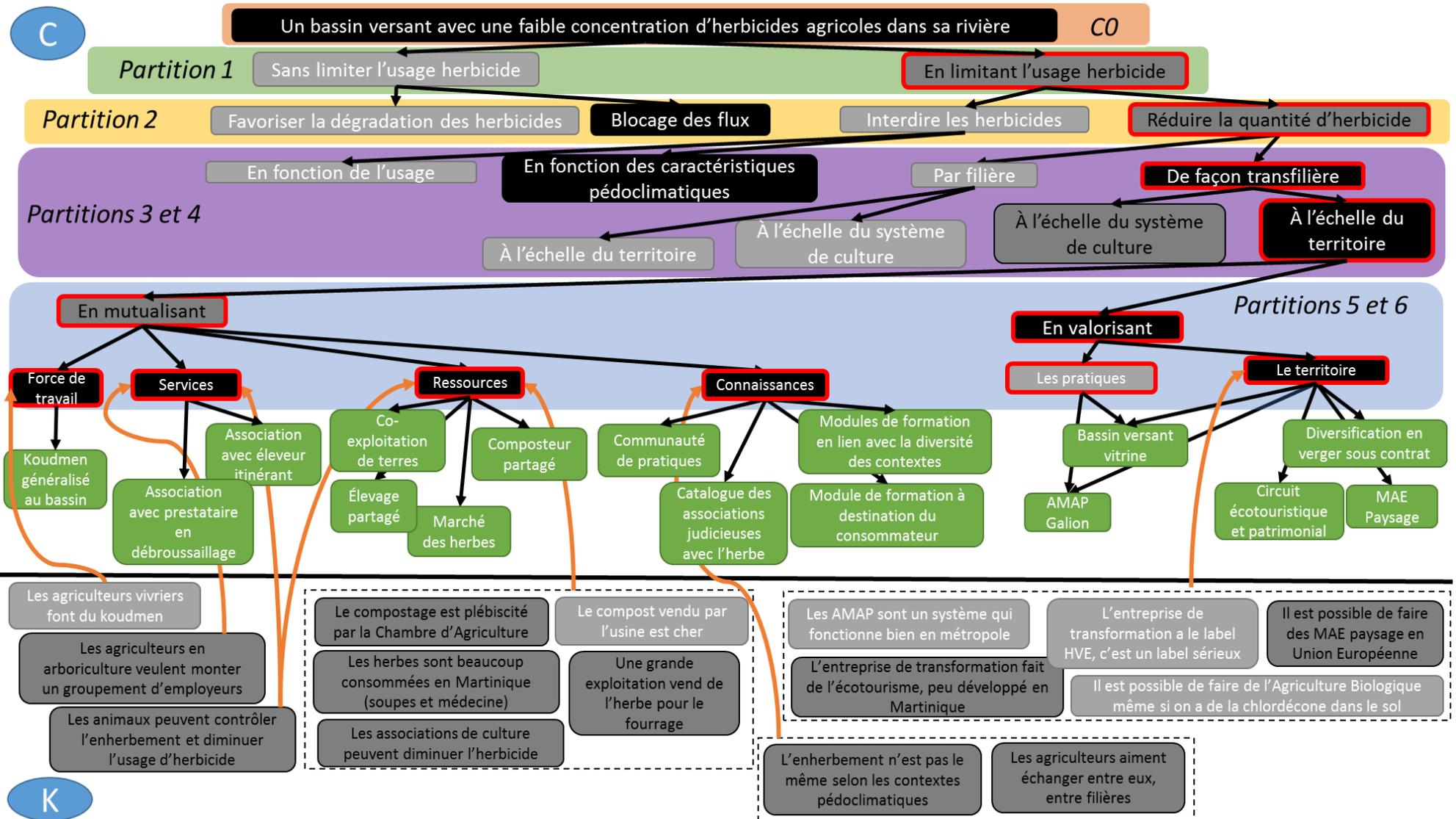


Figure 40: Référentiel C-K à l'issue des ateliers C d'exploration. Les cadres gris clair sont des concepts connus et des connaissances stabilisées, les cadres gris foncé sont des concepts atteignables et des connaissances qui demandent encore de la recherche, les cadres noirs sont des concepts en rupture et des manques de connaissance. Les flèches orange indiquent les connaissances qui ont permis de construire le concept relié. Les concepts encadrés en rouge représentent la voie d'exploration choisie pour le processus de conception de la thèse. Les cadres jaunes représentent les innovations qui ont permis de partitionner les concepts

Sur les 15 innovations, 4 sont issues d'organisations existantes ou en projet qui, à l'issue des ateliers C, ont été élargies à un nombre plus importants d'exploitations, ou à des exploitations d'autres filières. C'est le cas du koudmen qui se fait déjà en vivrier et en canne, de l'accès pour tous à un prestataire de service en débroussaillage qui est déjà en projet chez les arboriculteurs, du circuit écotouristique (que le fabricant de jus de fruits fait déjà mais à l'échelle de son usine), du bassin versant-vitrine qui réunirait des labels déjà existants sur le bassin versant, et du catalogue émis par l'IT2 sur les plantes de couverture locales qu'il est possible de sélectionner sous bananiers. L'exploration dans les ateliers C a induit une ouverture de ces innovations qui rediscutent en partie leurs propriétés. Sur la Figure 41, on voit que les innovations collectives sont devenues transfilières, et que les innovations individuelles ont doublement évolué en étant pensées à l'échelle collective et de façon transfilière. Entre une et deux propriétés de ces innovations ont donc été rediscutées.

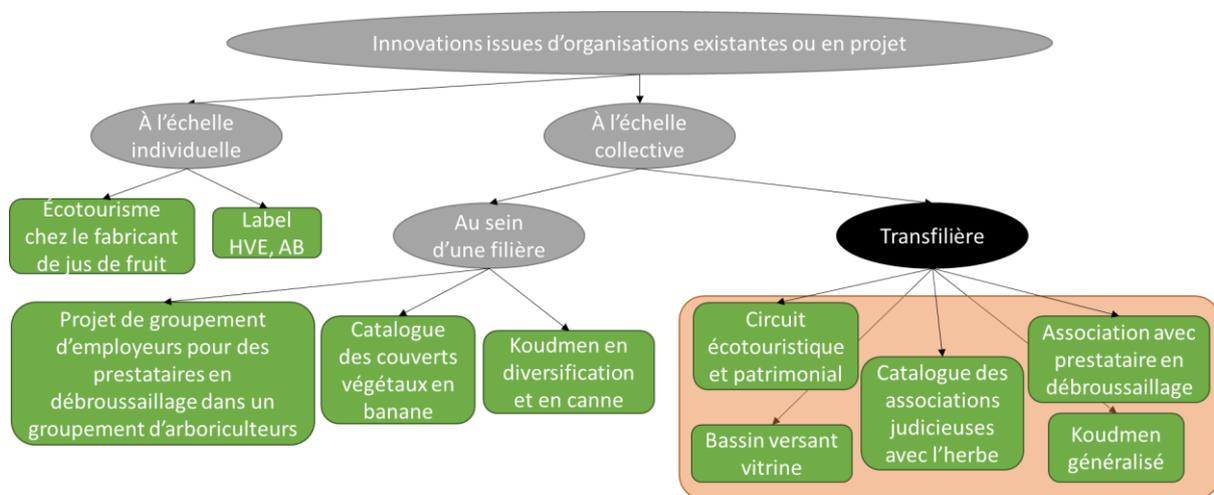


Figure 41: concepts des innovations existantes chez certains participants, et leurs versions innovantes issues des ateliers C (cadre orange)

D'autres innovations sont issues de techniques innovantes à la parcelle, pour lesquelles il manque un nombre plus ou moins important de connaissances agronomiques à cette échelle, mais qui font tout de même l'objet d'un élargissement à l'échelle supra-exploitation (Figure 42). C'est le cas de l'association avec un éleveur, de l'élevage partagé au sein d'une union d'agriculteurs, de la mutualisation d'un processus de compostage et de la co-exploitation de terres. Une propriété de ces innovations a donc été rediscutée, celle de l'échelle.

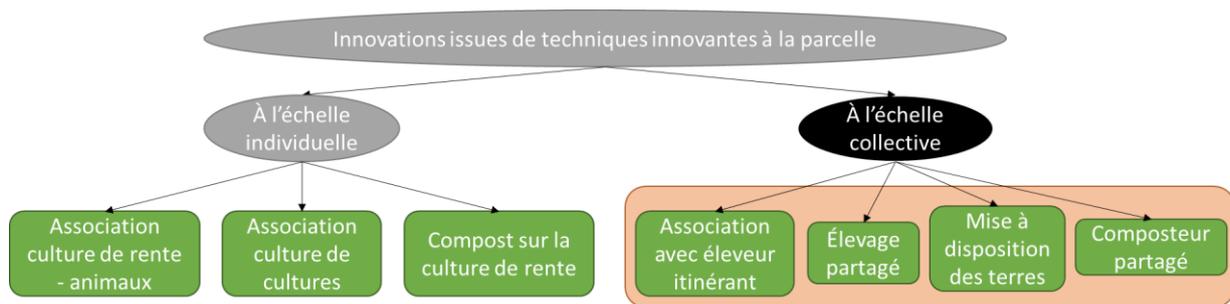


Figure 42: concepts des innovations existantes étudiées à l'échelle parcellaire par certains participants, et leurs versions innovantes issues des ateliers C (carte orange)

D'autres innovations enfin, s'inspirent d'exemples extérieurs. Ces innovations n'ont pas vu leurs propriétés rediscutées pendant les ateliers, et sont considérées comme innovantes car elles ne sont pas appliquées en Martinique. C'est le cas de l'AMAP, de la MAE paysage et de la communauté de pratiques.

Finalement, la rupture ici c'est celle qu'opèrent les acteurs en sortant des dépendances au chemin que le diagnostic du système sociotechnique avait identifié. C'est leur contextualisation au regard des acteurs et de la question en jeu qui les rend originales, ici en rompant avec l'échelle parcellaire et le caractère mono-filière des solutions habituelles.

2.4. Dépassement des effets de fixation

Cette capacité des acteurs à s'écarter plus ou moins des effets de fixation, au moins le temps des ateliers, est un produit de la démarche utilisée. Pour l'évaluer, nous avons détaillé les réactions des acteurs sur trois sous-objets qui composent l'objet initial C0 : la gestion de l'enherbement, les mécanismes de pollution de la rivière et le bassin versant. De cette façon, il nous sera possible de discuter de la réussite de la méthode. Cette analyse reprend les informations des grilles présentées en 1.2.2 et 1.2.3 concernant les résultats sur la méthode.

2.4.1. La gestion de l'enherbement chez les acteurs du processus de conception

De L'échelle parcellaire au territoire

Au cours de l'atelier K, l'apport de connaissance focalise la gestion de l'enherbement autour des techniques à la parcelle, avec les présentations des acteurs du conseil et de la recherche sur les techniques actuellement développées. Quant aux organisations de producteurs et l'Etat, ils s'interrogent sur le transfert de ces innovations aux agriculteurs : « *le transfert de l'innovation, c'est l'objectif principal des prochaines années. C'est essentiel pour réussir Ecophyto* » (représentant de la DAAF Martinique, atelier K).

C'est au cours des discussions qui suivent que l'intérêt de penser la gestion à une échelle plus englobante est esquissée. L'idée de vendre une production issue des plantes de couverture est contrée par les risques encourus, pour la fertilité des milieux, d'une exportation de la matière sèche produite. Mais cette inquiétude, tout à fait justifiée si on raisonne exportation systématique pour chaque parcelle, est sans doute moins vive si l'on raisonne à l'échelle d'un bassin en répartissant les exportations dans le temps (partie 2.2.2). Au cours de leurs échanges lors des ateliers C, les agriculteurs perçoivent progressivement l'intérêt de réfléchir à cette échelle supérieure pour avoir accès à des ressources qu'ils ne peuvent pas se procurer seuls ou à des prix trop élevés, comme des machines, et surtout des services : « *là on est 6 [agriculteurs], à raison d'une intervention [pour désherbage à la débroussailleuse] chaque semaine sur une exploitation (...) Peut-être que là on peut avoir un prix. Et au lieu de payer 400 euros on paye 320 euros. C'est déjà pas mal non ?* » (Agricultrice, atelier « union pour la gestion de l'enherbement du Galion »). Pour les acteurs de l'aval de la production, du conseil technique et de la recherche, les échanges qu'ils ont au cours des ateliers les conduisent à voir le territoire plutôt comme un moyen de mise en valeur des productions (cultures majeures ou de diversification). C'est un levier indirect de la gestion de l'enherbement puisqu'il peut augmenter la capacité financière des exploitations permettant la mise en place de pratiques alternatives, par la mise en place de circuits courts et par la labellisation des productions.

De la sectorisation par filière aux échanges entre filières

Au cours des ateliers C ont été identifiés des problèmes et besoins communs aux filières, ainsi que des différences pouvant s'accorder de manière fructueuse. Ainsi, sur les questions de gestion du travail de désherbage, les agriculteurs ont partagé leurs expériences et identifié leurs contraintes. Si un agriculteur en canne ne peut plus gérer l'enherbement dans les parcelles après 6 mois, et qu'il a donc plus de temps pour d'autres activités, il en est autrement pour le vivrier-maraîcher dont la gestion de l'enherbement doit se faire toute l'année, car il y a toujours une culture dans son système très diversifié qui sera au stade jeune et donc très sensible à la compétition avec l'herbe. Cet état des lieux des contraintes ouvre sur de nouvelles possibilités d'organisations à des échelles supérieures, comme des systèmes d'entraides s'appuyant sur la combinaison des disponibilités des agriculteurs en fonction de leurs systèmes de culture. Dans leurs échanges, les acteurs ont aussi partagé une même préoccupation pour une classe d'adventices particulière, à savoir les lianes. Pour la plupart des agriculteurs, c'est le principal problème actuellement en gestion de l'enherbement : « *je ne sais pas si c'est pareil chez les autres agriculteurs, mais à la limite l'herbe n'est presque pas un problème, ce qui emmerde ce sont les lianes, on ne sait pas comment faire, à part le désherbant on ne peut rien faire. Ah si, mettre 15 personnes à arracher les lianes toute la journée [...] les lianes il faut vraiment qu'on trouve quelque chose pour ça parce que ça envahit tout et ça pourrait le sol* » (agriculteur de banane, atelier « université de la gestion de l'enherbement du Galion »).

Alors, malgré les nombreux obstacles qui lui sont opposés, par l'encadrement technique en particulier, l'association entre culture et élevage est conservée à l'issue des discussions en atelier comme une innovation à travailler en rupture avec les pratiques actuelles en plantation parce que « *les moutons vont sélectionner les lianes pour les manger car ils aiment beaucoup ça* » (agriculteur de banane, atelier K).

2.4.2. Les processus de transfert des herbicides vers la rivière

De l'échelle parcellaire au territoire

Les connaissances présentées dans l'atelier K montrent que c'est surtout la position de l'application d'herbicide sur le bassin versant, en lien avec le type de sol et la pluviométrie, qui va jouer sur les capacités de transfert vers la rivière, et qu'au final, c'est l'accumulation des usages qui va générer de la pollution. Mais, on l'a vu précédemment, les acteurs du conseil et de la recherche, appuyés par l'Etat, ont une vision très individuelle, centrée sur l'agriculteur et sa parcelle, de la responsabilité de la pollution des rivières par les herbicides. Tout au plus, au cours de l'atelier K admettent-ils un effet additif des pratiques pour diminuer la pollution : « *Quelle proportion d'un changement drastique sur le bassin versant faudrait-il ?* » (Ingénieur de l'IT2, atelier K). Les discussions au cours des ateliers C mobilisent peu l'hétérogénéité du bassin vis-à-vis des processus de pollution dans l'exploration d'innovations. La pollution reste la responsabilité de chaque filière dans l'esprit de la plupart des acteurs.

De la sectorisation par filière aux échanges entre filières

L'idée que les mécanismes de transfert des herbicides vers la rivière nécessitent en partie une gestion collective de la pollution, transversale aux filières, est difficilement perceptible chez certains acteurs. Dans l'atelier C « filière bassin versant du Galion », une représentante d'un centre de recherche en agroalimentaire questionne : « *Là vous tentez de me convaincre que c'est vraiment un cumul de l'ensemble des pratiques qui contribuent à la pollution sans qu'aucune pratique en particulier ne contribue plus que d'autres, c'est bien ce que vous nous expliquez ?* » (Représentante d'un centre de recherche en agroalimentaire, atelier « filière bassin versant du Galion »). Une partie des acteurs reste alors persuadés que l'action de réduction des usages est de la responsabilité des filières : « *vous comprenez donc bien que l'effort qui sera demandé à certains types de culture sera moindre que peut-être à d'autres types de culture* » (Représentante d'un centre de recherche en agroalimentaire, atelier « filière bassin versant du Galion ») ; « *c'est vrai que comme y a 50% de banane, forcément si les gens qui font de la banane se mettent d'accord sur une réduction ça aura plus d'impact que si tous les arboriculteurs faisaient la même chose* » (représentante d'une usine de transformation de fruits, atelier « filière bassin versant du Galion »). Pourtant, les agriculteurs ont une vision davantage collective et transfilière de la responsabilité, avec la nécessité que « *tout le monde s'y mette* » (agriculteur, atelier « union pour la gestion de l'enherbement »), sentiment exacerbé par l'insularité, situation plus vulnérable que sur un continent selon eux.

2.4.3. Le bassin versant comme unité de gestion

De l'échelle des mécanismes vers l'échelle de gestion

Les acteurs perçoivent le bassin versant de la rivière comme le lieu de l'impact de la pollution herbicide, mais pas comme une échelle de gestion de cette pollution. Si la parcelle est l'échelle d'action technique privilégiée, l'échelle d'action collective qui paraît la plus évidente aux acteurs est celle de la Martinique : « *je pense qu'il faut sortir du territoire du Galion, moi ça ne me plait pas, ce n'est pas le territoire du Galion mais l'île qui est concernée* » (agriculteur, atelier « université de la gestion de l'enherbement du Galion ») ; « *Vous, vous vous êtes penchés sur le bassin du Galion, mais on est d'accord que ça peut s'étendre à terme à la Martinique. Je pense que les gens ici ils raisonnent très Martinique, la grande distribution a quand même un énorme impact et ils sont tous entre eux* » (représentante d'une usine de transformation de fruits, atelier « filière bassin versant du Galion ») ; « *on est tous dans le même bateau, il n'y a pas que le bassin du Galion puisque de l'eau il y en a partout. Il faudrait peut-être étudier comment changer le nom de ça, je ne sais pas, parce qu'il y a aussi le bassin du sud, du nord, du centre. L'eau de la Martinique plutôt, quelque chose comme ça* » (agriculteur, atelier « université de la gestion de l'enherbement du Galion »). Ainsi, le bassin versant du Galion ne possède pas, *a priori* des ateliers, une dimension idéale chez les acteurs du secteur agricole, qu'ils habitent ou non sur le bassin versant. Mais au cours des ateliers d'exploration, cette représentation évolue. Progressivement l'échelle du bassin versant (et celui du Galion en particulier) apparaît comme un niveau intermédiaire. D'abord comme un lieu d'expérimentation : « *que le Galion serve d'exemple positif, et si c'est concluant, on aura qu'à copier le modèle* » (technicien de la Chambre d'agriculture, atelier « université de la gestion de l'enherbement du galion »). S'il est possible d'en faire un bassin versant vitrine labellisé, AB, HVE ou un nouveau label, cela pourrait inciter d'autres bassins versants de la Martinique. Mais au-delà de ce rôle expérimental, le bassin versant apparaît aussi dans certains échanges, comme un lieu de coordination d'actions transfilières.

De la sectorisation par filière aux échanges entre filières

Dans l'atelier « filière bassin versant du Galion » le bassin versant fait l'objet d'une redéfinition, non plus comme un espace uniquement lié à un impact, mais comme un territoire à construire pour fédérer des agriculteurs très divers, à la fois en termes de filière de production mais aussi en termes de territoire administratifs : « *au niveau du périmètre du territoire, le bassin versant du Galion, vous avez dit il y a 4 communes, il faudrait que les exploitations qui sont là se reconnaissent dans ce territoire. Est-ce qu'elles sont plus attachées au fait d'appartenir à Sainte-Marie ou à ce bassin versant du Galion ? Est-ce que cette dénomination existe et est-ce qu'ils se reconnaissent dans cette dénomination ? Sinon il n'y aura pas d'unité* » (représentante d'un centre de recherche et agroalimentaire, atelier « filière bassin versant du Galion »). Les acteurs de cet atelier voient le concept « filière bassin versant » comme une occasion de réfléchir à ce qui peut réunir les agriculteurs, et les autres acteurs, d'un territoire aussi diversifié, dont le dénominateur commun est la rivière :

« vous êtes un peu provocateur quand vous dites « la filière bassin versant », on se dit mais qu'est-ce que ça veut dire cette histoire-là puisqu'une filière c'est quelque chose qui est physiquement bien constitué, la filière canne c'est tout ce qui est production locale et tout ce qui tourne autour de la production donc les distilleries et l'usine du Galion, donc quand on me dit « filière bassin versant » je me dis c'est une bonne idée finalement parce que ça veut dire que comme tout est différent, maraichers, canne, banane, y a tout, qu'est-ce qui peut être commun pour réunir toute cette agriculture, toute cette ruralité, autour de ce bassin ? Donc c'est l'eau, c'est toute la vie qu'il y a autour, et ça veut dire après comment on peut faire pour que les pratiques sur la canne, sur la banane, le maraicher, l'élevage etc. tout ce qu'on connaît va contribuer à améliorer cet environnement ? » (Représentant Canne Union, atelier « filière bassin versant du Galion). Pour les agriculteurs de l'atelier « union pour la gestion de l'enherbement du Galion », certaines innovations privilégient clairement la proximité physique des agriculteurs sur un même bassin versant à leur appartenance à une filière comme dans le cas de l'emploi en commun d'un salarié et d'une machine pour le désherbage ou pour la gestion d'un troupeau passant d'une parcelle à l'autre, de différentes exploitations proches.

A l'issue de cette phase KC de conception, nous avons obtenu des concepts novateurs en rupture (partitions 5 et 6 figure 40) qui demandent aux acteurs de se réorganiser sur le territoire du bassin versant. Mais des questions restent en suspens, d'une part sur l'opérationnalité de ces concepts, et d'autre part sur la réduction effective de la pollution herbicide qu'ils permettraient. Nous tenterons de résoudre une partie de ces questions à l'aide d'un jeu sérieux simulant l'utilisation de ces nouveaux concepts par les acteurs, sur le bassin versant du Galion.

Chapitre 5 : Le jeu sérieux pour discuter de la mise en place et de la pertinence des innovations territoriales

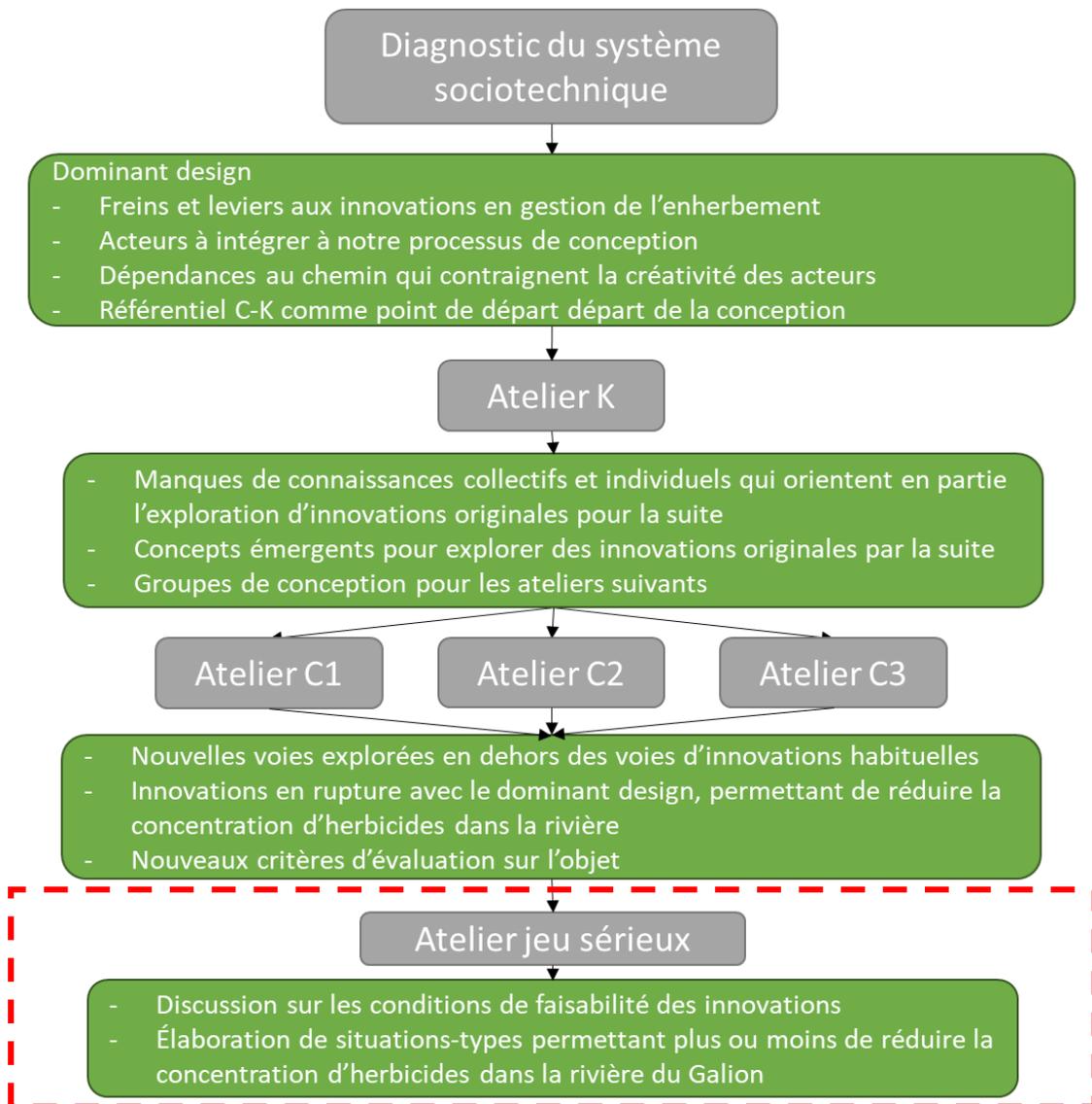


Figure 43: positionnement du chapitre 5 dans le processus expérimental de la thèse

Le jeu sérieux représente la deuxième phase de conception du dispositif. Il vient à la suite de la conception innovante, afin de replacer les innovations de rupture imaginées par les acteurs au sein du système socioécologique pour lequel elles ont été pensées. L'objectif de ce chapitre est d'établir les conditions de succès de ces innovations dans la réduction effective d'herbicides dans la rivière, ainsi que discuter de leur capacité à répondre aux attentes des acteurs. En simulant le fonctionnement du territoire, tant dans les échanges entre acteurs que dans les mécanismes agro-hydrologiques qu'une adaptation du modèle WATPPASS (Mottes et al., 2015) permet de reproduire, on cherche à « poursuivre la conception dans l'usage » (Béguin and Cerf, 2004; Cerf et al., 2012).

Le jeu sérieux vient s'inscrire dans la continuité des phases précédentes. C'est pourquoi la première partie de ce chapitre explicitera les données retenues des phases précédentes (diagnostic du système sociotechnique et conception innovante) utilisée pour le jeu sérieux, et la façon dont nous avons choisi de les représenter dans le jeu (1.1). Pour rappel, la formalisation de cette phase de jeu sérieux s'inspire fortement de la méthode de modélisation d'accompagnement. Aussi, cette première étape reprendra le formalisme de la méthode ARDI (Acteurs, Ressources, Dynamiques, Interactions – cf. (Étienne, 2009). Nous présenterons ensuite les éléments principaux de la session de jeu, en décrivant comment nous avons représenté les éléments du système socioécologique choisis précédemment dans le jeu, et le déroulé chronologique des différentes phases de jeu (1.2). Nous décrirons après comment nous avons analysé les résultats de ce jeu (1.3).

Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous présenterons les résultats du jeu sous forme de déroulé chronologique (2.1). Dans un premier temps en analysant pour chaque phase de jeu (i) de quelle façon les innovations ont été rediscutées par les participants et si de nouvelles règles de gestion ont émergé, (ii) l'impact des stratégies collectives innovantes sur la pollution de la rivière, et enfin (iii) nous analyserons l'évolution des pratiques d'enherbement et des stades d'enherbement des parcelles à l'échelle collective. Dans un second temps, nous analyserons ces résultats en étudiant comment les stratégies individuelles de gestion de l'enherbement ont été plus ou moins impactées par les stratégies collectives issues des innovations (2.2).

Enfin, dans la dernière partie de ce chapitre, nous synthétiserons l'ensemble des résultats (2.4) en différentes situations-type qui croisent stratégies individuelles et collectives, en désignant les leviers nécessaires pour assurer une diminution des herbicides dans la rivière.

1. Formalisation du jeu sérieux

1.1. Mobilisation des résultats des phases précédentes

Nous présentons dans ce paragraphe la manière dont nous avons extrait des phases précédentes d'une part le choix (argumenté) d'innovations retenues sur les 15 produites en phase KC, et d'autre part l'organisation du jeu autour du choix des acteurs, des ressources et de leurs relations qui a été réalisé lors de 5 sessions de travail de l'équipe d'animation du jeu (Annexe 1).

1.1.1. Les éléments issus de la conception innovante

La caractérisation des innovations issues de la phase KC du processus de conception nous a montré que ces innovations, qui impliquent des changements à l'échelle organisationnelle et remettent en cause les façons de produire, ont d'une part des effets directs et indirects sur la diminution de l'usage herbicide et d'autre part font ressortir d'autres critères d'évaluation des innovations que la seule diminution de la présence d'herbicide dans la rivière. Nous avons donc choisi d'incorporer au jeu un ensemble d'innovations issues de la phase KC qui, à la fois balaie l'ensemble des concepts novateurs, et permet bien de représenter les nouveaux critères d'évaluation à savoir : (i) la diminution de l'usage herbicide à la parcelle, (ii) l'augmentation des ressources financières de l'exploitation agricole (particulièrement évoqué par les acteurs non agriculteurs), (iii) la libération de temps de travail des agriculteurs (particulièrement important pour les agriculteurs), (iv) la valorisation du territoire du bassin versant (v) l'augmentation de la mutualisation de moyens entre agriculteurs. La Figure 44 rend compte du choix des innovations qui a été fait dans cette partie du processus de conception.

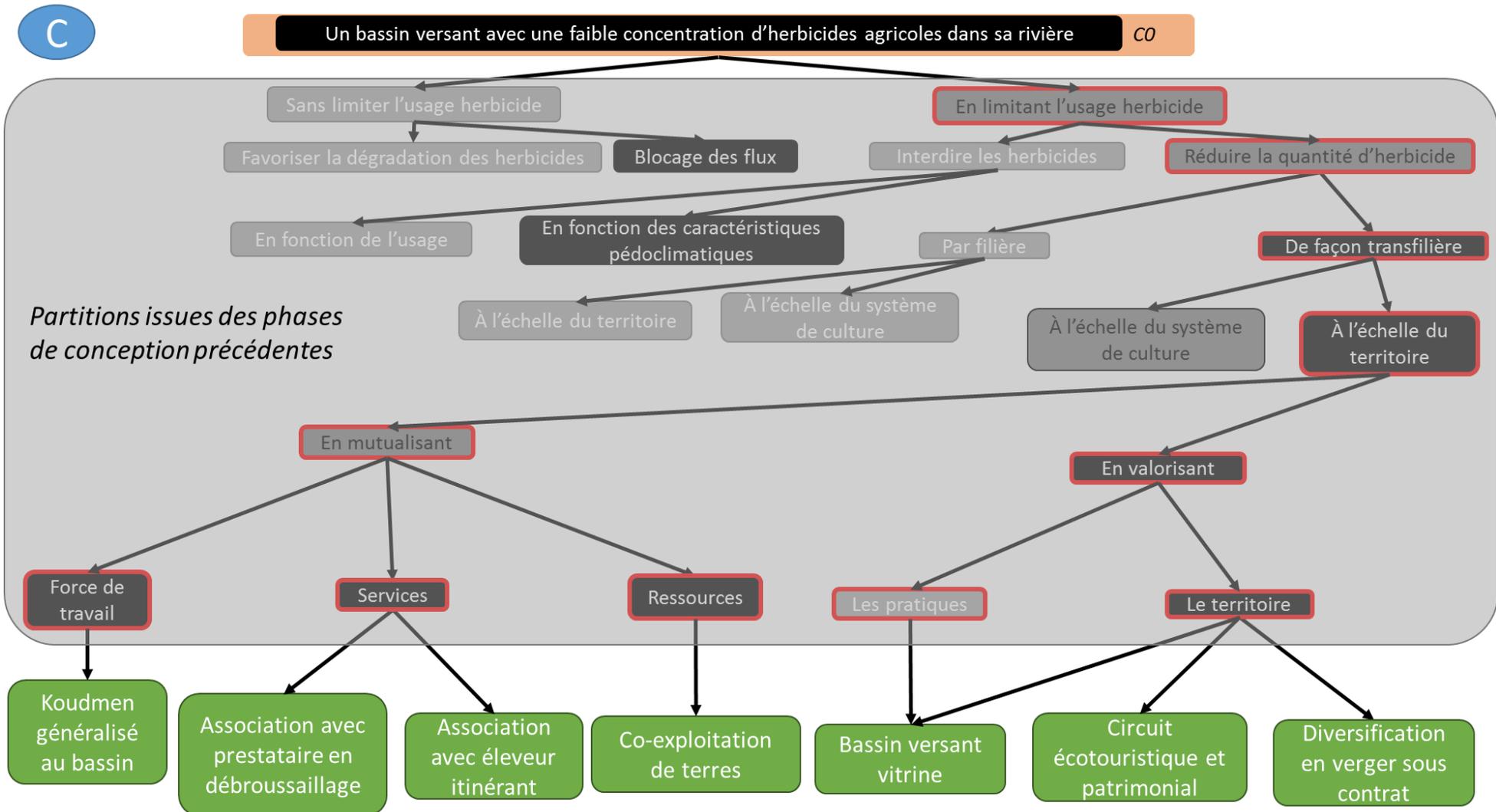


Figure 44: Arbre C où sont positionnées les innovations intégrées dans le jeu sérieux (en jaune)

1.1.2. Les éléments du système socioécologique

Pour rappel, un processus de modélisation d'accompagnement commence par la représentation conceptuelle de notre système complexe, principalement via la méthode ARDI (voir matériel et méthode). Cette étape est en principe réalisée en collectif avec les acteurs. Cependant, pour des raisons de temps, et afin de ne pas sur-solliciter les acteurs, cette représentation conceptuelle a été effectuée par l'équipe d'animation, à partir des connaissances recueillies principalement lors du diagnostic sociotechnique (chapitre 3) et des ateliers KC (chapitre 4), et en faisant intervenir des experts lorsque nécessaire.

Cette représentation du système s'élabore à partir d'une question à laquelle on veut répondre (Etienne, 2015). Notre question a repris notre C0 : *comment concilier gestion de l'enherbement dans les exploitations du bassin versant du Galion et faible concentration en herbicides dans l'eau de rivière ?* A partir de là, et selon la méthode ARDI, nous avons remobilisé les résultats des chapitres 3 et 4 et déterminé (i) les acteurs décisifs et leurs interactions, (ii) les ressources principales du territoire et les informations essentielles à connaître pour en garantir une utilisation durable, (iii) les dynamiques pouvant provoquer des changements affectant l'utilisation d'herbicides dans la gestion de l'enherbement et la concentration d'herbicides dans la rivière, (iv) pour finir par représenter les interactions reprenant la façon dont chaque acteur interagit avec les ressources du territoire en lien avec notre problématique. Ce modèle (Figure 45) ne cherche pas l'exhaustivité. Il vise à refléter les interactions perçues comme principalement actives dans la gestion de l'enherbement de l'agriculteur et de ses impacts sur la qualité de l'eau. Il s'agit d'identifier les acteurs essentiels dans la gestion de notre système étudié, leurs entités de gestion et leurs modalités d'interaction avec l'environnement et les autres acteurs (Le Page et al., 2010).

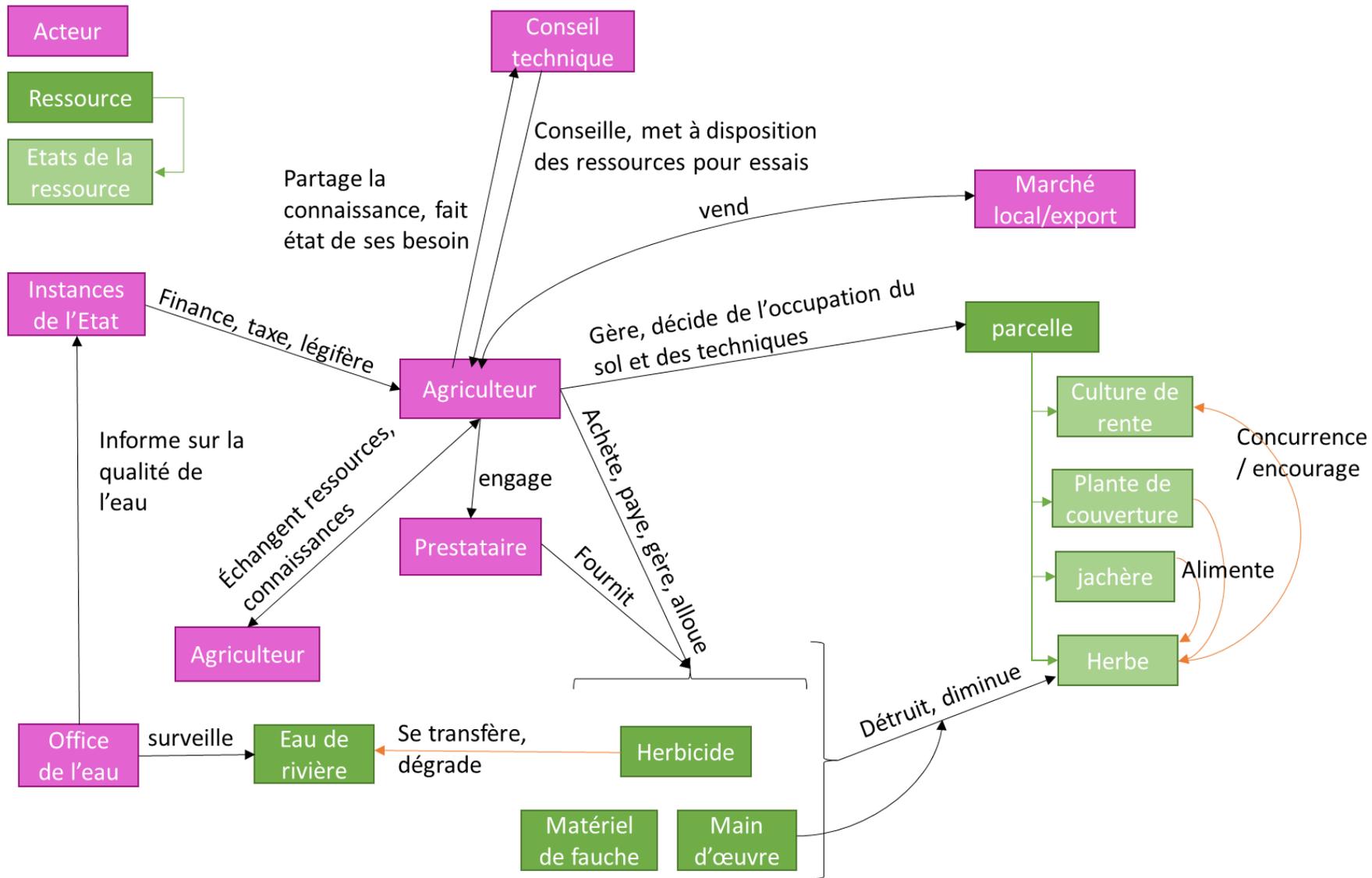


Figure 45: diagramme des interactions entre acteurs et ressources de notre système étudié. Les acteurs sont en rose et les ressources en vert foncé (les ressources en vert clair indiquent différents états d'une même ressource, pouvant avoir lieu simultanément, par exemple une parcelle peut contenir une culture de rente et une plante de couverture). Les flèches indiquent les interactions avec les verbes d'actions qui précisent chaque flèche (par exemple le prestataire fournit de l'herbicide). Les flèches sur une flèche indiquent une action de transformation (par exemple c'est la main d'œuvre qui applique l'herbicide pour qu'il détruise l'herbe). Les flèches orange montrent les dynamiques naturelles (l'herbe va concurrencer la culture de rente ou l'encourager dans le cas d'associations judicieuses).

1.1.2.1. Les acteurs et les ressources

Issus du diagnostic sociotechnique

Sur ce diagramme (Figure 45 ci-contre), l'agriculteur est l'intermédiaire entre d'un côté les autres acteurs, et de l'autre côté l'état de sa parcelle et l'allocation de sa main d'œuvre. Cette représentation indique que l'action directe sur la parcelle relève de l'agriculteur, mais que la majorité des autres acteurs ont une influence directe sur lui (prestataire, conseil technique, DAAF, marché, autre agriculteur), excepté l'acteur qui surveille la qualité de l'eau qui n'est pas en lien direct avec l'agriculteur (ODE).

Le diagnostic sociotechnique nous a renseignés également sur les réseaux d'acteurs et leur influence. A chaque filière son réseau d'acteurs propre. Aussi, nous avons simplifié la diversité des acteurs par leur fonction intervenant dans la gestion de l'enherbement, notamment par le « conseil technique » qui reprend le rôle des différents instituts techniques, centre de recherche ou encore Chambre d'Agriculture. De même pour les « instances de l'Etat » qui reprennent plusieurs acteurs étatiques et territoriaux type DAAF, CTM, etc. Cette simplification a été nécessaire du fait de la complexité des réseaux et du nombre important d'acteurs intervenant sur les trois secteurs agricoles : banane, canne et diversification.

Nous avons aussi relevé l'importance des réseaux informels d'agriculteurs, notamment sur le transfert d'innovations en gestion de l'enherbement (GIE, circuits courts, etc.). Ce que nous avons modélisé par l'interaction entre l'agriculteur et un autre agriculteur.

Le diagnostic sociotechnique nous a orientés de manière à considérer la main d'œuvre comme une ressource que gère l'agriculteur : soit cette main d'œuvre est l'agriculteur lui-même dans le cas des petites exploitations, soit la main d'œuvre est salariée dans le cas des grandes exploitations. La main d'œuvre peut également être fournie par un prestataire externe. Dans ces trois cas de figure, c'est l'agriculteur qui décide de l'allocation de cette ressource sur son exploitation. Grâce à sa force de travail, l'agriculteur va décider de l'occupation du sol et de l'itinéraire technique appliquée aux différents états de sa parcelle (en vert clair sur la Figure 45), notamment de l'herbe, qu'il peut par ailleurs gérer via de l'herbicide et/ou de la fauche (mécanique ou avec de l'élevage). C'est cette gestion qui impliquera ou non un transfert d'herbicide vers la rivière.

Leur implémentation dans le jeu

Au cours de la conception du jeu, l'équipe d'animation a procédé à une réduction substantielle du nombre de rôles par rapport au nombre d'acteurs identifiés en phase ARDI, choix classique dans les sessions de la méthode ComMod où ils sont parfois réduits de moitié voire davantage, en gardant les rôles ayant une place centrale dans le diagramme des interactions (Etienne, 2015).

Tout d'abord, nous avons fortement représenté l'acteur central du système, l'agriculteur. Concernant les autres acteurs, nous avons fusionné le rôle « instance de l'Etat » et « office de l'eau » en un seul acteur : « gestionnaire de territoire », qui possède à la fois l'information sur la pollution de l'eau, et les moyens financiers qu'il peut choisir d'utiliser pour encourager, ou non, certaines actions des agriculteurs. Le « conseil technique » est représenté par les animateurs qui aident les participants à effectuer des choix agronomiques en fonction des règles du jeu. Les acteurs « marché » et « prestataire » ne constituent pas des rôles suffisamment actifs dans notre système étudié, mais font plutôt partie d'un cadre territorial d'opportunités et de contraintes. Au final, nous avons 2 rôles pour les joueurs : (i) agriculteurs, au nombre de 8 qui reprennent les grandes lignes des exploitations que l'on retrouve sur notre bassin versant, (ii) le gestionnaire de territoire, qui reprend les rôles de surveillance de la qualité de l'eau, et de législateur en qualité de l'eau et en usage herbicide.

Les joueurs-agriculteurs doivent gérer l'enherbement sur leur exploitation, composée de deux ou trois parcelles, en allouant deux types de ressources par trimestre : l'argent et la force de travail (qui comprend la main d'œuvre et le matériel agricole). Ces ressources, à l'échelle de l'exploitation, peuvent évoluer en fonction de la performance de l'exploitation, calculée sur une moyenne des rendements de l'année. Les exploitations agricoles du jeu correspondent à des agrégats d'exploitations agricoles du bassin versant. On retrouve ainsi 3 moyennes à grandes exploitations de banane, 1 grande exploitation de canne, 1 petite exploitation de canne, 1 petite exploitation de banane créole, 1 grande exploitation d'agriculture de diversification, 1 moyenne exploitation de fleurs.

Le joueur-gestionnaire de territoire doit gérer activement la discussion avec les joueurs-agriculteurs sur la participation aux innovations, et possède des ressources d'argent représentant de potentielles subventions, qu'il décide d'allouer ou non aux actions entreprises par les joueurs-agriculteurs. Il décide également de l'évolution de la réglementation en lien avec la qualité de l'eau et l'usage herbicide.

En ce qui concerne l'équipe d'animation, deux d'entre eux prennent les rôles de conseillers agricoles, car ils sont experts dans le fonctionnement du modèle agronomique et peuvent conseiller les joueurs-agriculteurs sur leurs décisions agronomiques. Le modélisateur reste dans son rôle d'expert en transfert des herbicides dans l'environnement. Il s'occupe de faire tourner le modèle et de répondre aux interrogations des joueurs sur les mécanismes de transfert.

1.1.2.2. Les dynamiques écologiques

Issues du diagnostic du système sociotechnique

Au cours du processus ARDI, nous avons identifié deux dynamiques écologiques que nous avons choisi de représenter par des modèles informatiques, à savoir (i) la croissance du peuplement végétal (culture et herbe) sur une parcelle, en fonction de la compétition pour la lumière et des pratiques de gestion de l'enherbement, ainsi que (ii) le transfert des herbicides vers la rivière. La représentation des dynamiques écologiques doit permettre à l'agriculteur de prendre ses décisions sur les techniques à mettre en place sur ses parcelles, aux échelles emboîtées de la parcelle au territoire qui sont comprises de façon intégrée dans le C0. Pour cela, les dynamiques doivent répondre au cahier des charges suivant (Figure 46).

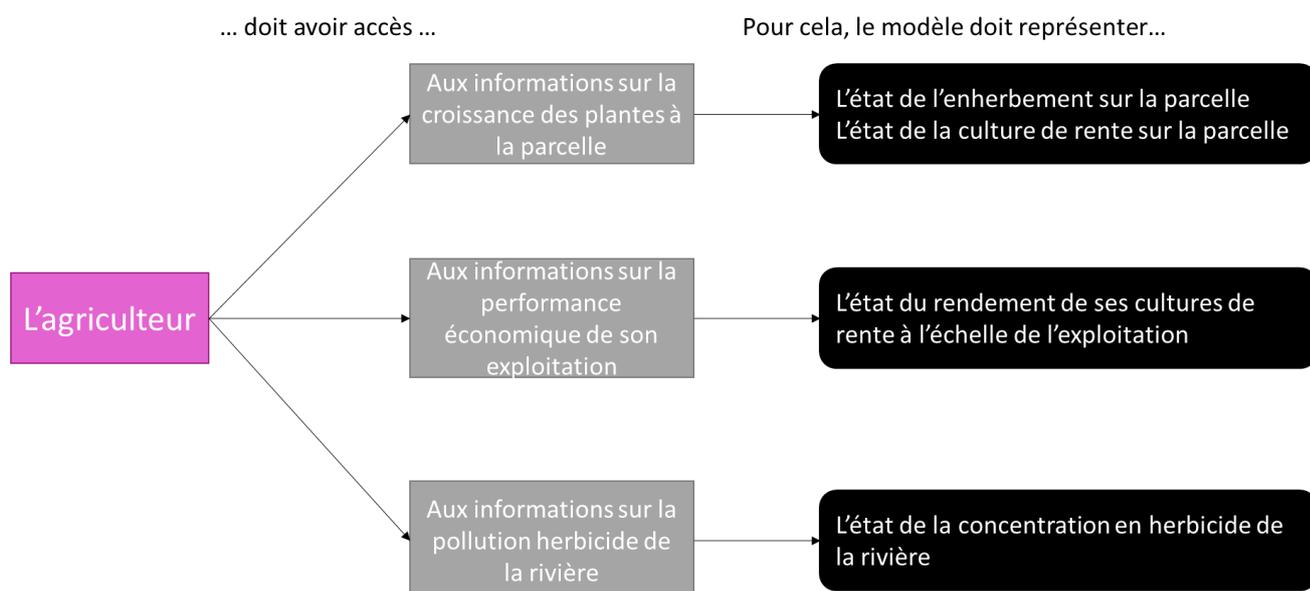


Figure 46: cahier des charges de la modélisation des interactions écologiques dans le jeu sérieux. La figure se lit en suivant une phrase, par exemple l'agriculteur doit avoir accès aux informations sur la croissance des plantes à la parcelle. Pour cela, le modèle doit représenter l'état de l'enherbement sur la parcelle ET l'état de la culture de rente sur la parcelle.

Leur implémentation dans le jeu

La complexité des dynamiques à représenter nous a orientés vers l'utilisation d'un support informatique, réalisé par un membre de notre équipe (Charles Mottes), dont nous présentons ici les grandes lignes (la présentation détaillée du modèle est en Annexe 6 et 7). Le modèle s'articule en deux modules, agronomique et de transfert des herbicides.

Le module agronomique représente, à l'échelle de la parcelle le stade de croissance de l'enherbement et le stade de croissance de la culture de rente. Ces stades de croissance peuvent être affectés par la compétition de l'ensemble du peuplement végétal de la parcelle pour la lumière, et par les techniques de gestion de l'enherbement uniquement pour les adventices. La compétition pour la lumière entre les adventices et la culture de rente impactera plus ou moins (selon le stade de croissance) le rendement de la culture de rente.

Le rendement est moyenné sur l'année, et constitue l'indice de performance de l'exploitation calculé par le modèle. Nous donnons ci-après un exemple d'une parcelle telle qu'elle est représentée par le modèle, et visible par les joueurs-agriculteurs (Figure 47). Dans un souci de praticabilité du jeu, nous avons décidé d'afficher deux états de chaque parcelle à chaque tour : l'état de la parcelle à l'instant du tour (actuel), et l'état de la parcelle au trimestre suivant si aucune action de gestion de l'enherbement n'est effectuée (future).

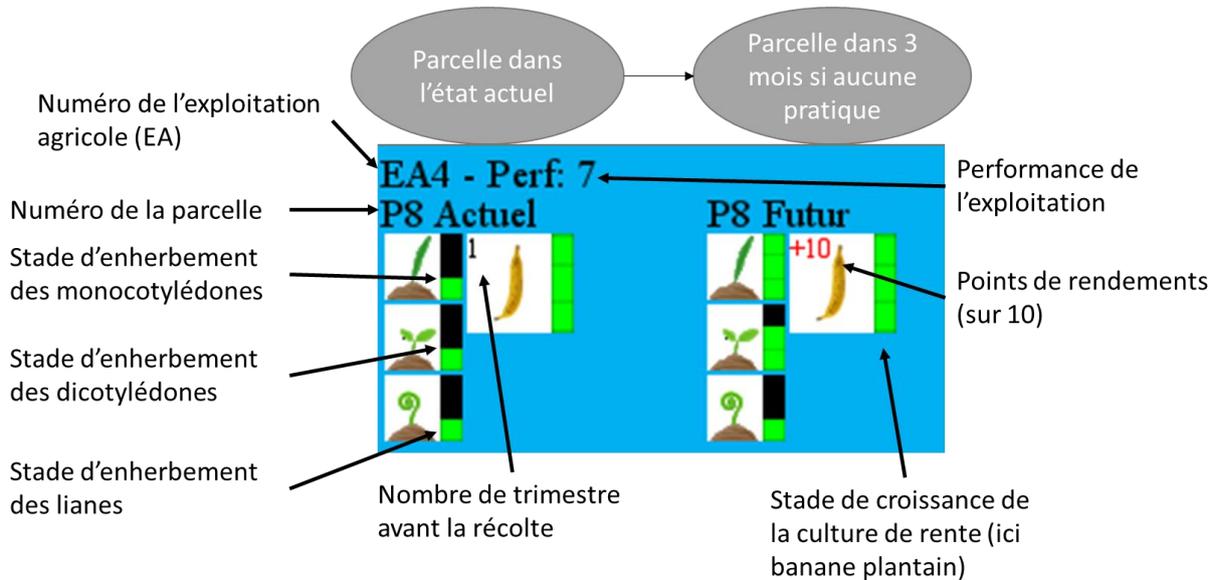


Figure 47: exemple de l'affichage d'une parcelle sur le module agronomique

Dans l'exemple de la Figure 47, on voit que si aucune action de gestion de l'enherbement n'est entreprise dans les trois mois qui viennent, la parcelle sera fortement envahie de monocotylédones et dans une moindre mesure de dicotylédones, mais cette compétition n'aura pas d'impact sur le rendement (ici à son maximum de 10), car la compétition arrive au dernier stade de la culture de rente.

L'impact des pratiques de gestion sur l'enherbement a été effectué d'une part à l'aide de chercheurs spécialistes en innovation de gestion de l'enherbement, et d'autre part calibré selon les itinéraires techniques classiques effectués par les agriculteurs du bassin (Brykalski, 2015) et présentés en chapitre 2. Les techniques agricoles de gestion de l'enherbement présentes dans le modèle sont les suivantes : herbicide (spécifique ou total), fauche (mécanisée ou débroussailluse), sarclage manuel spécifique, binage, plantes de couverture, travail du sol, moutons.

Le module de transfert des herbicides utilisé est une adaptation simplifiée du modèle développé par Charles Mottes dans sa thèse (Mottes, 2013; Mottes et al., 2015) et adapté aux conditions du bassin du Galion (Bizien, 2018). Ce modèle permet de mesurer la concentration d'herbicide dans la rivière, mais également de représenter l'évolution future de cette pollution (Figure 48). La vitesse de transfert et la quantité d'un herbicide et de son métabolite vers la rivière dépendra de 4 paramètres : la distance à la rivière, le type de sol, la pluviométrie et la saison d'application (sèche ou humide).

C'est pourquoi les exploitations agricoles présentent un risque de transfert différent selon leur taille et leur position sur le bassin versant. Dans le modèle, les quantités transférées d'herbicide et de son métabolite dépendront donc de la position et de la saison d'application ainsi que du nombre d'application réalisées (1 application correspondant à 1 dose homologuée).

Dans le modèle, nous avons utilisé l'exemple du glyphosate, qui se fixe dans le sol mais se dégrade rapidement. C'est pourquoi la pollution des eaux est surtout le fait du métabolite plutôt que de la molécule mère. C'est ce qu'on remarque sur la Figure 48, où on a figuré l'effet d'une application sur chaque parcelle des 8 exploitations formant le bassin versant simplifiée du modèle en saison sèche. La limite de 0,1µg/L (en rouge) correspond au seuil de potabilisation de l'eau d'après la directive cadre sur l'eau (DCE). On remarque sur la Figure 48 (a) que la pollution herbicide durera à peu près 25 semaines à partir de l'application, mais que la pollution par le métabolite restera non négligeable plus de 150 semaines après l'application, soit environ 3 ans. C'est à partir de cette information que les participants ont dû effectuer des choix collectifs et individuels, au regard de leurs objectifs individuels de gestion de l'enherbement sur leur exploitation. Sur la Figure 48 (b), on remarque également que la contribution n'est pas égale entre les 8 exploitations, dû à leur différent degré de risque de transfert, et que par exemple les exploitations orange et verte contribuent beaucoup plus à la pollution que les exploitations rose ou bleue. Nous avons choisi de ne pas dévoiler cette information aux participants pendant le jeu, pour respecter un certain réalisme sur la difficulté de déterminer la responsabilité d'une pollution. Mais des éléments d'information sur le fonctionnement du modèle sont donnés aux participants, afin qu'ils aient à la fois les informations principales sur les phénomènes de transferts, et qu'ils prennent conscience de l'hétérogénéité du phénomène à l'échelle du bassin versant (Annexe 7).

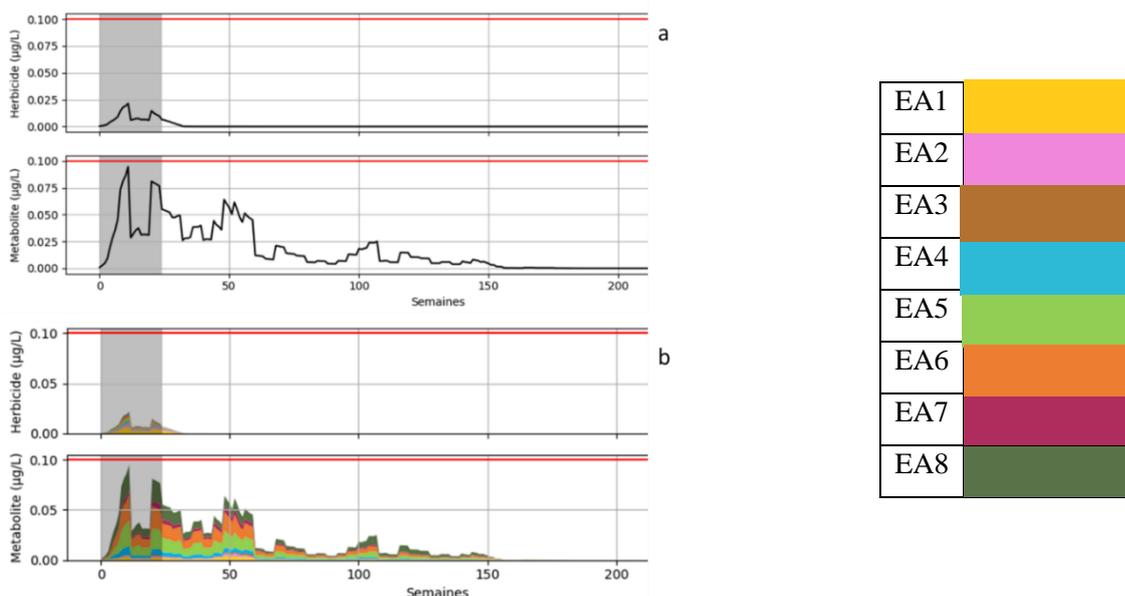


Figure 48 (a et b): résultat de la concentration d'herbicides dans la rivière émis par le module transfert des herbicides. Sur la figure, les différentes couleurs correspondent aux contributions de chacune des 8 exploitations du jeu. Dans l'ordre, l'EA1 (jaune) se situe en bas de la courbe et l'EA8 (vert foncé) en haut de la courbe.

1.2. Principaux éléments de la session du jeu sérieux

La gestion de l'enherbement par le joueur-agriculteur

Les joueurs-agriculteurs doivent allouer deux types de ressources à leurs actions de gestion de l'enherbement : la force de travail et l'argent. Chaque action de gestion a un coût propre en force de travail et en argent, établi par case. Pour simplifier la prise de décisions des joueurs-agriculteurs, nous avons effectué d'avance les calculs pour chaque action et chaque parcelle, et avons distribué une fiche par exploitation qui résume les coûts par parcelle et par action de gestion de l'enherbement (en Annexe 8, exemple de la fiche de coût de l'exploitation 1). Chaque action de gestion de l'enherbement va avoir un impact différent sur le peuplement adventices (Annexe 9). Les ressources en argent et en exploitation diffèrent selon les exploitations agricoles, pour s'accorder au mieux à la réalité des exploitations du bassin versant.

Les innovations

Les innovations, telles que présentées dans le jeu, sont illustrées par un exemple en Annexe 10 (bassin versant vitrine). Le Tableau 13 synthétise les caractéristiques des innovations telles qu'elles ont été incluses dans le jeu :

Tableau 13: caractéristiques des innovations telles qu'elles ont été implémentées dans le jeu

Innovation	Donne accès à	Conditions pour la mise en œuvre	Impact sur l'usage d'herbicide
Association avec éleveur itinérant	1 troupeau sur toute ou partie d'une parcelle (1 case)	Le troupeau change de case chaque trimestre Le troupeau ne peut pas aller sur les terres chlordéconées L'accès au troupeau est dépendant du stade de la culture de rente	Direct avec la gestion de l'enherbement par les animaux
Association avec un prestataire en débroussaillage	1 fauche gratuite par trimestre	Coût en argent élevé (doit être collectif) Doit concerner un nombre minimum de parcelles sur le bassin versant	Direct avec la substitution de l'herbicide par une fauche
Koudmen généralisé	Force de travail	Le koudmen change d'exploitation tous les trimestres	Indirect, selon règles spécifiques sur l'utilisation d'herbicide
Circuit écotouristique	Augmente la performance de l'exploitation	Coût en force de travail Doit concerner au moins 3 exploitations de spécialisations agricoles différentes	Indirect, selon règles spécifiques sur l'utilisation d'herbicide + augmentation des ressources financières
Bassin versant vitrine de bonne pratique	Augmentation de la performance de l'exploitation	Doit respecter une charte d'application de 1 herbicide par an et par parcelle	Direct avec règles spécifiques sur l'usage herbicide + indirecte avec augmentation des ressources financières
Diversification en verger avec contrat avec une usine de production locale	Augmentation de la performance de l'exploitation	Maximum 4 parcelles peuvent se convertir en verger sur le bassin	Indirect, selon règles spécifiques sur l'utilisation d'herbicide + augmentation des ressources financières
Mise à disposition de terres	Augmentation de la performance de l'exploitation qui vient cultiver entre les rangs	Coût en force de travail et argent pour l'exploitation qui vient cultiver entre les rangs Installation de la nouvelle culture selon les stades de la culture de rente principale Interdiction en banane à cause des traitements contre la cercosporiose Interdiction sur des terres chlordéconées	Direct par association de culture réduisant l'accès des adventices aux ressources

Parmi les « conditions pour la mise en œuvre » des innovations (Tableau 13), nous avons repris les principales contraintes agronomiques propres à notre bassin versant et à la Martinique, que nous avons volontairement ignorées lors de la phase d’exploration K-C pour ne pas enrayer le processus créatif des participants. Celles-ci concernent (i) la pollution à la chlordécone qui contraint fortement certaines cultures, notamment tubercules, (ii) l’effet des animaux sur la culture de rente qui, pouvant abîmer la culture de rente, contraint le stade de culture auquel l’association avec l’élevage est la moins risquée, (iii) les traitements obligatoires contre la cercosporiose en banane qui interdit l’association avec des cultures de rentes.

L’augmentation de la performance des exploitations peut être réalisée artificiellement grâce aux innovations (représentant une augmentation du prix de vente des productions si on appartient à un label par exemple). Les autres « conditions pour la mise en œuvre », ainsi que les « donne accès à » (Tableau 13) reprennent les principales caractéristiques des innovations de façon à (i) correspondre aux innovations telles qu’elles ont été imaginées par les acteurs, et (ii) pouvoir les intégrer au jeu sérieux.

Plateau de jeu et positionnement des joueurs

Dans la réalisation d’un jeu, la relation entre l’environnement et le jeu peut être caractérisée selon trois niveaux de proximité : (i) aucun, un monde virtuel, (ii) intermédiaire, lorsque la référence à un territoire donné est implicite, (iii) fort, lorsque la référence à un territoire donné est explicite (Le Page, 2017). Notre plateau de jeu se situe dans le cas intermédiaire, avec comme référence implicite la conservation des proportions surfaciques des différentes cultures et les positions relatives des différents types d’exploitations sur le bassin versant. Les joueurs-agriculteurs sont positionnés autour du bassin versant, avec une vision sur les résultats des dynamiques écologiques (en permanence pour le module agronomique, à la discrétion du gestionnaire de l’eau pour le module transfert des herbicides). La Figure 49 montre des photos de la session de jeu et la Figure 50 présente la disposition du plateau de jeu et des joueurs. La situation culturelle de départ des exploitations agricoles du jeu est donnée en Annexe 13.



Figure 49: photos de l'atelier jeu sérieux mené sur le bassin versant du Galion. A gauche se situe la projection du modèle informatique (ici module agronomique) et le choix d'innovations des participants. A droite se situe les participants, réunis autour du plateau de jeu représentant le bassin versant

Plateau de jeu
« Exploitation Agricole »

Plateau de jeu
« Bassin Versant »

Modèle
agronomique

Modèle de
diffusion des
pesticides

Possession
du
gestionnaire

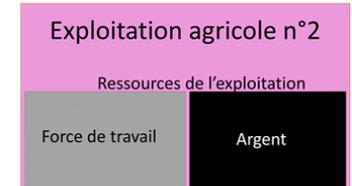
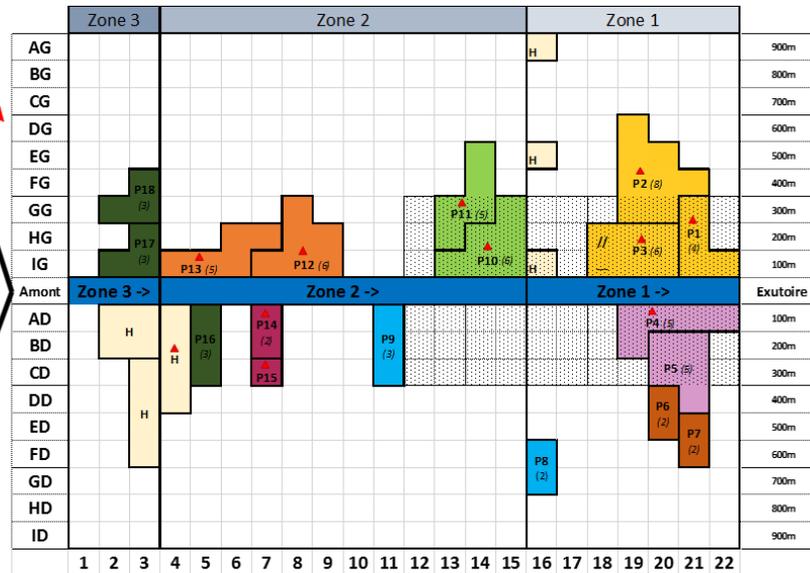
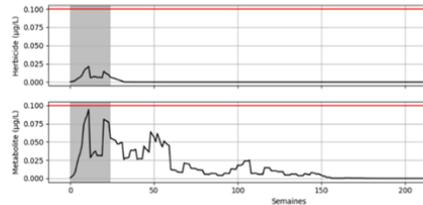


Figure 50: les 8 joueurs-agriculteurs sont positionnés autour du plateau de jeu « Bassin Versant », et possède chacun un plateau de jeu « Exploitation Agricole » avec leurs ressources, qu'ils allouent dans la gestion de l'enherbement. Ils voient tous le modèle agronomique, les résultats du modèle de transfert quand le gestionnaire souhaite les partager, et ont accès aux discussions engagées par le gestionnaire sur les innovations organisationnelles.

 Cette feuille peut être détachée du mémoire en feuille volante, pour aider la lecture des résultats.

Tableau 14: présentation des caractéristiques des exploitations agricoles dans le jeu

Numéro d'exploitation	Couleur d'exploitation	Spécialisation agricole	Surface (ha)	Ressources		Joueur
				Force de travail	Argent	
EA1		Banane export	180	11	27	Technicien de la Chambre d'agriculture
EA2		Canne	100	4	37	Petit agriculteur de banane plantain
EA3		Canne	40	7	8	Petit agriculteur de canne
EA4		Banane plantain	40	8	13	Grand agriculteur de banane export
EA5		Banane export	110	6	14	Technicien de la Chambre d'Agriculture
EA6		Banane export	110	5	14	Grand agriculteur de banane export
EA7		Fleurs	30	4	6	Représentant Canne Union
EA8		Maraîchage, tubercules, verger	90	19	10	Technicien d'un groupement de producteurs en vergers

Les surfaces sont représentatives (i) de la part de chaque type d'exploitation sur le bassin versant, ainsi que (ii) des tailles relatives des types d'exploitation situées du bassin versant.

Les ressources en main d'œuvre et argent a été calculé en fonction (i) du coût relatif des pratiques de gestion de l'enherbement à dire d'expert de la Chambre d'Agriculture de Martinique, (ii) des itinéraires techniques classiquement effectués dans chaque type d'exploitation selon un stage réalisé sur le bassin (Brykalski, 2015).

Le rôle du gestionnaire est tenu par un technicien de l'ODE.

Pour mentionner les joueurs, nous utiliserons l'abréviation EA (Exploitation agricole) suivi du numéro de l'EA (*par exemple, l'EA3 a dit...*).

Déroulé de la session de jeu

Le jeu sérieux a été joué au cours d'une session unique de 4h, avec 9 acteurs qui ont constitué les 9 joueurs prévus dans le jeu (Annexe 3). La session de jeu s'est déroulée en trois grande phases comme présentées en Figure 51 : (i) une phase dite « situation initiale » où les agriculteurs-joueurs gèrent leur enherbement sans dynamique collective et sans intervention du gestionnaire du territoire pendant trois tours (trois trimestres), (i) une première phase de jeu avec la mise en place d'innovations pendant 4 tours (un an), (ii) une deuxième phase de jeu avec la mise en place d'innovations, en revenant à la situation initiale, pendant 2 tours (2 trimestres).

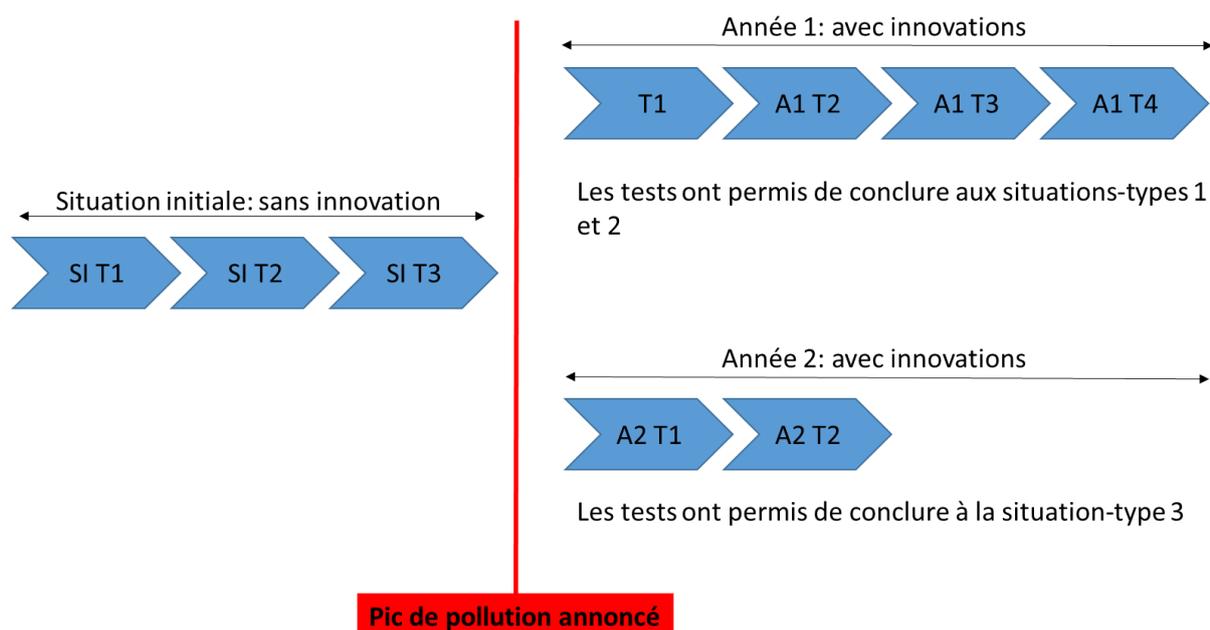


Figure 51: déroulé chronologique de la session de jeu. Les trimestres sont notés de la façon suivante pour la présentation des résultats : SI pour situation initiale, TX pour le numéro du trimestre, A1 pour la première année (ou première session de jeu avec innovations), A2 pour la deuxième année (ou deuxième session de jeu avec innovations). Ainsi A2 T1 signifie le premier trimestre de l'année 2.

La Situation Initiale avait pour objectifs (i) la prise en main du jeu par les joueurs, (ii) la mise en place d'une situation de pollution liées aux usages individuels. La pollution de la rivière y était nulle. Les deux années de jeu qui ont suivi avaient pour objectif d'étudier la mise en place des innovations issues des ateliers C. La totalité de la session de jeu a été filmée et les actions de jeu des participants enregistrées.

1.3. La méthode d'analyse des résultats du jeu sérieux

Pour analyser les résultats du jeu sérieux, nous procédons tout d'abord à l'énoncé chronologique des événements qui se sont déroulés au cours du jeu (processus de négociation, d'établissement de règles), qui ont abouti à des états finaux différents de l'état initial, au regard tout d'abord de l'évolution des règles organisant les innovations, puis de l'impact de ces stratégies collectives sur la pollution herbicide et l'impact de ces stratégies collectives sur la gestion de l'enherbement à l'échelle du bassin (pratiques agricoles de gestion et état d'enherbement des parcelles).

Ensuite, nous étudions les interactions entre ces changements à l'échelle collective et les changements de pratiques individuels au sein des exploitations-jeu. Pour cela, nous avons dû déduire, à partir d'une étude préliminaire des résultats, des variables intermédiaires pour rendre compte de ces interactions, qui représentent les stratégies individuelles des joueurs-agriculteurs. D'après les données sur les pratiques des agriculteurs (Brykalski, 2015) et présentées en chapitre 2, les agriculteurs n'ont pas une tolérance homogène à l'enherbement car ils n'observent pas tous les mêmes critères de déclenchement d'un chantier de désherbage, et ils mettent en place des stratégies de gestion qui se traduisent par l'utilisation de pratiques préférées. Il est difficile d'observer, sur le temps d'un jeu, des stratégies individuelles aussi abouties que dans le travail de (Brykalski, 2015), mais il est possible de déterminer deux critères simples pour en déduire grossièrement des stratégies individuelles différentes entre les joueurs-agriculteurs. Pour cela, nous considérons les deux critères suivants : (i) la tolérance à l'enherbement d'après l'enherbement moyen des parcelles du joueurs-agriculteurs, (ii) les pratiques préférées d'après les pratiques les plus utilisées et, s'il y a lieu, d'après les dires du joueur-agriculteur. Ces données sont disponibles en Annexe 11 et 12.

Enfin, nous déduisons de ces analyses trois situations-type que nous avons retrouvé au cours du jeu, et que nous discuterons au regard des objectifs collectifs (pollution de l'eau, et nouveaux critères issus de KC présentés en partie 1.1 de ce chapitre), et des enjeux individuels déterminés précédemment.

2. Résultats de la session du jeu sérieux

Pour la suite de la partie, nous appellerons « une situation individuelle » une situation où l'agriculteur a dû faire le choix de la gestion de l'enherbement à l'échelle de son **exploitation agricole (EA)**, soit un trimestre joué par EA. Ainsi, une année (4 trimestres) avec 8 exploitations correspond à $4 \times 8 = 32$ situations individuelles.

2.1. Déroulé des différentes phases de jeu, au regard du changement à l'échelle collective

2.1.1. La situation initiale : sans innovation

La situation initiale a consisté en trois trimestres (Figure 51) où les joueurs-agriculteurs ont appris à gérer leur enherbement selon les règles de notre jeu.

Le tableau suivant (Tableau 15) résume les actions des joueurs selon leur usage d'herbicides, l'utilisation de leurs ressources d'exploitation, leur rendement à la fin des trois trimestres et les états d'enherbement de leurs parcelles.

Tableau 15: résumé des usages herbicides au regard des utilisations des ressources de l'exploitation et des stades d'enherbement atteints des joueurs des EA lors de la phase de Situation Initiale (SI)

EA	Trimestre avec utilisation d'herbicides (a)			Total des herbicides utilisés sur les trois trimestres (b)	Trimestre où l'exploitation a atteint ou dépassé ses ressources (c)			Moyenne des rendements sur les trois trimestres (d)	Stade d'enherbement concurrentiel (2 ou 3) atteint sur l'exploitation (e)		
	T1	T2	T3		T1	T2	T3		T1	T2	T3
EA1	X	X	X	7			X	19/20		2	2
EA2				0				19/20	3		
EA3			X	2	X		X	20/20			
EA4		X	X	6				17/20	3	2	2
EA5		X		2		X	X	19/20	3		3
EA6				0				18/20	3	3	2
EA7		X	X	3	X	X		10/20	3		
EA8	X			1				16/20	2	2	2

EA : Exploitation agricole

(a) : signale les trimestres où l'EA a utilisé de l'herbicide sur au moins une de ses parcelles

(b) : 1 point = une application sur une parcelle, ici les points sont additionnés sur la totalité de l'exploitation

(c) : signale les trimestres où l'exploitation agricole a utilisé la totalité de ses ressources en argent et force de travail, voire les a dépassées (les dépassements ne sont pas autorisés mais il est difficile de vérifier les actions de chaque joueur)

(d) : indique la note sur 20 (max possible) du rendement atteint par l'exploitation au cours de la phase de jeu

(e) : signale les stades d'enherbement concurrentiel atteint par l'exploitation agricole sur au moins une parcelle

Tout d'abord, la situation initiale épouse assez bien la réalité du bassin versant. On observe 21 applications d'herbicide sur le BV sur 24 situations individuelles, soit 0.875 applications par situation individuelle en moyenne. D'après le mémoire de Maria Brykalski (Brykalski, 2015), cela est proche des systèmes de gestion de l'enherbement actuels sur le bassin versant, notamment des deux grandes cultures canne et banane.

Ensuite, cette phase a comme principal objectif l'apprentissage du jeu par les acteurs. Les états d'enherbement montrent que dans 62% des états des parcelles (colonne état enherbement, Tableau 15), l'herbe a été aux stades 2 et 3. L'évolution des stades d'enherbement montre que les joueurs-agriculteurs ont tout d'abord rencontré des difficultés à maîtriser les règles du jeu avec 5 exploitations qui ont un stade 3 d'enherbement. Puis on observe un apprentissage jusqu'au troisième trimestre où une seule exploitation atteint un stade 3 d'enherbement.

Enfin, on observe un biais de non-utilisation d'herbicide au tout début du jeu (Tableau 15), avec seulement deux exploitations qui utilisent de l'herbicide, remplacé par de la fauche dans les autres exploitations. Mais cela amène à beaucoup de problèmes d'enherbement à la fin du trimestre 1 avec, comme on l'a vu, 5 exploitations qui atteignent le stade 3 d'enherbement sur au moins une de leur parcelle.

Ce biais est sans doute lié au fait que les joueurs-agriculteurs savent que l'objectif du jeu est de diminuer la pression herbicide sur le bassin. Mais l'état de leur enherbement à la fin du trimestre 1 les amène à reconsidérer l'efficacité de la fauche, et on observe une forte utilisation d'herbicides dans les deux trimestres qui suivent, avec 6 exploitations sur 8 qui en appliquent.

A la fin de la situation initiale, on observe que la rivière va montrer un pic de pollution de métabolite dans les semaines qui viennent, même si plus aucun des joueurs-agriculteurs n'utilisent d'herbicide. Le gestionnaire intervient alors et entame une discussion collective avec les joueurs, en leur montrant les résultats du modèle de transfert (Figure 52).

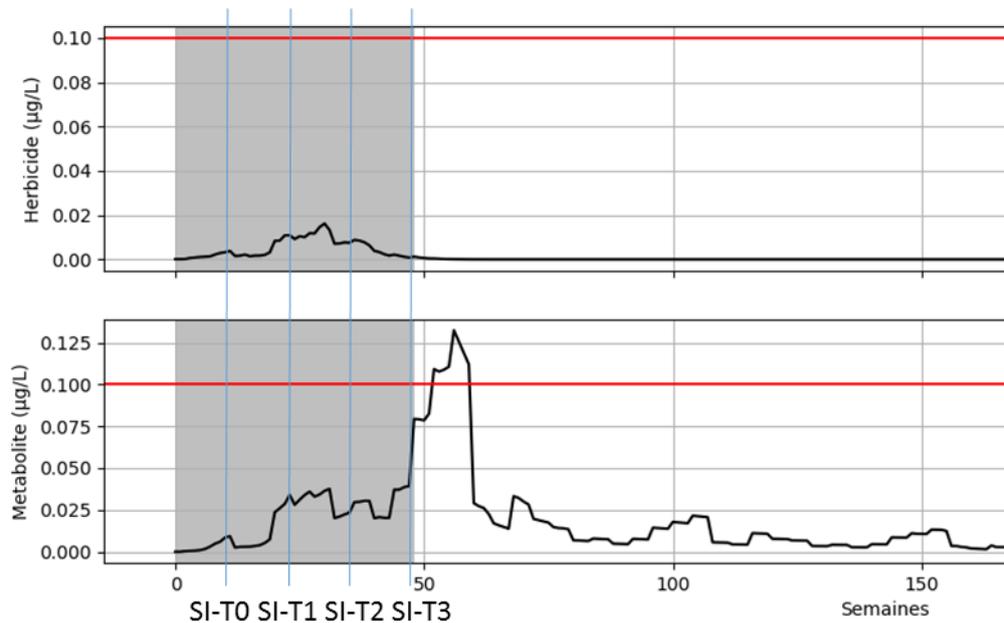


Figure 52: résultat du modèle de transfert montré aux joueurs à la fin de la Situation Initiale. Le graphique du haut montre la pollution herbicide. Le graphique du bas montre la pollution par son métabolite. Les zones grisées montrent les semaines déjà jouées.

2.1.2. L'année A1

Au début de l'année A1, les innovations ont été présentées aux joueurs par la doctorante. Ils ont ensuite discuté entre eux afin de déterminer quelles innovations ils souhaiteraient mettre en place.

Le tableau suivant (Tableau 16) résume les situations individuelles des exploitations au cours de l'année 1 en fonction de leur utilisation d'herbicide, de leur rendement moyen, de l'état de leur enherbement, et des innovations auxquelles ils ont adhéré.

Tableau 16: résumé des usages herbicides au regard des utilisations des ressources de l'exploitation et des stades d'enherbement atteints des joueurs des EA lors de la phase de l'année 1 (A1)

EA	Trimestre avec utilisation d'herbicides (a)				Total des herbicides utilisés sur les trois trimestres (b)	Trimestre où l'exploitation a atteint ou dépassé ses ressources (c)				Moyenne des rendements sur les trois trimestres (d)	Stade d'enherbement concurrentiel (2 ou 3) atteint sur l'exploitation (e)			
	T1	T2	T3	T4		T1	T2	T3	T4		T1	T2	T3	T4
EA1		X		X	2	X				18.5/20	2			2
EA2	X				1	X				18/20				
EA3	X		X	X	10	X	X		X	18/20				
EA4					0		X			16/20	3	2		
EA5		X			1	X		X		17/20	3	2		
EA6					0	X		X	X	16/20	3	2	2	
EA7	X				2	X	X	X	X	20/20	3			
EA8					0					17/20		2	2	2

EA : Exploitation agricole

(a) : signale les trimestres où l'EA a utilisé de l'herbicide sur au moins une de ses parcelles

(b) : 1 point = une application sur une parcelle, ici les points sont additionnés sur la totalité de l'exploitation

(c) : signale **en noir** les trimestres où l'exploitation agricole a utilisé la totalité de ses ressources en argent et force de travail, voire les a dépassées (les dépassements ne sont pas autorisés mais il est difficile de vérifier les actions de chaque joueur), **en rouge** les trimestres où l'exploitation a dû utiliser les ressources supplémentaires des innovations organisationnelles pour réaliser ses pratiques sur l'exploitation

(d) : indique la note sur 20 (max possible) du rendement atteint par l'exploitation au cours de la phase de jeu

(e) : signale les stades d'enherbement concurrentiel atteint par l'exploitation agricole sur au moins une parcelle

Les innovations discutées à l'échelle collective

Au cours des discussions, on a pu observer que certaines innovations plaisent plus que d'autres, en fonction des types d'acteurs. L'innovation bassin versant vitrine a été choisie de préférence par les acteurs étant réellement agriculteurs, qui peuvent y valoriser leurs pratiques. Le circuit écotouristique a été choisi par les acteurs étant en réalité techniciens et le représentant des planteurs de canne qui peuvent valoriser le territoire et diversifier les rentes de leur exploitation-jeu.

Certaines innovations ont vu des règles modifiées ou se rajouter au cours des discussions. C'est le cas des innovations « prestataire de service » et « association avec un éleveur ».

La mise en place de l'innovation « prestataire de service » a engendré des négociations car son prix étant élevé, il fallait un maximum de participants. C'est le joueur-gestionnaire qui a dirigé la discussion. Tout d'abord, les exploitants ont demandé des subventions de la part du joueur-gestionnaire, qui a accepté. Ensuite, toutes les exploitations ont accepté de participer sauf l'EA5. Certaines exploitations ont mis plus d'argent que d'autres, et le gestionnaire a décidé de modifier une règle en répartissant le nombre de fauches par exploitation au *pro rata* de leur participation.

Le gestionnaire prend également l'initiative de faire participer gratuitement l'EA3 qui semble avoir des difficultés pour gérer l'enherbement sur son exploitation. Le joueur-gestionnaire indique également une nouvelle règle, imposant que les fauches incluses dans cette innovation, donc en partie financée par l'Etat, devront concerner en priorité les parcelles en bordure de rivière.

L'innovation « association avec un éleveur » a intéressé 4 exploitations sur 8. Cependant, les règles d'attribution du troupeau sont fonction du stade de la culture de rente. Le gestionnaire a donc décidé d'établir un planning d'attribution du troupeau, en fonction des stades de culture des exploitations intéressées. Et seule l'EA4 pourra en bénéficier pendant les deux trimestres où cette innovation a été testée.

Une innovation a failli voir une de ses règles se modifier, celle du « bassin versant vitrine ». Deux agriculteurs (EA2 et EA4) étaient en désaccord sur la règle de réduction d'herbicide, l'EA2 souhaitant que l'on interdise totalement l'herbicide plutôt que d'en autoriser une application par parcelle et par an. Finalement, cette règle n'a pas été modifiée, et paradoxalement, l'EA2 a appliqué son herbicide autorisé au 1^{er} trimestre tandis que l'EA4 n'a pas mis d'herbicide durant l'année.

Au cours de l'année A1, les joueurs-agriculteurs ont continué d'accumuler des innovations sur le territoire. On aboutit à la fin de l'année à des exploitations qui cumulent entre 1 et 3 innovations sur leur exploitation, de façon variée, comme le montre la Figure 53 et ce de manière très diverse entre exploitations : deux exploitations (3 et 8) innoveront beaucoup (3 innovations), les exploitations 1, 2, 6 et 7 retiennent deux innovations, et l'exploitation 5 participe à une seule innovation. Le territoire devient encore plus hétérogène avec la différenciation des exploitations selon les innovations auxquelles elles ont adhéré, sans qu'une seule innovation ne les réunisse toutes.

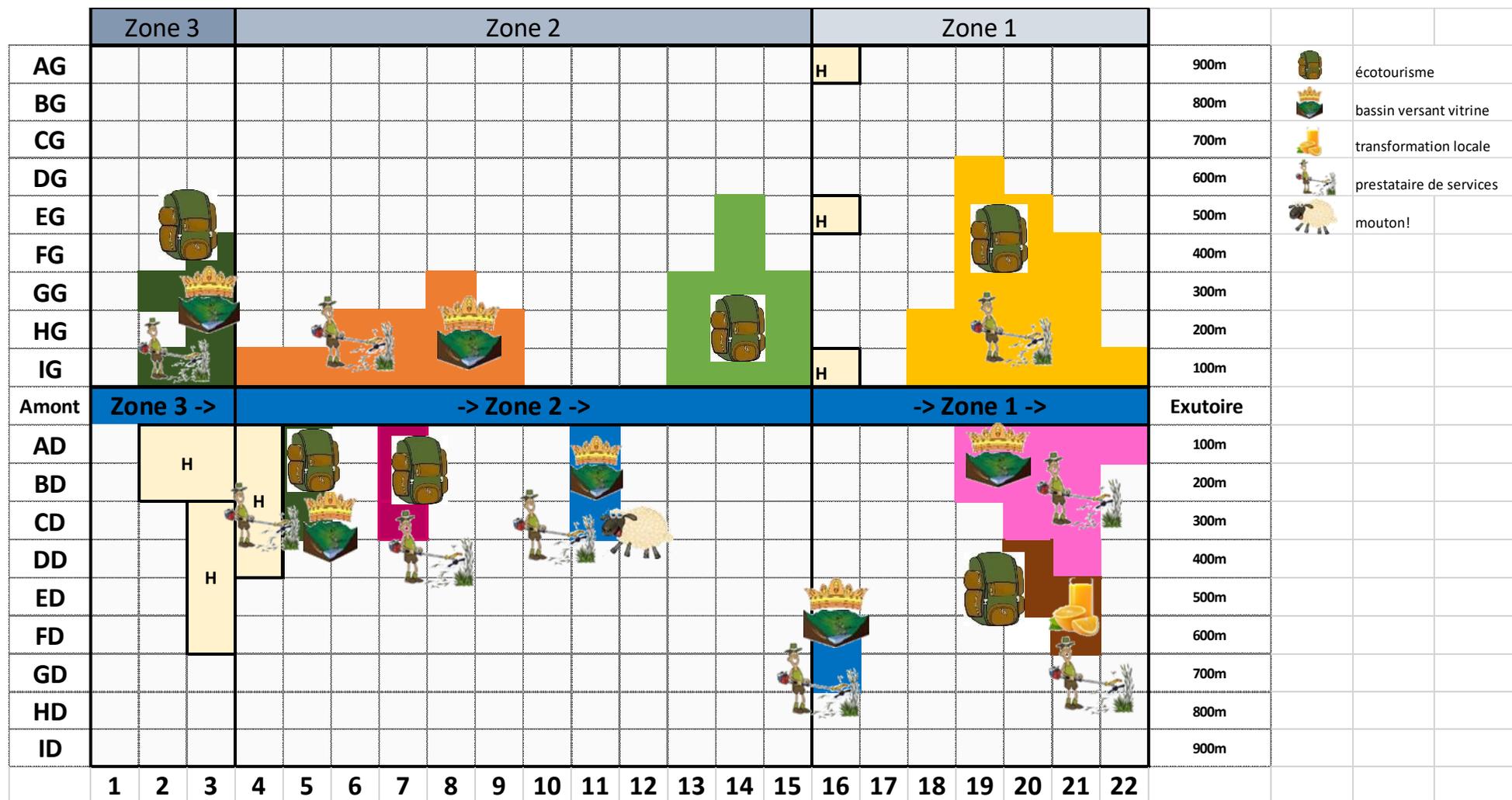


Figure 53: répartition des innovations organisationnelles sur le territoire du jeu-bassin versant, à l'issue de l'année A1. Les parcelles notées d'un H représentent des surfaces en prairies qui n'appartiennent pas aux joueurs-agriculteurs. L'échelle sur la droite montre la distance à la rivière.

L'impact des stratégies collectives sur les herbicides dans la rivière

A chaque trimestre de l'année A1, le joueur-gestionnaire du territoire commente l'état de la pollution herbicide à l'aide des graphiques d'état de la rivière issus du modèle de transfert des pesticides. Le graphique en Figure 54 est le résultat de la pollution herbicide dans la rivière, à l'issue de l'année A1.

De manière collective, on observe une forte baisse de l'utilisation d'herbicide avec 16 utilisations d'herbicide sur 4 trimestres de l'année A1 (Tableau 16), contre 21 applications sur trois trimestres de la situation initiale (Tableau 15). Les innovations ont permis la mise en place d'itinéraires techniques dans 8 situations individuelles grâce à l'augmentation des ressources de l'exploitation, dont 5 situations où l'itinéraire technique souhaité était sans herbicides (Tableau 16). Ceci témoigne de l'impact positif que peuvent avoir les innovations sur la réduction de l'usage herbicide des exploitations.

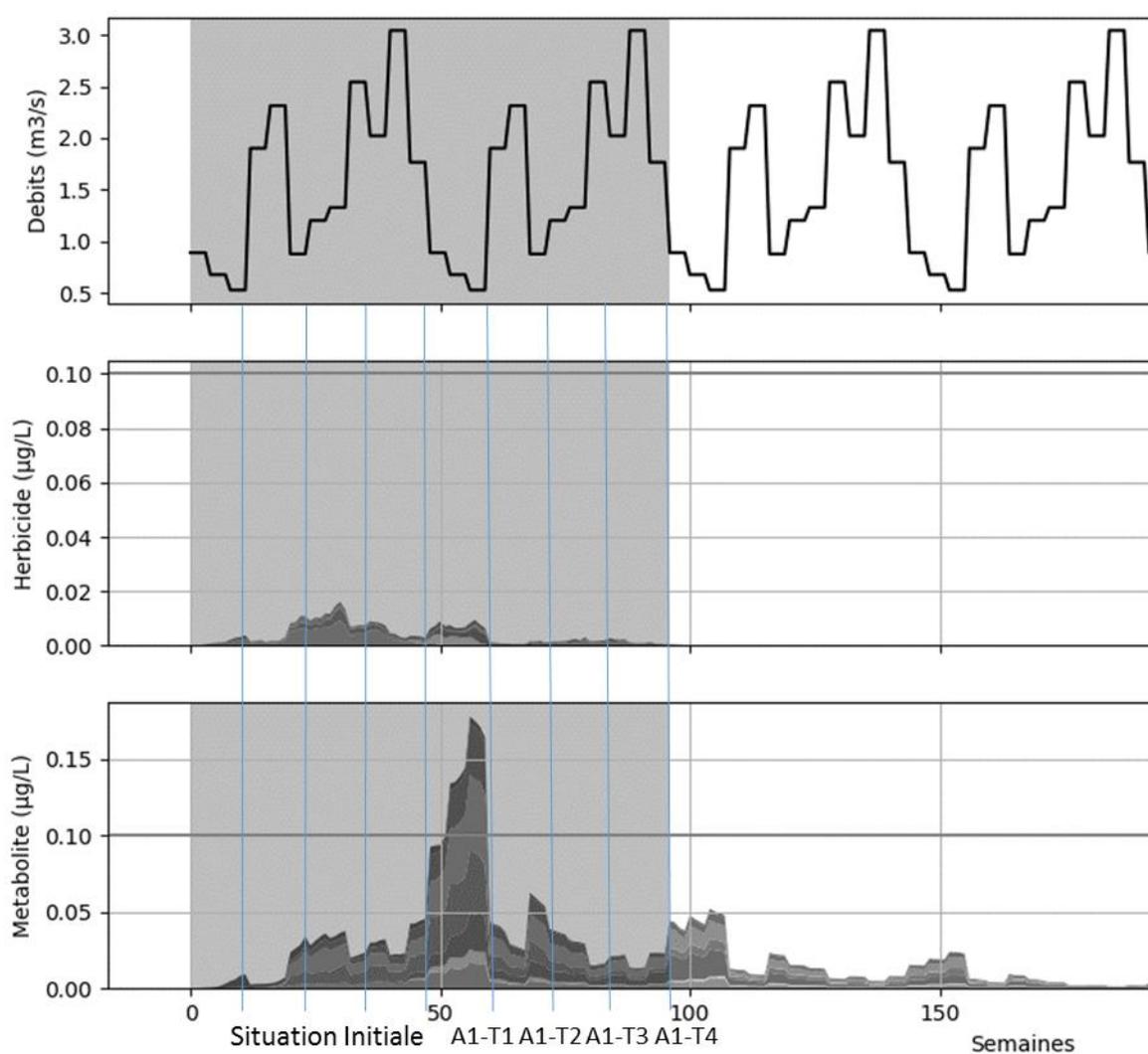


Figure 54: graphique de pollution de l'eau de rivière du jeu à l'issue de l'année A1. Le graphique au-dessus représente les débits de la rivière. Le graphique du milieu représente la pollution herbicide. Le graphique au-dessous représente la pollution par son métabolite.

On voit que le pic de pollution passé, la pollution herbicide du métabolite a chuté drastiquement, avec quelques pics de métabolite vers la 60^e semaine et la 110^e semaine, correspondant à des baisses du débit de la rivière. Aussi, la baisse drastique d'utilisation d'herbicide à l'échelle collective à partir de A1-T1 a permis de maintenir la pollution de la rivière en deçà du seuil critique de potabilité de l'eau.

La gestion de l'enherbement à l'échelle collective

La Figure 55 montre l'évolution des stades d'enherbement de la totalité des parcelles du bassin versant au cours de l'année A1.

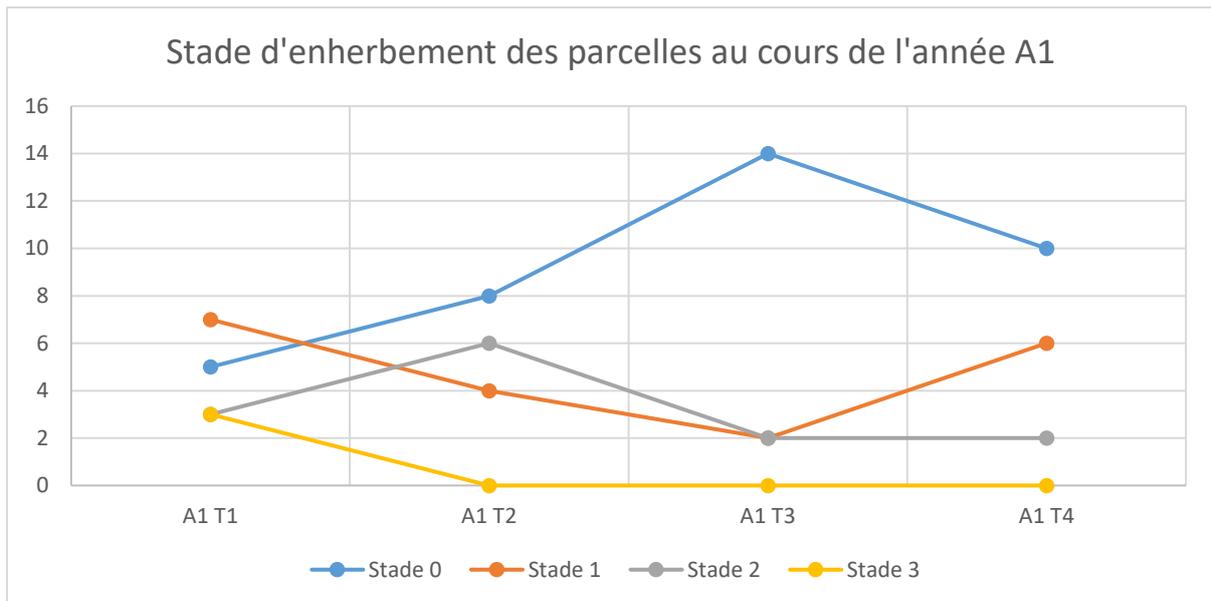


Figure 55: graphique de l'évolution des stades d'enherbement des parcelles du bassin au cours de l'année A1, en fonction du nombre de parcelle en ordonnées (par exemple, en A1 T1 on observe 7 parcelles en stade d'enherbement 1 sur la totalité des exploitations du jeu).

On observe que le nombre de parcelles dont les adventices sont au stade 0 monte rapidement au cours de l'année, tandis que le nombre de parcelles en stade 3 chute et reste à zéro à partir du 2^e trimestre. Les stades 1 et 2 suivent des tendances similaires, et diminuent à mesure que le stade 0 augmente. On observe donc que, globalement, les joueurs-agriculteurs cherchent à diminuer au maximum la présence d'herbe sur leurs parcelles, en visant prioritairement une éradication des adventices.

La Figure 56 montre l'évolution des pratiques de gestion de l'enherbement à l'échelle collective, au cours de l'année A1.

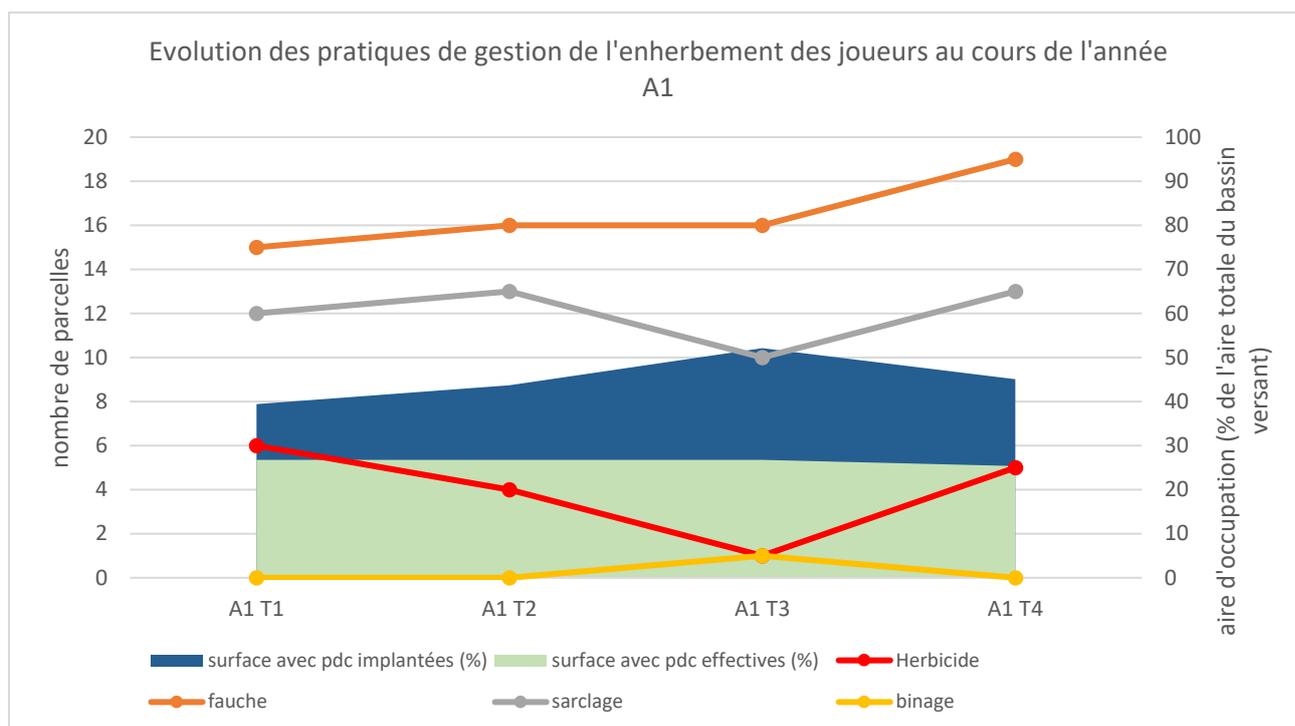


Figure 56: évolution des pratiques de gestion de l'enherbement par les joueurs-agriculteurs au cours de l'année A1 (pdc signifie plantes de couverture, pdc effective signifie que la pdc est au minimum au stade 1 de croissance)

On déduit de cette Figure 56 que l'apport d'herbicide (qui décroît entre T1 et T3) est préférentiellement substitué par de la fauche et/ou du sarclage dans les exploitations du bassin versant. On voit en effet que le nombre de fauches et de sarclages est nettement supérieur aux autres pratiques de gestion. Mais l'application d'herbicide connaît un nouveau pic en T4, en même temps que les courbes de fauches et de sarclages. En T4 commence la saison des pluies. Les joueurs-agriculteurs y rencontrent plus de difficultés à gérer un enherbement dont la croissance est plus rapide, c'est pourquoi ils multiplient les pratiques. Ce sont deux exploitations uniquement qui utilisent alors l'herbicide (EA1 et EA3).

Pour ce qui est des plantes de couverture, la Figure 56 montre qu'il existe une forte différence entre les parcelles implantées en plantes de couverture, c'est-à-dire avec des plantes de couverture au stade 0, et les parcelles avec des plantes de couverture réellement présentes, minimum au stade 1 de croissance. La mise en place de cette technique reste difficile, même dans le jeu. Quelques joueurs réellement agriculteurs ont testé, comme l'EA6 et l'EA4, mais ont rapidement arrêté. La mise en place de ces plantes de couverture reste, dans le jeu, une pratique mise en place par des conseillers agricoles de la chambre d'agriculture (EA1 et EA5), qui persévèrent dans la mise en place de ces cultures, avec plus ou moins de succès.

2.1.3. L'année A2

L'année A2 intervient après l'année A1 au niveau chronologique du jeu, mais part d'une remise à zéro des ressources des exploitations, et d'une pollution herbicide à venir, à l'issue de la situation initiale (Figure 51). Seuls les deux premiers trimestres ont pu être joués dans le temps imparti.

Le Tableau 17 suivant résume les situations individuelles des exploitations au cours de l'année 2 en fonction de leur utilisation d'herbicide, de leur rendement moyen, de l'état de leur enherbement, et des innovations auxquelles ils ont adhéré.

Tableau 17: résumé des actions entrepris par les joueurs-agriculteurs, en fonction de leur utilisation d'herbicide, de l'utilisation de leurs ressources, des états d'enherbement, et des innovations choisies au cours de l'année 2 (A2)

EA	Trimestre avec utilisation d'herbicides				Total des herbicides utilisés sur les trois trimestres	Trimestre où l'exploitation a atteint ou dépassé ses ressources				Moyenne des rendements sur les trois trimestres	Stade d'enherbement concurrentiel (2 ou 3) atteint sur l'exploitation			
	T1	T2	T3	T4		T1	T2	T3	T4		T1	T2	T3	T4
EA1	X				1	X					2	2		
EA2					0									
EA3					0	X	X							
EA4					0						2			
EA5	X				1		X							
EA6					0	X	X				2			
EA7					0									
EA8					0						2	2		

EA : Exploitation agricole

(a) : signale les trimestres où l'EA a utilisé de l'herbicide sur au moins une de ses parcelles

(b) : 1 point = une application sur une parcelle, ici les points sont additionnés sur la totalité de l'exploitation

(c) : signale **en noir** les trimestres où l'exploitation agricole a utilisé la totalité de ses ressources en argent et force de travail, voire les a dépassées (les dépassements ne sont pas autorisés mais il est difficile de vérifier les actions de chaque joueur), **en rouge** les trimestres où l'exploitation a dû utiliser les ressources supplémentaires des innovations organisationnelles pour réaliser ses pratiques sur l'exploitation

(d) : indique la note sur 20 (max possible) du rendement atteint par l'exploitation au cours de la phase de jeu (non pertinent sur deux trimestres)

(e) : signale les stades d'enherbement concurrentiel atteint par l'exploitation agricole sur au moins une parcelle

Les innovations, discutées à l'échelle collective

Au début de cette nouvelle année, c'est-à-dire avant le premier tour de jeu, le joueur-gestionnaire de territoire a pris l'initiative de modifier la législation concernant l'usage d'herbicide, en fonction des caractéristiques pédoclimatiques du bassin versant, prises en compte dans le modèle. Ces caractéristiques sont présentées partiellement aux participants (Annexe 7), et le joueur-gestionnaire n'a pas accès à la contribution relative des exploitations du bassin versant. Cela aboutit à un droit d'usage herbicide très inégalitaire entre les exploitations du bassin versant, avec les règles suivantes :

- Sur les parcelles situées en zone milieu : un herbicide par an et par parcelle
- Sur les parcelles contenant des nitisols : interdiction d'usage herbicide

On observe une forte hétérogénéité des situations des exploitations face à la nouvelle législation d'usage herbicide. Pour EA3 l'usage est interdit sur la totalité de l'exploitation, pour certaines l'interdiction ne touche qu'une parcelle (EA1, 2 et 8), pour d'autres elles n'ont droit qu'à un herbicide par an sur toute l'exploitation (EA5, 6 et 7), quand EA4 ne subit cette restriction que sur une parcelle.

Le joueur-gestionnaire a décidé ensuite de mettre en place une innovation demandée par l'EA3, à savoir le « koudmen », pour compenser cette nouvelle législation drastique. Les exploitants ont donc mutualisé une petite partie de leurs forces de travail, et décident de modifier la règle d'attribution du koudmen, en ajoutant la possibilité de scinder en deux parties la force de travail associée au koudmen, qui pourra ainsi aider deux exploitations par trimestre au lieu d'une seule. Encore une fois, l'EA3 a obtenu le droit d'en bénéficier gratuitement, pour l'aider à ne plus utiliser d'herbicide. Mais l'EA4 a souhaité ajouter une règle, qui est que le koudmen ne doit pas servir à épandre de l'herbicide. Les autres joueurs n'ont pas réagi et ont semblé considérer que cette règle était déjà implicitement incluse dans l'innovation.

Le joueur-gestionnaire de territoire a décidé ensuite de distribuer ses subventions aux joueurs-agriculteurs, en constatant que ces derniers semblaient manquer de ressources pour gérer leur enherbement. De cette façon, chaque exploitation a reçu un argent, même l'EA1 qui s'était opposé au joueur-gestionnaire lors de la mise en place de la nouvelle législation, à condition de ne plus utiliser d'herbicide.

Le joueur-gestionnaire a décidé également de proposer de nouveau l'innovation « bassin versant vitrine », en affirmant qu'avec sa nouvelle législation, beaucoup d'exploitations respecteraient de fait cette charte d'usage.

Enfin, le joueur-gestionnaire a décidé de remettre le pâturage par des moutons comme innovation, en reprenant le planning établi pour l'année A1, et réalisant que, de nouveau, seule l'EA4 pourra en bénéficier.

La figure suivante (Figure 57) montre la répartition des innovations sur le territoire du jeu-bassin versant, à l'issue du 2^e trimestre de l'année A2. Le bassin versant apparaît très hétérogène sur les autorisations d'usages des herbicides, mais plus homogène sur les innovations qui regroupent entre 5 et 8 exploitations du bassin.

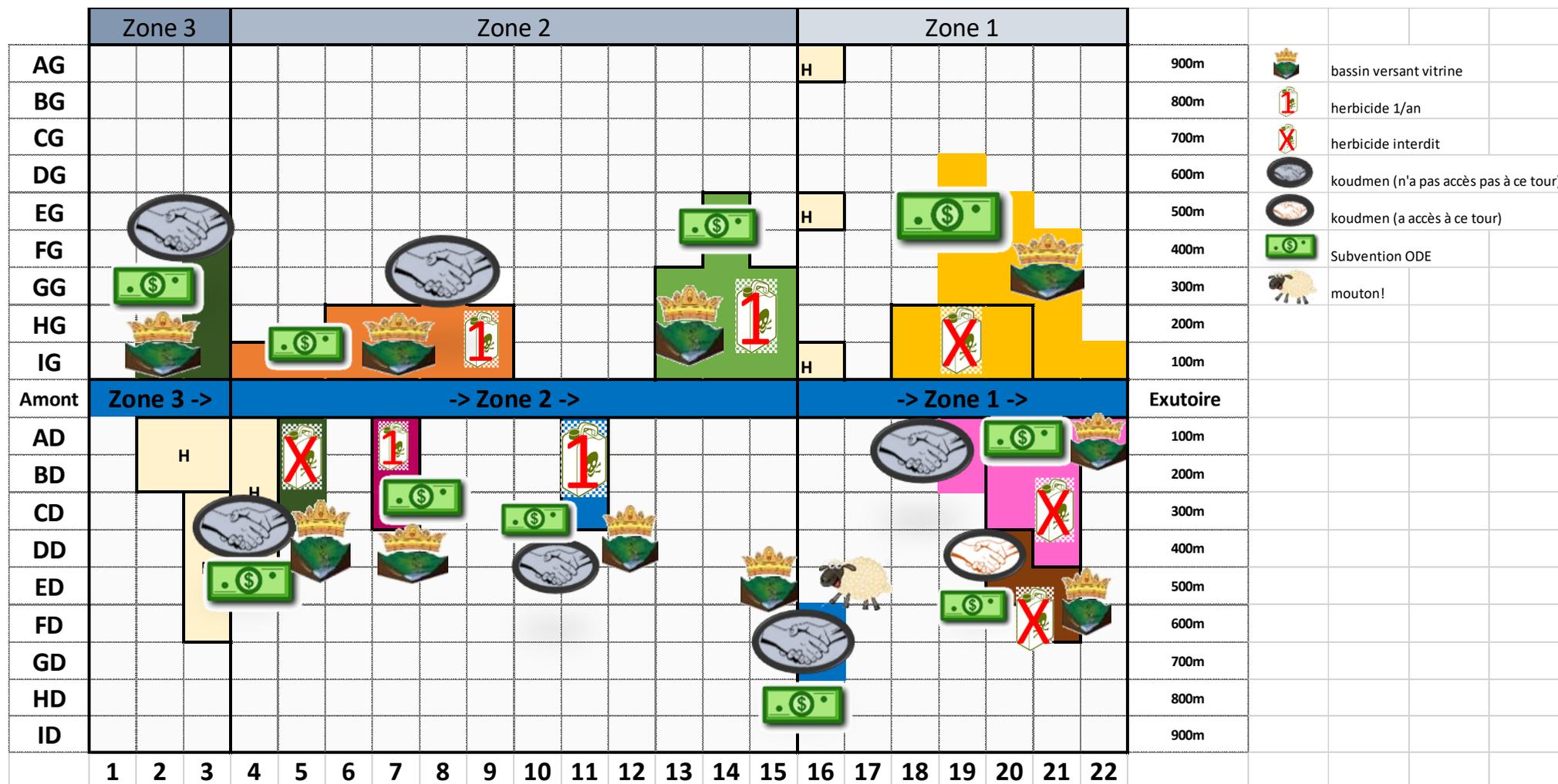


Figure 57: schéma représentant la répartition des innovations dans les exploitations du jeu-bassin versant à l'issue de l'année A2. Les parcelles notées d'un H représentent des surfaces en prairies qui n'appartiennent pas aux joueurs-agriculteurs. L'échelle sur la droite montre la distance à la rivière.

On observe que la charte herbicide a, de fait, été adoptée par la totalité des exploitations, qui bénéficient toutes d'une subvention supplémentaire. Pour certaines exploitations, l'innovation « bassin versant vitrine » s'accorde avec la nouvelle législation (EA5, 6 et 7) qui ont droit à un herbicide par an. Pour d'autres, cette innovation implique d'étendre les interdictions de la nouvelle législation, qui a court sur certaines parcelles seulement, à l'ensemble de l'exploitation (EA1, 2 et 8). Enfin, le cas de l'exploitation EA3 est paradoxal, car la nouvelle législation lui interdit l'emploi d'herbicide sur toute son exploitation, tandis que l'innovation « bassin versant vitrine » lui autorise un herbicide par an. Les exploitations EA5, EA1 ont utilisé leur herbicide autorisé à la fois par la législation et par l'innovation, tandis que l'EA3 a respecté la législation en ne mettant aucun herbicide.

L'impact des stratégies collectives sur les herbicides dans la rivière

La figure suivante (Figure 58) montre la concentration d'herbicides et de métabolites dans la rivière, à l'issue de la situation initiale suivie des deux trimestres de l'année 2.

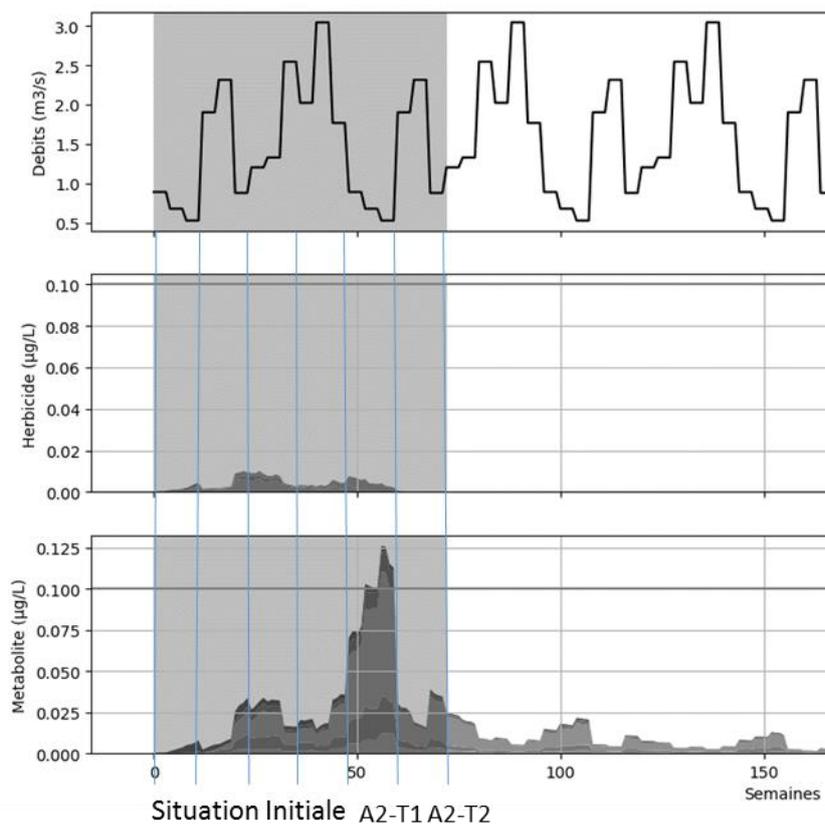


Figure 58: impact des usages herbicides sur la rivière à l'issue des deux trimestres de l'année A2. Le graphique au-dessus représente les débits de la rivière. Le graphique du milieu représente la concentration herbicide dans la rivière. Le graphique du bas représente la concentration de métabolite dans la rivière.

Tout d'abord, il faut savoir que le jeu ayant été réinitialisé avant l'issue du troisième trimestre de la situation initiale, le pic de pollution de métabolite ne devait pas dépasser le seuil de qualité de 0,1µg/L. Le pic a tout de même dépassé le seuil de qualité à l'issue du premier trimestre de l'année A2, en raison de l'utilisation d'herbicide par les exploitations 1 et 5.

Mais de manière collective, on observe une forte baisse de l'usage herbicide, avec seulement 2 utilisations sur deux trimestres, contre 21 utilisations sur les trois trimestres de la situation initiale. Cela montre que les innovations mises en place, et surtout la nouvelle législation qui réduit fortement l'usage herbicide autorisé à l'échelle globale, associée à des stratégies individuelles faiblement utilisatrices d'herbicide, participent à une baisse drastique du niveau de pollution de l'eau de rivière à partir de la fin de A2-T1.

La gestion de l'enherbement à l'échelle collective

La Figure 59 montre les stades d'enherbement de la totalité des parcelles du bassin versant au cours de l'année A2

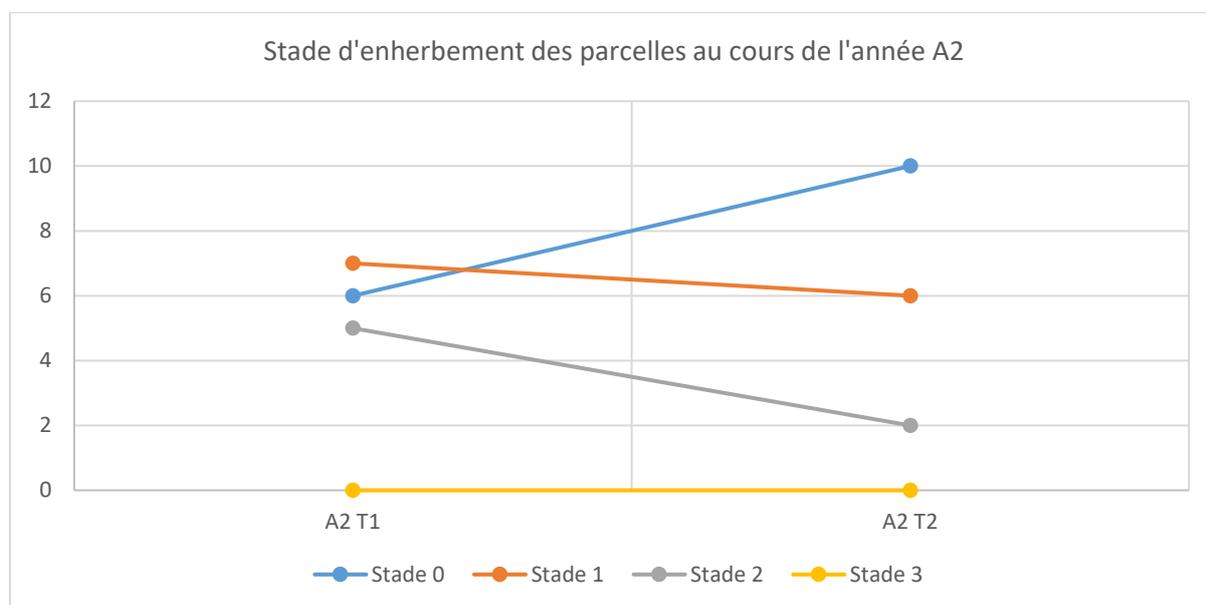


Figure 59 : graphique de l'évolution des stade d'enherbement des parcelles du bassin au cours de l'année A2, en fonction du nombre de parcelles en ordonnées (par exemple, en A2 T1 on observe 7 parcelles en stade d'enherbement 1 sur la totalité des exploitations du jeu).

On observe que le nombre de parcelles au stade 0 d'enherbement reste élevé, tandis que les parcelles aux stades 1 et surtout 2 diminuent, ce qui assoie les conclusions précédentes en année A1 sur le fait que les joueurs-agriculteurs ont une préférence nette pour le stade de terre nue dans leur exploitation. On observe également que le stade 3 d'enherbement ne concerne plus aucune exploitation, ce qui témoigne d'une part de l'apprentissage des joueurs-agriculteurs qui savent mieux gérer leur enherbement dans le jeu, et d'autre part que les stratégies individuelles et collectives mises en place permettent de diminuer les situations individuelles d'enherbement problématiques.

La Figure 60 montre les pratiques de gestion de l'enherbement mis en place par les joueurs au cours des deux trimestres de l'année A2

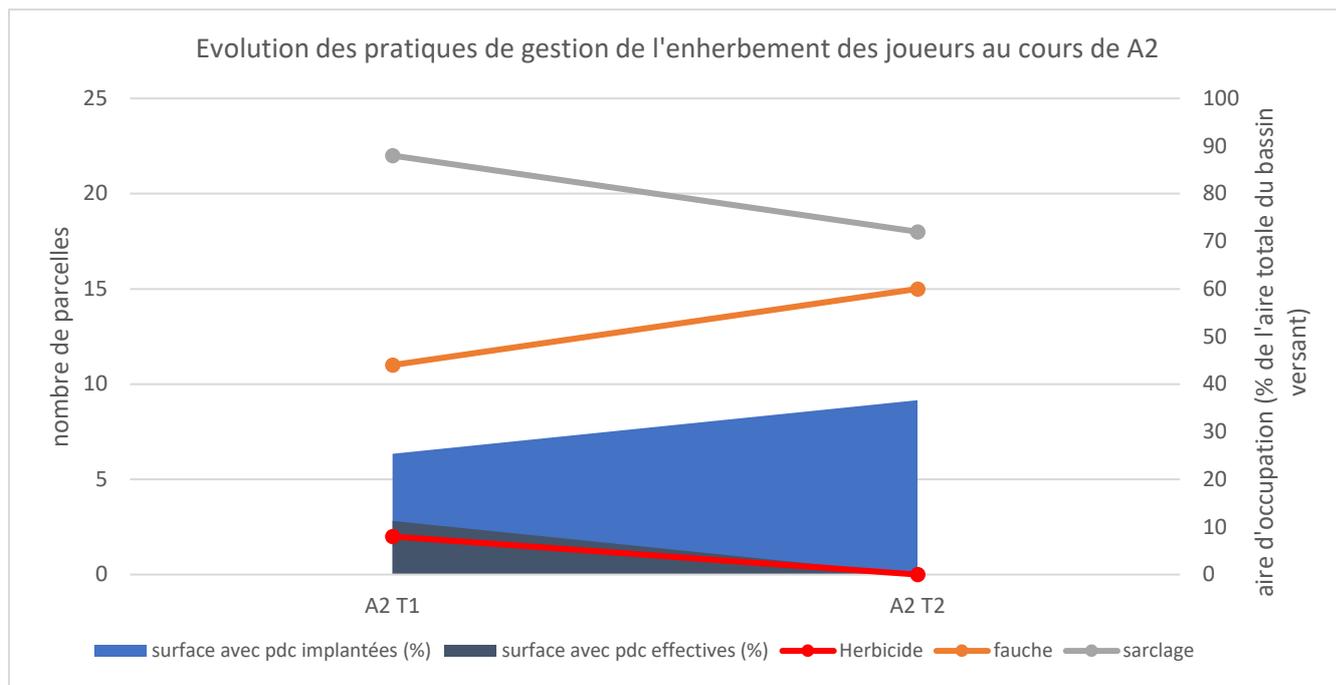


Figure 60 : évolution des pratiques de gestion de l'enherbement par les joueurs-agriculteurs au cours de l'année A1 (pdc signifie plantes de couverture, pdc effective signifie que la pdc est au minimum au stade 1 de croissance)

On déduit de la Figure 60 que le sarclage et la fauche restent les pratiques préférées des joueurs-agriculteurs à l'échelle du bassin versant, et que la diminution de l'un entraîne l'augmentation de l'autre.

En ce qui concerne les plantes de couverture, on observe encore ici la nette différence entre les surfaces implantées et les surfaces réellement occupées par des plantes de couverture (pdc effective), ce qui est à relier avec le faible nombre de trimestres joués sur cette année A2 qui ne permet pas aux plantes de croître. Elles restent utilisées uniquement par l'exploitation 1 qui a déjà utilisé cette technique en A1.

2.1.4. Conclusions sur les évolutions des innovations organisationnelles au cours du jeu

Nous avons vu que les participants n'ont pas accordé le même intérêt à toutes les innovations. Certaines suppositions peuvent être émises pour expliquer ces préférences. Tout d'abord, on peut supposer que la vraie occupation professionnelle des participants a pu orienter leur choix. Les agriculteurs ont préféré des innovations qui valorisent leurs pratiques innovantes, tandis que les acteurs du conseil technique et de groupement d'agriculteurs se sont principalement intéressés à des innovations apportant une plus-value financière aux exploitations agricoles. Ensuite, on peut supposer que les participants s'accordent sur la nécessité de libérer du temps de travail aux agriculteurs en observant des innovations plus consensuelles. Par exemple la prestation de service de débroussaillage a vu l'adhésion volontaire de la quasi-totalité des participants.

A l'inverse, d'autres innovations ont déçu ou frustré les participants, comme l'association avec un éleveur itinérant et la co-exploitation de terres. Initialement l'association avec un éleveur itinérant intéressait plusieurs participants. Mais ils ont été découragés par la complexité des règles d'attribution du troupeau de mouton. En effet, le gestionnaire gérait un planning d'attribution et les agriculteurs ne pouvaient mobiliser ce pâturage selon leur bon vouloir, car des paramètres comme la pollution du sol et le stade de la culture en contraignaient la disponibilité. Ensuite, la co-exploitation de terres n'a pas été testée pendant le jeu. Elle n'a été réclamée par personne. Ceci peut être dû à la complexité des règles de mise en place de cette innovation, ou du fait que les participants ne soient pas enclins au partage de l'usage des terres.

On a pu voir également que certaines innovations ont vu leurs règles rediscutées, afin d'ajouter des règles spécifiques à l'utilisation d'herbicide pour les innovations qui n'en présentaient pas. C'est le cas de l'innovation « prestataire de service de débroussaillage » qui se voit ajouter une règle, à savoir les fauches supplémentaires doivent être utilisées en priorité sur les parcelles en bordure de rivière. Également l'innovation « bassin versant vitrine » dont la règle d'utilisation d'herbicide a failli passer d'une faible tolérance d'usage herbicide à une interdiction totale. Enfin, le koudmen se voit ajouter une règle sur l'interdiction d'utiliser cette force de travail supplémentaire pour épandre de l'herbicide. Ces nouvelles règles ont été émises par des agriculteurs et le gestionnaire de territoire, qui accordent beaucoup d'importance au fait que la restriction spécifique de l'usage herbicide soit partagée par tous.

Enfin, la mise en place de certaines innovations organisationnelles nécessite des comportements de coopérations entre agriculteurs pour réduire les inégalités entre eux. Notamment l'EA3 qui bénéficie de deux innovations gratuitement, payées par les autres joueurs, afin de l'aider à diminuer son utilisation d'herbicide. C'est grâce à cela qu'elle peut gérer son enherbement en année A2 sans utiliser d'herbicide. De même, certaines exploitations comme l'EA1 et l'EA8 donnent davantage de ressources que les autres exploitations afin que le collectif puisse bénéficier de certaines innovations organisationnelles identifiées comme chères, à l'instar de la prestation de service de débroussaillage.

Les dynamiques collectives ont donc permis à la fois de réduire les utilisations d'herbicides à l'échelle globale, ainsi que de diminuer la pollution herbicide de la rivière. Mais si l'objectif collectif a été rempli, on a pu voir tout au long du déroulé du jeu que la mise en place d'innovations a généré des discussions sur les règles d'accès et les services proposés, des processus de négociation, des directives parfois drastiques, aboutissant à des inégalités d'usage. Dans la partie suivante, nous analysons les répercussions de la diminution collective de l'usage herbicide sur les situations individuelles des exploitations agricoles.

2.2. Influence des stratégies collectives sur les exploitations et la pollution de la rivière

Les joueurs-agriculteurs ont présenté des stratégies individuelles (partie 1.3), marquées par deux facteurs qui concernent d'une part leur tolérance à l'enherbement, et d'autre part leurs préférences envers certaines pratiques de gestion d'enherbement. Ces stratégies individuelles sont entrées en interaction avec les stratégies collectives décrites précédemment, soit en convergence soit en tension avec ces dernières. Ces situations sont résumées dans le Tableau 18.

Tableau 18: les stratégies individuelles des exploitations agricoles du jeu pendant l'année A1

EA	Objectif individuel	Atteinte de l'objectif en A1	Atteinte de l'objectif en A2
EA1	Mettre des plantes de couverture sur toute l'EA pour un enherbement entre 0 et 1 de préférence	Objectif atteint sur une parcelle sur trois Deux fois atteintes du stade 2 d'enherbement	Echec : mort de sa seule plante de couverture en parcelle 2
EA2	Ne pas utiliser d'herbicides par substitution Fauche et Sarclage, pour un enherbement à 0	Objectif atteint sur l'ensemble de l'exploitation à partir de T2	Objectif atteint sur l'ensemble de l'exploitation
EA3	A1 : Conserver un enherbement de 0, peu importe les techniques utilisées A2 : conserver un enherbement de 1	Objectif atteint sur l'ensemble de l'exploitation	Objectif atteint sur l'ensemble de l'exploitation
EA4	Ne pas utiliser d'herbicide par substitution Fauche et Sarclage, pour enherbement qui va vers 0	Objectif atteint à partir de T3 (2T/4) Mais enherbement compétitif avec la culture de rente	Objectif atteint à partir de T2
EA5	A1 : Ne pas utiliser d'herbicides par plantes de couverture pour un enherbement qui va vers 0 A2 : Avoir un enherbement qui va vers 0, sans utiliser d'herbicide si possible	Échec partiel, les plantes variant entre 2 et 0 Enherbement compétitif pour la culture de rente	Objectif atteint sur l'ensemble de l'exploitation
EA6	Ne pas utiliser d'herbicides par substitution fauche et sarclage, et tolère enherbement entre 1 et 2 <i>Respecter l'itinéraire technique réel de son exploitation entièrement en fauche</i>	Objectif atteint sur l'ensemble de l'exploitation Mais enherbement compétitif pour la culture de rente Dépassement des ressources de l'exploitation	Objectif atteint sur l'ensemble de l'exploitation Dépassement des ressources de l'exploitation
EA7	Ne pas utiliser d'herbicides, par substitution Fauche, Sarclage, voire Binage, pour enherbement qui va vers 0	Objectif atteint sur l'ensemble de l'exploitation à partir de T2 Dépassement des ressources de l'exploitation	Objectif atteint sur l'ensemble de l'exploitation
EA8	Ne pas utiliser d'herbicides par substitution fauche, sarclage, binage et plante de couverture, et tolère enherbement entre 1 et 2	Objectif atteint pour l'ensemble de l'exploitation sur l'année Enherbement compétitif avec la culture de rente	Objectif atteint pour l'ensemble de l'exploitation

La colonne « objectif individuel » exprime l'objectif (pratique et stade d'enherbement) que cherchent à atteindre les joueurs pendant le jeu, **en rouge lorsque les objectifs ont changé entre les années A et A2, en italique est indiqué une observation qui nous a semblé important pour expliquer le choix de l'objectif**

Les colonnes « atteinte de l'objectif » indique si les joueurs ont atteint leurs objectifs en A1 et A2, **en rouge sont signalés les cas où les objectifs ne sont pas atteints, ainsi que des observations qui peuvent discuter le caractère « atteint » des objectifs**

On observe une diversité d'objectifs individuels concernant l'enherbement, même si l'enherbement proche de 0 est un objectif partagé par la grande majorité des joueurs-agriculteurs, à savoir les exploitations 1, 2, 3, 4, 5 et 7. Mais pour certaines exploitations, comme les EA 4 et 5, l'enherbement reste préférable à l'utilisation d'herbicide. Pour les exploitations 6 et 8, l'enherbement est bien toléré, trop même car il entre finalement en compétition avec la culture de rente.

On observe également une diversité d'objectifs individuels concernant la réduction des herbicides. Les exploitations EA1 et EA5 souhaitent mettre en place des plantes de couverture sur leur exploitation en année 1, mais se différencient sur l'utilisation d'herbicide, que l'EA1 n'hésite pas à employer pour mettre en place ses plantes de couverture, tandis que le l'EA5 cherche à l'éviter. Les exploitations 2, 4, 6, 7 et 8 ont l'objectif de substituer l'herbicide par de la fauche et du sarclage principalement, ce qui explique le nombre important de ces pratiques à l'échelle collective. L'exploitation 3 se distingue du reste des exploitations par son objectif de conserver uniquement un enherbement à 0, quitte à utiliser beaucoup d'herbicide.

Les stratégies individuelles sont globalement restées les mêmes entre les années A1 et A2, sauf pour l'exploitation 3 en raison d'une interdiction drastique d'herbicides appliquée à l'ensemble de son exploitation, et l'exploitation 5 en raison de l'échec de sa mise en place de plantes de couverture en A1, que le joueur-agriculteur a abandonné en A2. Ainsi, les dynamiques collectives peuvent modifier les stratégies individuelles des exploitations, ce que nous allons tenter d'explicitier par la suite.

2.2.1. Influence des stratégies collectives sur les stratégies individuelles

Dans le cadre d'une participation volontaire aux stratégies collectives

En premier lieu, les innovations qui ne contraignent pas l'usage herbicide, comme l'écotourisme, sont choisies par des joueurs-agriculteurs qui utilisent de l'herbicide pour remplir leurs objectifs individuels, à l'instar des exploitations 1 et 3. Ces innovations donnent aussi aux exploitations 5 et 7 l'occasion de rattraper, par un traitement herbicide, le relatif échec des pratiques alternatives qui ne parviennent pas à éradiquer totalement l'enherbement, objectif que ces EA s'étaient fixés. Pour l'EA1, cela lui permet d'utiliser, si nécessaire, de l'herbicide pour remplir un objectif d'installation de plantes de couverture qui s'étend sur plus d'une année. Mais pour l'EA3, rien ne vient limiter sa tendance à sécuriser, sans compter l'herbicide qu'il utilise, un objectif d'enherbement nul assurant une terre « propre ». Les revenus associés à ce choix de l'écotourisme sont d'ailleurs dépensés chez lui en herbicides.

Les innovations avec une restriction d'usage herbicide sont choisies par les joueurs-agriculteurs qui souhaitent mettre en valeur leurs pratiques, comme les exploitations 2, 4, 6 et 8, ce qui leur permet de remplir leur objectif de pratique pour la plupart, et donne une certaine liberté d'utiliser de l'herbicide pour les autres agriculteurs, plus préoccupés par leur objectif d'enherbement.

Cependant, il faut que cette charte soit assortie de compensations suffisantes pour permettre la mise en place d'itinéraire techniques aussi restrictifs en herbicides, ce qui ne fut pas le cas pour l'EA6 qui a eu du mal à mettre des techniques alternatives en place en raison d'un manque de force de travail, même en participant à l'innovation prestataire de service. On note d'ailleurs que c'est dans ce groupe de joueurs que l'on observe le plus d'impact de l'herbe sur le rendement, ce qui questionne d'autant plus la survie économique des exploitations associées à ce type d'innovation. Certaines exploitations arrivent à combler le manque de ressources en associant d'autres innovations, comme l'EA4 qui arrive à gérer son enherbement sans herbicide, en faisant appel à la fois à un prestataire de service en débroussaillage et à un troupeau de mouton d'un éleveur itinérant. Mais pour d'autres, cela ne suffit pas, comme pour l'EA6 qui continue de manquer de force de travail pendant toute la durée de l'année 1.

Dans le cadre d'une réglementation restrictive

On remarque que, face à une législation plus restrictive en année 2, le succès des stratégies individuelles dépend en partie (i) de l'évolution de la tolérance des agriculteurs à l'enherbement et à son impact sur leurs rendements, (ii) des innovations adoptées pour pallier les difficultés de gestion de l'enherbement engendrées par la nouvelle législation.

Une tolérance élevée à l'enherbement permet de réduire l'utilisation d'herbicides pour les agriculteurs chez qui cet objectif est prioritaire. On remarque que les exploitations 3, 4, 6 et 8 sont caractérisées par, soit une augmentation de la tolérance à l'enherbement (EA3), soit une tolérance haute à l'enherbement pouvant impacter moyennement ou fortement le rendement (EA6 et EA8), ou du moins qui préfèrent un fort enherbement à l'utilisation d'herbicide (EA4). Leurs objectifs de pratiques sont remplis, dans la mesure où ils ont priorisé ce sous-objectif, et n'ont pas utilisé d'herbicides même en cas de fort enherbement. Cela nous informe que dans un système sans herbicide, des joueurs-agriculteurs peuvent tolérer un enherbement qui peut entrer en compétition avec leur culture de rente et impacter leur rendement.

Les innovations ont un impact sur la réussite de l'objectif individuel, dans la mesure où elles permettent plus ou moins de pallier les nouvelles difficultés des exploitations. Pour des exploitations comme EA6 et EA8 qui tolèrent un impact plus ou moins important de l'herbe sur leurs rendements, il est nécessaire de subvenir à la baisse des ressources financières qui peuvent en résulter, ce qui n'a pas été le cas pour l'EA6 qui a très souvent dépassé ses ressources. Pour les exploitations comme EA3 et EA4, c'est la mise en place d'innovations augmentant la force de travail qui leur a permis de remplir leur sous-objectif de gestion de l'enherbement, avec un troupeau de mouton pour l'EA4 et le koudmen pour l'EA3. Cependant l'EA1, qui n'a pas augmenté sa tolérance à l'enherbement, et qui a bénéficié d'innovations qui augmentent uniquement sa capacité financière, a échoué dans ses deux sous-objectifs (mise en place de pratique et niveau d'herbe toléré).

Ceci pour deux raisons : (i) car la mise en place de plantes de couverture se fait sur le long terme, (ii) et que les compensations financières n'ont apparemment pas suffi à pallier les restrictions d'usage herbicides puisque la plante de couverture a fini par mourir en année 2.

On conclut que les innovations impactent différemment les exploitations, selon leurs objectifs individuels, d'autant plus divers qu'une législation particulière vient augmenter cette hétérogénéité des situations en A2. Il ne s'agit donc pas de diminuer l'hétérogénéité des situations par la mise en place d'une même innovation pour toutes les exploitations, mais bien de laisser la possibilité aux joueurs-agriculteurs de participer à une innovation organisationnelle adaptée à leurs besoins.

Maintenant, nous allons observer quel impact les stratégies individuelles ont eu sur l'objectif collectif de réduction de la pression herbicide.

2.2.2. L'impact des modalités de mise en œuvre des stratégies collectives sur la pollution herbicide de la rivière

Dans la partie précédente, on a pu voir que les exploitations n'avaient pas les mêmes objectifs individuels, amenant à des utilisations d'herbicide très différentes entre joueurs-agriculteurs. Cela implique que la pollution herbicide de la rivière sera différente selon la localisation des différents joueurs-agriculteurs, et selon leurs objectifs individuels.

En année A1 – Participation volontaire

La figure suivante montre les contributions des différentes exploitations sur la pollution de la rivière au cours de la situation initiale, suivie de l'année A1 (Figure 61).

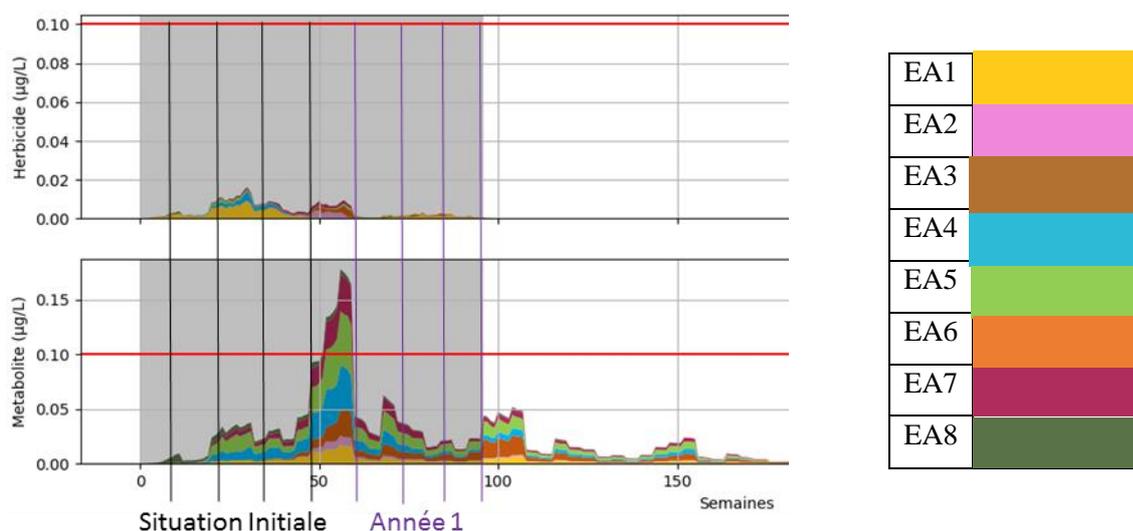


Figure 61: contribution des exploitations à la pollution de la rivière à l'issue de l'année A1 avec le code couleur des exploitations. Le graphique au-dessus représente la pollution herbicide. Le graphique au-dessous représente la pollution de son métabolite. L'année A1 commence à la 36^e semaine.

Les joueurs-agriculteurs qui ont utilisé le plus d'herbicide étaient situés dans des zones à faible risque de transfert, à l'instar des exploitations 1 et 3 situées sur la zone aval du bassin versant (ces zones croisent des sols à faible capacité de transfert et de faibles précipitations). C'est pourquoi ces deux exploitations contribuent peu à la pollution, en dépit de leur utilisation élevée d'herbicide et de la taille importante de l'exploitant 1.

Les joueurs-agriculteurs qui ont peu ou pas utilisé d'herbicide sur cette année A1 étaient surtout situés sur des zones à fort risque de transfert. Par exemple, l'exploitation 5 était située sur la zone milieu du bassin versant, qui possède le plus fort risque de transfert, phénomène accentué par sa grande taille. Alors qu'elle n'a utilisé qu'un seul herbicide au trimestre 2 de l'année A1, donc juste après le pic de pollution, on voit que sa contribution à la pollution métabolite est plus importante par exemple que celle de l'EA3 qui a utilisé 3 herbicides ce même trimestre et qui présente une petite surface. L'exploitation 6 est également une grande exploitation située sur cette zone à fort risque de transfert, et présente la particularité de ne pas avoir utilisé d'herbicide tout au long du jeu, ce qui réduit également le risque de dégradation de la qualité de la rivière.

On le voit, le raisonnement à l'échelle territoriale est absolument indispensable pour juger de l'intérêt et des risques de certains changements de pratiques individuelles. Cette connaissance de l'hétérogénéité des risques sur le territoire est cependant rarement complète dans la réalité, à l'intersection des mécanismes physiques complexes et des caractéristiques des exploitations. C'est ce que l'on a reproduit dans le second tour de jeu en année 2, où le gestionnaire n'a pas toutes les informations sur cette hétérogénéité des risques quand il décide d'établir de nouvelles règles.

En année A2 – évolution de la réglementation

La figure suivante montre les contributions individuelles des exploitations sur la pollution de la rivière au cours de la situation initiale, suivie des deux trimestres de l'année A2 (Figure 62).

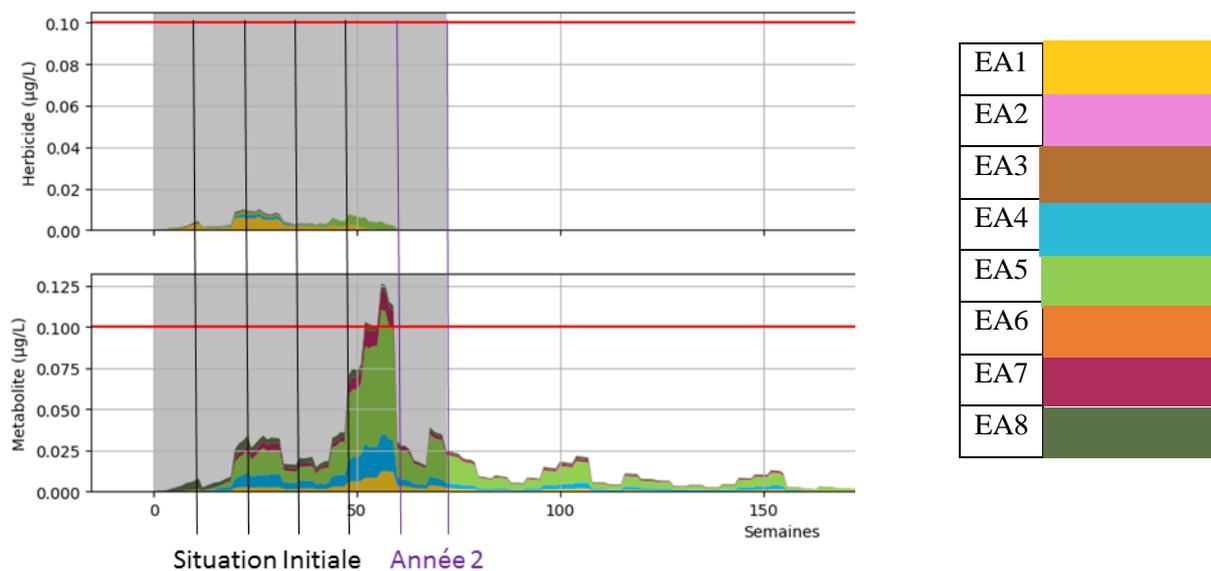


Figure 62 : contribution des exploitations à la pollution de la rivière à l'issue de l'année A2 avec le code couleur des exploitations. Le graphique au-dessus représente la pollution herbicide. Le graphique au-dessous représente la pollution de son métabolite. L'année A2 commence à la 36^e semaine.

Au début de l'année A2, c'est surtout l'EA5 qui a contribué au pic de pollution métabolite, plutôt que l'EA1 alors qu'ils ont tous deux utilisé un herbicide au premier trimestre.

Cependant, les restrictions herbicides ont plus durement impacté l'EA1 qui n'a réussi aucun de ses sous-objectifs de stratégie individuelle, alors que son impact sur la pollution est négligeable par rapport à EA5. De même, la législation touche plus durement l'EA3 qui se voit interdire des herbicides sur la totalité de l'exploitation, tandis que l'EA5 a une restriction moins sévère d'un herbicide par an sur l'exploitation, alors que sa contribution à la pollution est supérieure. Ceci s'explique par le caractère incomplet des connaissances dont dispose le joueur-gestionnaire pour établir sa législation, lié à la complexité du système écologique intervenant dans le transfert des herbicides dans l'environnement. Il est donc difficile, dans la réalité, d'établir une législation qui suive réellement les caractéristiques intervenant dans le transfert des herbicides dans l'environnement, phénomène très complexe.

2.3. Les éléments considérés par les joueurs-agriculteurs dans leur choix de gestion de l'enherbement

Tout d'abord, les résultats du jeu nous indiquent que les stratégies collectives ont en partie été déterminées d'après les stratégies individuelles des joueurs-agriculteurs. On note une volonté quasi-collective de réduire l'usage herbicide dans les exploitations, mais le choix d'innovation pour y parvenir est dépendant des stratégies individuelles des participants. Les joueurs-agriculteurs souhaitant une plus grande liberté d'usage herbicide pour des stratégies sur le long terme (comme la mise en place de plantes de couverture) se sont tournés vers des innovations sans règles de restrictions d'usage, tandis que les joueurs-agriculteurs privilégiant la substitution d'herbicide par des pratiques manuelles ou mécaniques ont préféré des innovations avec restrictions d'usage.

Ensuite, le véritable rôle des joueurs en dehors du jeu a pu influencer le choix des innovations. Les acteurs non agriculteurs ont préféré participer à des innovations qui augmentaient les ressources financières de l'exploitation agricole, quitte à mobiliser de la main d'œuvre en dehors des activités agricoles pour les mettre en place, tandis que les agriculteurs ont choisi une innovation qui valorisait leurs pratiques vertueuses à travers un label, et qui ne mobilisait pas de main d'œuvre en dehors des activités agricoles.

Les dynamiques collectives ont pu modifier les stratégies individuelles, en obligeant certains joueurs-agriculteurs à s'orienter vers des méthodes alternatives à l'herbicide, ou à tolérer un enherbement plus important sur leurs parcelles. Mais il est difficile d'établir si ces changements sont durables dans le temps car soumis à une obligation de changer. Aussi, si la pression arrête de s'exercer, il est probable que le joueur-agriculteur retourne vers sa stratégie précédente.

Enfin, dans les informations indirectes que l'on a pu recueillir sur l'explicitation de leurs décisions, les joueurs-agriculteurs ont plutôt privilégié les informations sur l'état de la croissance du peuplement végétal sur leurs parcelles pour prendre leur décision. Ils ont répondu à des impératifs d'enherbement, ne prenant en compte la localisation des parcelles qu'à l'instigation du joueur-gestionnaire. C'est uniquement ce participant qui a été l'instigateur de règles de différenciation de pratiques en fonction d'éléments spatiaux, comme l'utilisation des fauches du prestataire de service préférentiellement sur les parcelles en bordure de rivière, ou la mise en place d'une législation basée sur la zone pédoclimatique. Quant aux discussions des joueurs-agriculteurs, elles se sont focalisées sur la réduction d'usage individuel (sur les exploitations agricoles), comme la mise en place d'une règle pour le koudmen de non utilisation d'herbicide, ou encore la modification du nombre d'herbicides autorisés dans la charte du bassin versant.

2.4. Pour évaluer les résultats du jeu, une comparaison de trois situation-types contrastées

L'analyse systématique des approches basées sur le jeu est essentielle pour déterminer si elles répondent aux objectifs pour lesquels elles ont été développées. Pour autant, l'évaluation des jeux est trop souvent cantonnée à répondre à la question « est-ce que ça a fonctionné », alors qu'il est nécessaire que le jeu contribue également à mieux comprendre le comportement réel des acteurs et les raisons de ce comportement (Aubert et al., 2019).

C'est ce que nous avons fait en dégagant des différentes phases de jeu, trois situations-type (ST) en fonction du degré de restriction de l'usage herbicide résultant des dynamiques collectives jouées (selon les innovations organisationnelles choisies ou de la législation) et de l'objectif individuel des exploitations concernées. Ces ST amènent à des niveaux de pollution dépendants de la localisation des exploitations, de leurs objectifs individuels et du niveau d'usage d'herbicides permis par les innovations organisationnelles.

Ces ST sont ici évaluées au regard des critères d'évaluation relatifs à la question de départ sur la qualité de l'eau et des critères d'évaluation qui ont émergés chemin faisant du processus KC (partie 1.1), par rapport à la situation initiale des exploitations agricoles du jeu. Pour chaque ST, nous ne cherchons pas tant à discuter des valeurs absolues de ces indicateurs obtenues lors du jeu qu'à procéder par comparaison : en poussant chaque ST aux limites, nous étudions la sensibilité des résultats à d'autres décisions qu'auraient pu prendre les joueurs, tout en restant dans le cadre de la ST (en recalculant les impacts sur la pollution en particulier) ; en comparant les ST entre elles afin de discuter les scénarios de règles collectives et les hypothèses de comportements individuels en fonction de leur viabilité (Barreteau et al., 2006). On a ainsi pu distinguer deux types de résultats, à la fois des résultats dans l'action, est-ce que cela peut fonctionner (évaluation de la situation-type), et des résultats théoriques, pourquoi/comment cela peut fonctionner (leviers potentiels).

Au regard des itinéraires techniques réalisés en gestion de l'enherbement dans les différents systèmes de cultures présents sur le bassin versant, il est probable que les agriculteurs du bassin versant utilisent simultanément un herbicide sur un même trimestre. La période critique se situe en début de cycle de canne à sucre, entre juillet et septembre, lorsque que les précipitations sont importantes (Brykalski, 2015). Cette situation d'usages simultanés nous a servi par la suite pour pousser les limites de certaines situations-type.

2.4.1. Situation-type 1 : pas de restriction d'usage herbicide, pour une liberté d'agir des agriculteurs

Cette situation-type (ST1) est déduite des choix de jeu des exploitations 1, 3, 5 et 7 lors de l'année A1. Ces exploitations ont adhéré à une ou plusieurs innovations organisationnelles qui n'imposaient pas de restriction d'usage herbicide, à savoir le circuit écotouristique, la prestation de service de débroussaillage, et la diversification en verger sous contrat avec une usine de production locale.

Cette situation laisse une grande liberté aux agriculteurs dans leurs stratégies de gestion de l'enherbement pour répondre à leur objectif individuel. L'inconvénient est que si l'objectif individuel d'une ou plusieurs exploitations n'inclut pas une réduction de l'usage herbicide, les ressources acquises grâce aux innovations peuvent accentuer l'utilisation d'herbicide à l'échelle individuelle et potentiellement collective, et donc la pollution de la rivière selon le nombre et la localisation de cette ou ces exploitations. Cependant, elle laisse plus de marge de manœuvre pour des exploitations qui ont besoin de temps et de ressources pour mettre en place une stratégie sur le long terme qui réduit l'usage herbicide, comme l'implantation de plantes de couverture.

Evaluation de la situation-type au regard des critères d'évaluation du C0

L'effet de cette ST1 sur l'objectif de réduction d'herbicide dépend à la fois de la taille et de la localisation des exploitations sur le bassin versant car si l'usage herbicide est sensiblement le même à l'échelle du collectif, l'impact sur la pollution de la rivière reste très dépendant de la localisation des exploitations. La Figure 63 isole les contributions du collectif qui a inspiré cette ST1, sur la qualité de l'eau.

La Figure 63 (a) montre que la pollution de l'eau reste très en dessous du seuil de pollution pour les itinéraires techniques joués par les exploitations 1, 3, 5 et 7 pendant l'année A1.

Nous avons souhaité pousser aux limites cette ST1. Pour cela, nous sommes restés dans le cadre des règles collectives établies en ST1, en inversant simplement les itinéraires techniques de gestion de l'enherbement entre les exploitations 3 et 5. On s'aperçoit alors (Figure 63 (b)) que la rivière est très polluée, jusqu'à dépasser le seuil de qualité de plus de 100%. Cependant, il est peu probable que les choix réalisés au cours du jeu par les exploitations 3 et 5 aient été totalement indépendants d'une certaine conscience de leur poids potentiels dans les risques collectifs : EA 5 est une exploitation qui fait plus du double de la surface de EA3 et qui est située en bordure de rivière, tandis que EA3 est une petite exploitation éloignée de la rivière. Mais il y a eu peu d'explicitation des choix des participants au cours du jeu, ce qui ne permet pas de déduire si EA 3 et 5 ont considéré l'impact potentiel de leurs pratiques sur la rivière.

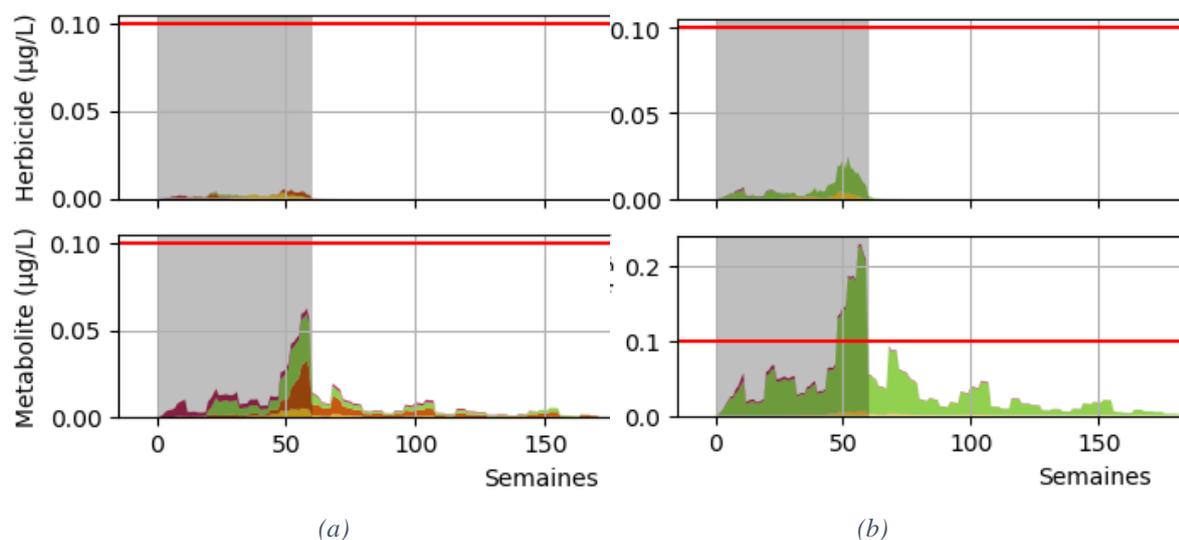


Figure 63 a et b : état de la pollution de l'eau par le collectif d'exploitations EA1, 3, 5 et 7. La figure de gauche (a) pour les itinéraires techniques appliqués pendant l'année A1. LA figure de droite (b) pour l'inversion des itinéraires techniques entre l'EA3 et l'EA5 pendant l'année A1.

En ce qui concerne les autres critères d'évaluation du C0 (partie 1.1), le tableau suivant résume la capacité de la ST1 à y répondre (Tableau 19).

Tableau 19: ST1 au regard des critères d'évaluation autres que la pollution herbicide de la rivière

Critère	EA1	EA3	EA5	EA7	Sur la totalité des EA	Part des Exploitations ayant atteint l'objectif
Usage herbicide à la parcelle	-72%	+400%	-50%	-33%	+7%	75% ont diminué l'usage d'herbicides à la parcelle
Ressources financières	-19%	+25%	+14%	-17%	-4%	50% ont augmenté leurs ressources financières
Temps de travail de l'agriculteur	0	+15%	+33%	+25%	+8%	50% ont augmenté notablement leur temps de travail et aucun n'en a libéré
Valorisation du territoire	par la valorisation de l'identité agricole hétérogène du territoire					100% de l'objectif atteint
Mutualisation entre agriculteurs	mutualisation financière pour la prestation de service					75% des EA y ont contribué

Cette ST1 permet ici de réduire l'usage herbicide à la parcelle dans 75% des exploitations concernées, même si elle aboutit à une sensible augmentation de 7% d'usage herbicide à l'échelle collective. Bien que l'augmentation des ressources financières ait motivé une bonne partie des agriculteurs à participer à ces innovations, seules 50% des exploitations voient leurs ressources augmenter en raison de participations financières différentes aux innovations. En effet, deux exploitations ont décidé de participer davantage car elles disposaient de plus d'argent, ce qui a permis la mise en place de la prestation de service de débroussaillage à l'échelle collective. La baisse de la main d'œuvre disponible est particulièrement significative dans cette ST1, en raison de la participation au circuit écotouristique qui implique une participation fixe de main d'œuvre, qui peut représenter une part plus ou moins importante des ressources de l'exploitation, et ce malgré la délégation du débroussaillage (pour 3 exploitations sur 4) à une prestation de service.

Cependant, on note la réussite totale de l'objectif de valorisation du territoire avec la totalité des exploitations qui participent au circuit écotouristique, mettant en avant l'identité agricole hétérogène du territoire. De plus, la participation de 75% des exploitations à la prestation de services de débroussaillage est un point fort de cette ST1, consolidant la construction organisationnelle et idéale du territoire.

Leviers potentiels

Pour que cette ST1 permette de réduire durablement l'utilisation d'herbicide, il est indispensable d'agir sur plusieurs leviers.

Tout d'abord, il faut que les exploitations aient la volonté de diminuer l'usage herbicide car aucune règle ici ne les y oblige, et soient conscientes de leur propre contribution à la pollution. Pour les exploitations réticentes à diminuer cet usage, la genèse de ressources supplémentaires peut, au contraire, servir à augmenter l'utilisation d'herbicide.

Le collectif peut venir palier cela, tout d'abord par la mise en commun de ressources assorties de règles modulées. Ceci permettrait à ces exploitations d'accéder à des innovations organisationnelles tout en leur laissant un délai pour surmonter leurs difficultés à réduire leur utilisation d'herbicides.

D'autre part, la diminution de la pollution permise par la dynamique collective offre aussi des marges de manœuvre en cas de nécessité pour l'un ou l'autre d'augmenter, ponctuellement, leurs usages individuels sans provoquer une pollution majeure dans la rivière. Il reste que sans règles formalisées, cette ST1 pourrait générer des conflits entre les agriculteurs, si quelques exploitations en venaient à réduire trop souvent à néant l'effort collectif.

Ensuite il est nécessaire que les modalités de participation aux innovations soient cohérentes entre elles, pour ne pas aboutir à une diminution des ressources de l'exploitation. En particulier la question de la disponibilité en main d'œuvre est un critère crucial pour les agriculteurs. Pour compenser cette augmentation du temps de travail, associé au circuit écotouristique en particulier, on pourrait mettre en œuvre d'autres d'innovations qui augmentent significativement la main d'œuvre disponible pour des activités agricoles, la prestation de service de débroussaillage ne suffisant pas ici.

2.4.2. Situation-type 2 : une restriction herbicide volontaire, pour les exploitations qui souhaitent valoriser leurs pratiques

Cette situation-type (ST2) est déduite des situations des exploitations 2, 4, 6 et 8 lors de l'année A1. Ces exploitations ont adhéré à une innovation organisationnelle qui imposait le respect d'une charte restrictive en matière d'usage herbicide, à savoir le bassin versant vitrine, associée à d'autres innovations comme la prestation de service de débroussaillage, l'association avec un éleveur ou le circuit écotouristique (uniquement pour l'exploitation 8).

Cette ST2 est préférée par les agriculteurs qui souhaitent donner une valeur à leurs pratiques innovantes. Dans notre cas, elle a fortement encouragé la substitution d'herbicide par de la fauche et du sarclage, voire l'essai de plantes de couverture pour les agriculteurs sensibilisés à cette pratique. Le biais de cette ST2 est qu'elle a été choisie par des agriculteurs qui présentent déjà une volonté de réduire les herbicides en dehors du jeu. Mais elle permet à ces agriculteurs innovants d'avoir accès à davantage de main d'œuvre et peut encourager d'autres agriculteurs à adhérer à une innovation qui valorise uniquement la réduction de l'usage herbicide, ce qu'aucun label existant ne permet de faire actuellement.

Evaluation de la situation-type au regard des critères d'évaluation du CO

Au regard de la pollution herbicide de la rivière, la mise en place d'une restriction à un herbicide par an et par parcelle permet une diminution drastique de l'utilisation herbicide, dans la mesure où ce désherbage chimique a été réparti sur différentes périodes et non pas concentré en une seule période

Cependant, si les exploitations de cette ST2 utilisaient leur herbicide autorisé en même temps, notamment sur la période de juillet à septembre comme expliqué précédemment, on aboutirait à la Figure 64 où le pic de pollution passe au-delà du seuil de pollution. C'est le cas particulièrement dans notre collectif qui comprend des exploitations avec un plus ou moins grand risque de transfert.

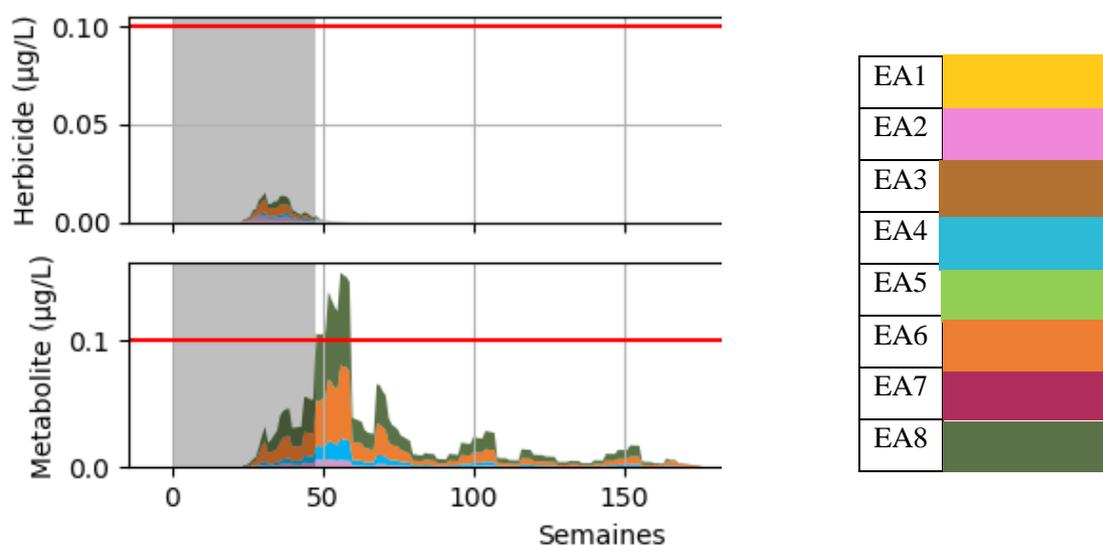


Figure 64: impact sur la rivière du collectif dans le cas d'une utilisation simultanée de l'herbicide autorisé, entre juillet et septembre, des exploitations 2, 4, 6 et 8.

En ce qui concerne les autres critères d'évaluation du C0 (partie 1.1), le tableau suivant résume la capacité de la ST2 à y répondre (Tableau 20).

Tableau 20: ST2 au regard des critères d'évaluation autres que la pollution herbicide de la rivière

Critère	EA2	EA4	EA6	EA8	Sur la totalité des EA	Part des Exploitations ayant atteint l'objectif
Usage herbicide à la parcelle	-100%	-100%	-100%	-33%	-76%	100% ont diminué l'usage d'herbicides à la parcelle
Ressources financières	0	0	0	-28%	-4%	75% ont conservé leurs ressources financières et 25% ont diminuées leurs ressources financières
Temps de travail de l'agriculteur	-25%	-25%	-40%	0	-13%	75% ont notablement libéré du temps de travail
Valorisation du territoire	par la valorisation de l'identité agricole hétérogène du territoire					100% de l'objectif atteint
Mutualisation entre agriculteurs	mutualisation financière pour la prestation de service					100% des EA y ont contribué

Cette ST2 est particulièrement efficace, au-delà même de son effet sur la pollution, au regard des objectifs des agriculteurs, car elle répond positivement à la quasi-totalité de leurs critères d'évaluation. Elle permet d'une part de diminuer l'usage d'herbicide à la parcelle dans 100% des exploitations, aboutissant à une diminution de 76% de l'usage à l'échelle collective. Elle augmente significativement la force de travail disponible pour des tâches agricoles dans 75% des exploitations, par l'utilisation d'un prestataire de service en débroussaillage, sans y associer d'innovations coûteuses en main d'œuvre, mis à part pour la seule exploitation qui a la particularité de posséder déjà beaucoup de main d'œuvre et pour qui la participation au circuit écotouristique s'équilibre avec la prestation de service. Seule l'augmentation des ressources financières n'est pas remplie mais ces ressources restent stables pour 75% des exploitations. On note en particulier une exploitation qui voit ses ressources financières diminuer en raison d'une participation financière volontaire plus importante, pour permettre la mise en place de la prestation de service à l'échelle collective.

Le territoire est valorisé par la mise en place d'une charte propre au bassin versant, et qui valorise auprès des autres acteurs et consommateurs des pratiques plus vertueuses que sur le reste de la Martinique. De même que pour la ST1, la mise en place d'une mutualisation financière entre les agriculteurs améliore encore la construction idéale et organisationnelle de ce territoire.

Leviers potentiels

Pour que cette ST2 permette de réduire durablement l'utilisation d'herbicide, il est indispensable d'agir sur plusieurs leviers.

Tout d'abord, il est nécessaire d'associer un planning de traitement herbicide à la charte pour améliorer plus sûrement la qualité de la rivière. Cette nécessité est d'autant plus importante que toutes les exploitations ne présentent pas le même risque de transfert des herbicides vers l'eau de rivière, surtout si on augmente les exploitations concernées par la charte à la totalité des exploitations du bassin versant.

Ensuite, il faut que les agriculteurs soient plus tolérants à l'enherbement, ou avoir suffisamment de ressources pour réussir à maintenir un très faible enherbement sans utiliser d'herbicide dans le cas des plus grandes exploitations. Cependant, il faut associer cette représentation de l'enherbement à des connaissances sur les mécanismes de compétition de l'enherbement avec la culture de rente, car une trop grande tolérance à l'herbe, à des stades critiques comme en début de cycle, peut amener à une forte baisse du rendement, remettant en question la viabilité économique de l'exploitation. Il y a là une nécessité d'améliorer les connaissances sur les stades, les hauteurs et les biomasses limites à ne pas dépasser.

Enfin, l'association des innovations organisationnelles dans cette ST2 ne permet pas l'augmentation des ressources financières des exploitations. Il serait nécessaire de répondre à ce besoin, soit en augmentant la valorisation des produits labellisés dans la charte (qui, dans le jeu, augmente les ressources financières de l'exploitation de 10%), soit en mettant en place d'autres innovations organisationnelles qui augmentent les ressources financières

Mais cette ST2 doit conserver sa capacité à libérer du temps de travail aux agriculteurs. Car l'augmentation de la main d'œuvre disponible dans les exploitations de ST2 peut constituer un attrait particulièrement important auprès des agriculteurs. Certains y voient l'opportunité de plus s'investir dans les soins apportés aux cultures de rentes pour augmenter leur rentabilité. Pour ceux qui n'ont pas encore choisi cette voie, cet effet sur le travail peut constituer un argument pour les encourager à participer à la charte, sous réserve qu'elle reste associée à la prestation de services de débroussaillage.

2.4.3. Situation-type 3 : une restriction herbicide très sévère et hétérogène

Cette situation-type (ST3) est déduite de la situation de jeu de l'année A2. Le joueur-gestionnaire a alors imposé une législation drastique, réduisant plus ou moins fortement les possibilités d'utiliser des herbicides en fonction de conditions pédoclimatiques dans lesquelles se trouvent les exploitations. Il a ensuite fortement contribué à la mise en place d'innovations pour venir pallier les difficultés provoquées par cette législation en proposant des compensations financières (ou subventions), une organisation généralisée du « koudmen », un affichage collectif des efforts consentis à travers l'innovation « bassin versant vitrine » et l'association avec un éleveur itinérant.

Cette ST3 est à double tranchant. Assortie d'innovations qui devraient permettre aux exploitations de remplir leur objectif individuel, elle aboutit à une baisse très forte et surtout très rapide de l'utilisation d'herbicide et de la pollution de l'eau. Mais si les innovations organisationnelles n'atteignent pas ou pas assez vite leurs objectifs, alors cette situation peut amener à une frustration importante chez certains exploitants dont elle rendrait la situation peu viable.

Evaluation de la situation-type au regard des critères du CO

En ce qui concerne la réduction de la présence d'herbicide dans la rivière, la complexité des systèmes écologiques intervenant dans le transfert de polluant impliquent obligatoirement l'utilisation d'informations partielles pour établir ce type de législation. C'est bien ce que l'on a réussi à reproduire dans le jeu puisque des incohérences apparaissent, avec des exploitations qui disposent d'une autorisation d'usage alors qu'elles présentent un fort risque de transfert, tandis que d'autres exploitations se retrouvent interdites d'usage alors que leur risque de transfert est plus faible. La Figure 65 (b) reprend les contributions des exploitations selon les règles émises par le joueur-gestionnaire, si les joueurs-agriculteurs respectent les nouvelles règles émises, mais appliquent simultanément les herbicides autorisés sur le trimestre juillet-septembre. On observe alors (Figure 65 (b)) un large dépassement du seuil de qualité au trimestre suivant par le métabolite de l'herbicide. Donc les règles émises par le joueur-gestionnaire, en plus de ne pas cibler les exploitations qui possèdent le plus haut risque de transfert, ne considèrent ni la pluviométrie, ni la simultanéité de l'usage herbicide, ce qui peut amener à un échec de l'objectif de réduction des pollutions dans la rivière.

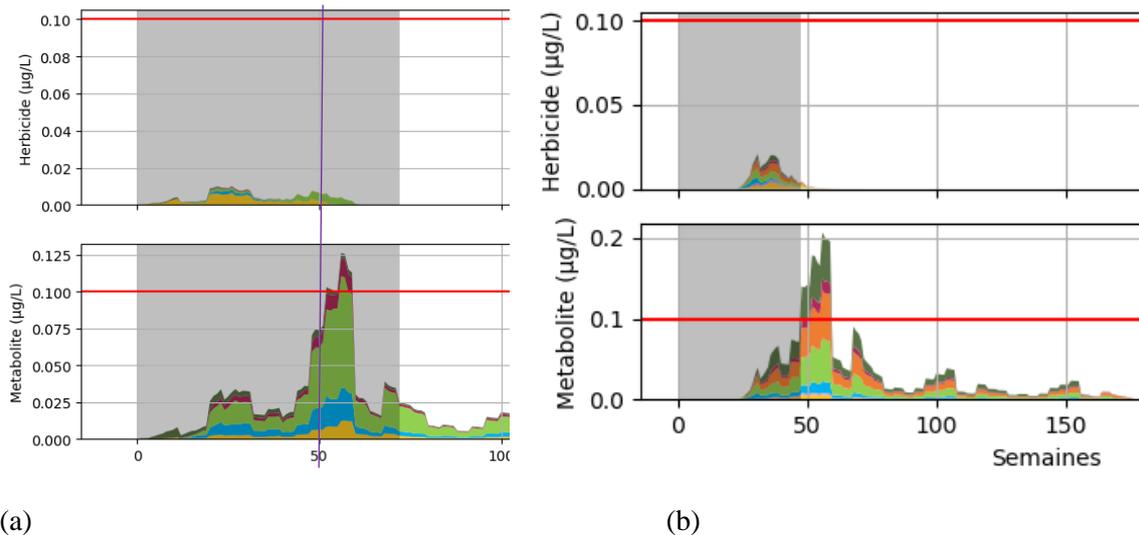


Figure 65: résultat de la qualité de l'eau (a) à l'issue de la SI+A2 (la ligne violette montre le début de l'année 2), (b) lors de la simulation d'une utilisation simultanée d'herbicide conformément à la législation du joueur-gestionnaire, entre juillet et septembre, pour l'ensemble des exploitations du jeu.

En ce qui concerne les autres critères d'évaluation du C0 (partie 1.1), le tableau suivant résume la capacité de la ST3 à y répondre (Tableau 21).

Tableau 21: ST3 au regard des critères d'évaluation autres que la pollution herbicide de la rivière

Critère	EA1	EA2	EA3	EA4	EA5	EA6	EA7	EA8	Sur la totalité des EA	Part des exploitations ayant atteint l'objectif
Usage herbicide à la parcelle	-71%	0	-100%	-100%	0	-100%	-100%	-100%	-84%	75% ont diminué l'usage d'herbicide à la parcelle
Ressources financières	+14%	+8%	+25%	+23%	+21%	+21%	+33%	+20%	+17%	100% ont augmenté leurs ressources financières
Temps de travail de l'agriculteur	0	+25%	-85%	+13%	0	+20%	0	+11%	-1%	1 EA a libéré du temps de travail
Valorisation du territoire	par la valorisation des pratiques agricoles vertueuses sur le territoire									100% de l'objectif atteint
Mutualisation entre agriculteurs	De main d'œuvre, par le koudmen									60% des EA y contribue

La manière dont cette ST3 a été jouée répond particulièrement bien à la diminution de l'usage herbicide à la parcelle avec 75% qui ont diminué leur usage, aboutissant à une réduction de 84% de l'usage à l'échelle collective. Cette ST3 permet également d'augmenter significativement les ressources financières de l'ensemble des exploitations, entre 8% et 33%, aboutissant à une augmentation moyenne de 17% sur l'ensemble des exploitations. Le besoin en main d'œuvre diminue dans seulement une exploitation, et augmente dans 50% des exploitations.

Le territoire est bien valorisé avec la totalité des exploitations qui participent à la mise en valeur des pratiques vertueuses des agriculteurs du territoire, même si seulement 60% des exploitations participent à cette construction organisationnelle et idéale par la mutualisation de force de travail.

Leviers potentiels

Pour que cette ST3 permette de réduire durablement l'utilisation d'herbicide, il est indispensable d'agir sur plusieurs leviers.

Un levier nécessaire reste la motivation, la volonté des joueurs-agriculteurs de réduire l'usage herbicide, pour adhérer volontairement à la nouvelle réglementation et ne pas générer de conflit entre les agriculteurs et les gestionnaires du territoire. Cette motivation peut être assurée par la mise en place de mesures compensatoires comme l'accès à certaines innovations organisationnelles. Notre expérience a montré que les innovations organisationnelles qui augmentaient la main d'œuvre disponible pour les agriculteurs avaient permis de compenser de façon satisfaisante certaines exploitations particulièrement mises en difficulté par la nouvelle législation et ayant une tolérance à l'enherbement faible. Or, cet indicateur est faible dans cette ST3. Il est donc indispensable de compenser ce manque comme la prestation de service de débroussaillage, qui a déjà été efficacement associé à la charte bassin versant en ST2. Des exploitations tolérantes à l'enherbement, et à son impact plus ou moins important sur le rendement, devraient pouvoir bénéficier de nouvelles subventions ou formes de valorisations financières de leurs productions pour assurer, au moins à l'installation de cette organisation, la viabilité économique de leur exploitation parfois mise à mal dans cette ST3. Mais il faut pouvoir évaluer les besoins de chaque exploitation, car des innovations organisationnelles inadaptées peuvent amener à l'échec de la stratégie individuelle de l'exploitant. Ceci fait naître un terrain particulièrement propice aux conflits entre gestionnaire et agriculteurs, du fait que la nouvelle législation est alors considérée comme responsable de cet échec.

De plus, il apparaît indispensable d'établir un planning d'utilisation d'herbicide à l'échelle du bassin versant, notamment en lien avec la saisonnalité, pour assurer qu'aucun pic de pollution ne vient perturber la capacité de cette ST3 à réduire la pollution herbicide.

2.4.4. Comparaison entre les situations-types

Tout d'abord, grâce à la simulation de l'utilisation de certains concepts dans le jeu sérieux, nous avons pu créer des connaissances qui rendent ces concepts plus opérationnels qu'à l'issue de la phase KC. Nous avons abouti à trois ST qui répondent à la problématique de la thèse car elles présentent des innovations agronomiques organisationnelles, dont les combinaisons spatiales et temporelles permettent de réduire la pollution herbicide de la rivière. De ces succès, on distingue des conditions sous-jacentes que doivent observer les acteurs pour réussir à réduire efficacement cette pollution.

Ces trois ST présentent un degré croissant de règles sur l'usage herbicide, allant d'une situation libérale où la réduction est uniquement le fait de choix individuels (ST1), en passant par une réglementation volontaire avec la création d'une charte qui régleme l'utilisation des agriculteurs membres (ST2), à une réglementation stricte émanant des instances de l'Etat, qui régit le droit d'usage herbicide en fonction de critères pédoclimatiques (ST3). En comparant ces trois situations, on observe des leviers qui concernent davantage certaines ST, tandis que d'autres apparaissent prioritaires pour toutes les ST. Ces leviers sont résumés dans le Tableau 22 suivant :

Tableau 22: résumé des leviers pour aider les ST à la réduction d'herbicide, en fonction des ST principalement concernées

Leviers principaux	Situation-type concernée		
	ST1	ST2	ST3
Volonté des agriculteurs de réduire leurs usages herbicides	X	X	X
Compenser la baisse de main d'œuvre	X		X
Eviter les utilisations simultanées d'herbicides sur le territoire	X	X	X
Compenser les pertes financières		X	

Il apparait qu'augmenter la volonté des agriculteurs et éviter l'utilisation simultanée d'herbicide sur le territoire sont des leviers nécessaires à la réduction effective de la pollution herbicide, peu importe la combinaison des innovations organisationnelles sur le territoire et le degré de règles sur la réduction au sein des exploitations. La ST2, grâce au prestataire de service d'une part, et à l'absence d'innovations organisationnelles qui demandent de la main d'œuvre d'autre part (comme l'écotourisme), est la seule ST qui ne nécessite pas une compensation de la main d'œuvre pour la mise en place de solutions alternatives. Cependant, elle est également la seule qui demande à compenser d'éventuelles pertes financières, dû principalement à une tolérance parfois trop grande des agriculteurs pour un enherbement compétitif sur leurs parcelles. Les ST1 et 3 présentent un profil inversé avec ST2, avec des compensations financières qui semblent suffisantes mais un manque de force de travail qu'il faut combler. On en conclut que si les trois ST nécessitent des leviers, la ST2 est la seule qui répondent positivement au besoin principal émis par les agriculteurs de diminuer le temps de travail accordé à la gestion de l'enherbement, bien que cette ST2 nécessite de réfléchir à comment assurer la viabilité économique des exploitations. Le jeu n'a pas permis de le modéliser, mais une partie des réponses peut déjà se situer dans l'impact de ce temps de travail supplémentaire sur la rentabilité de l'exploitation, avec des agriculteurs qui auront davantage le temps pour d'autres tâches au champ ou pour améliorer la commercialisation de leurs denrées. Une autre partie des réponses peut se situer dans la façon dont les deux autres ST (1 et 3) assurent l'augmentation des ressources financières de leurs exploitations, à l'aide de subventions ou de diversification de l'activité (agricole et non agricole) de l'exploitation.

Ainsi, il semble qu'une solution pour optimiser un scénario, afin qu'il dispose de ces 4 leviers identifiés, réside dans la combinaison de ces trois ST.

Les ST poussées à l'extrême, par exemple lors d'utilisations simultanées ou lorsque les agriculteurs ne tiennent pas du tout compte de leur risque de transfert (taille de l'exploitation, distance à la rivière, zone pédoclimatiques), montrent que la réussite des ST sur la pollution de la rivière est en partie dépendante d'une diminution de l'usage herbicides globale chez l'ensemble des participants. Ceci nous amène à comparer les ST selon leur capacité à réduire l'usage herbicide à la parcelle. Sur ce critère, les ST2 et 3 réduisent drastiquement l'utilisation d'herbicide à la parcelle chez les agriculteurs concernés, tandis qu'on observe une augmentation sur l'utilisation globale en ST1. Sur ce point, les ST2 et 3 répondent mieux à l'objectif, mais peuvent présenter des difficultés pour les agriculteurs qui souhaitent mettre des stratégies de réduction sur le long terme (comme la mise en place de plante de couverture) ou qui rencontrent des difficultés liées à des ressources limitées. La ST1, bien qu'elle aboutisse à une légère augmentation de l'utilisation globale d'herbicide, permet néanmoins la diminution de la pollution de la rivière par (i) une diminution drastique globale qui permet d'absorber un surplus d'usages chez certaines, (ii) une diminution chez les agriculteurs qui présentent le risque de transfert le plus important, associé à un usage excessif chez de petits agriculteurs éloignés à faible capacité de transfert. Là aussi, il semble que la combinaison des trois ST permettrait d'aboutir à une situation plus optimale, qui répondrait à la fois à la nécessité de réduire la pollution de la rivière, mais aussi qui admettrait une certaine souplesse pour répondre à des besoins et des contraintes hétérogènes chez les agriculteurs du bassin versant.

On en conclut d'une part que la réussite de ces ST est soumise à plusieurs conditions que nous avons déterminées, et d'autre part qu'une solution plus optimale pour l'ensemble des critères considérés pourrait émerger de la combinaison de ces trois ST. On peut déjà émettre l'hypothèse que cette situation optimale ferait appel à un degré de règles intermédiaire, car une réglementation trop restrictive, basée sur des connaissances partielles, peut aboutir à un échec dans la réduction de la pollution et mettre des exploitations agricoles en difficulté. A l'inverse, l'absence de règle implique que les agriculteurs présentent individuellement une volonté forte de réduire les herbicides, ce que rien ne vient garantir. Une certaine valorisation de l'effort, soit du produit soit du territoire, peut développer chez les acteurs la volonté de diminuer les herbicides, tout en disposant de règles plus souples pour permettre au plus grand nombre d'arriver à réduire ses usages herbicides. On observe ainsi dans le jeu que certaines innovations organisationnelles ont fait l'objet de discussions, afin d'ajouter des règles spécifiques à l'usage herbicide, tout en observant une certaine souplesse sur les règles d'accès à ces services. Cette souplesse s'est basée sur une répartition des efforts en ressources consenties entre exploitations hétérogènes.

Nous discuterons de ces différents freins et leviers révélés par le jeu sérieux dans le chapitre suivant, ainsi que des choix méthodologiques sur le réalisme du jeu qui ont pu influencer sa capacité à générer des connaissances et des apprentissages chez les acteurs.

Chapitre 6 : Discussion générale

A l'issue du dispositif mis en œuvre dans la thèse, nous avons réussi à concevoir, avec les acteurs du bassin versant, des innovations territoriales originales qui permettraient de réduire la présence d'herbicide dans la rivière. Ces résultats peuvent être discutés sous trois points de vue, à savoir scientifique (partie 1), méthodologique (partie 2) et opérationnel (partie 3).

1. Les résultats scientifiques

1.1. Diagnostic du système sociotechnique sur l'innovation en gestion de l'enherbement en Martinique

Notre étude a permis de répondre à la première sous-hypothèse de la thèse, en montrant que le régime dominant de production et d'innovation dans l'agriculture martiniquaise est régi par les objectifs et des dépendances au chemin des filières agricoles.

Une dynamique d'innovation qui s'opère principalement au sein des filières

A travers nos résultats, on a pu voir que l'innovation s'opérait quasi exclusivement au sein des filières, où l'existence de cadrages organisationnels est un moteur important de la transition écologique. C'est notamment le cas du Plan Banane Durable, qui est un cadre organisationnel puissant d'innovations au sein du régime de production et d'innovation en banane dans lequel il a, par exemple, imposé la rotation jachère-vitroplants comme une norme dans les exploitations. Ce programme tente aujourd'hui d'amener les plantes de couverture en association au sein du régime. Cette situation est bien conforme au modèle de la Perspective Multiniveaux associé aux théories de la transition (Geels, 2004; Loorbach, 2007) et à sa transposition dans le monde agricole (Lamine, 2012), travaux dans lesquels les auteurs notent que les pressions exercées sur le régime par le paysage favorisent l'émergence d'innovations dans le régime. A l'inverse, nous n'avons pas observé de tels phénomènes en diversification ou en canne, cette dernière subissant pourtant de fortes contraintes en matière d'interdiction de molécules herbicides. Nos résultats montrent que pour que le changement du régime concerne vraiment toute la filière, il est nécessaire qu'en plus d'une pression du paysage, la filière concernée présente une structure organisationnelle solide capable de transmettre la pression du changement à toutes ses composantes. C'est le cas de la filière banane, mais ce n'est pas le cas de la canne, et encore moins de l'agriculture de diversification.

Nos résultats montrent que cette différence structurelle réside en grande partie dans la présence d'acteurs centralisateurs à forte légitimité dans les filières. On l'a vu, de tels acteurs sont très présents dans la filière banane, et sont garants des intérêts des agriculteurs.

Moins nombreux et moins bien structurés en canne et en diversification, ils disposent de moins de force de négociation pour représenter les agriculteurs (quand ce type d'acteur existe, ce qui est rare en diversification). Ces acteurs centraux sont déterminants dans l'élaboration des représentations de l'évolution future que la filière doit opérer. Dans la filière banane, les acteurs du conseil et de la recherche influencent vraiment les trajectoires d'évolution des exploitations agricoles (Deffontaines, 2016). Ces observations rejoignent le constat de Lamine et al (Lamine et al., 2019a), sur le fait que la vision de la transition écologique que portent les acteurs les plus légitimes a un fort impact sur l'émergence et la direction des transitions durables.

Il reste que l'on observe aussi des phénomènes de différenciation qui, selon Lamine et al (Lamine et al., 2019a), sont le fait de conflits entre différentes visions du futur des acteurs. Nos résultats montrent que ces phénomènes de différenciation sont d'autant plus fréquents que la présence d'acteurs à forte légitimité est faible. Par exemple, en agriculture de diversification, de nombreux acteurs possèdent chacun leur vision propre de la transition écologique, mais aucune ne semble l'emporter sur les autres. Ceci aboutit à une atomisation de systèmes de production, voire à des systèmes qui utilisent beaucoup d'herbicides, régis par des règles propres à chaque groupe d'acteurs, définies par exemple dans des chartes plus ou moins formalisées. Mais même quand des acteurs à forte légitimité sont identifiés, on peut observer des phénomènes de différenciation comme en banane et en canne, avec des agriculteurs innovants qui se sont désolidarisés du régime de production dominant en se convertissant à l'agriculture biologique. La demande très forte en produits de l'AB, et la forte protection fournie par le label, sont des leviers puissants pour soutenir cet écart avec le régime dominant, potentiel levier de transition. Comme le note Lamine (2012), ces « niches » ne touchent qu'une faible partie des acteurs de ce système, et leur pouvoir « transformateur » d'une plus large partie des systèmes de production n'est pas aussi décisif pour les transitions du régime que semble le dire la théorie des transitions.

Des freins qui confirment l'installation de dépendances au chemin de l'exploitation agricole au marché en passant par l'aval des filières

Nos résultats montrent que les exploitations en canne et banane ont d'autant moins de marge de manœuvre dans le changement que ces filières présentent des similitudes structurelles et sont soumises à une dépendance importante aux subventions européennes. Elles sont organisées de sorte à gérer un volume important de production autour d'une seule culture de rente pour permettre des économies d'échelle, par exemple dans le prix du fret maritime en banane, ou encore dans la réduction des coûts de la transformation de la canne. A la lecture de Meynard et al., (Meynard et al., 2018) on peut supposer que l'organisation de ces filières s'apparente à celles de grandes cultures métropolitaines, qui présentent des blocages au changement (notamment à la diversification) en raison des rendements croissants à l'adoption des cultures majeures, ces derniers permettant des économies d'échelle importantes au fur et à mesure que ces systèmes sont adoptés (Fares et al., 2012b; Labarthe, 2010).

Cependant, ces économies d'échelle ne suffisent pas dans le cas de la banane et de la canne en Martinique pour s'autonomiser des subventions européennes. Les règles d'obtention de celles-ci peuvent venir encore resserrer le champ des innovations possibles en imposant, pour la banane en particulier, un quota de production à atteindre pour obtenir la totalité des subventions. Ces conditions renforcent, selon Lamine et al (Lamine et al., 2009), l'aversion au risque des agriculteurs, peu enclins à envisager des changements qui les feraient passer sous leurs quotas.

Par ailleurs, à l'échelle des exploitations, nous montrons que la capacité à s'éloigner de l'utilisation d'herbicides est fonction de leur degré de dépendance, construit historiquement, à la mécanisation et à l'usage d'herbicides. Ainsi, les grandes exploitations de canne présentent notamment des dépendances au chemin proches de celles qu'identifient Cowan et Gunby (Cowan and Gunby, 1996), à savoir un degré élevé de mécanisation du système de production (qui implique des investissements à long terme), associé à un niveau de dépendance élevé à l'utilisation d'herbicides chimiques, ce qui explique la difficulté de ces exploitations à s'éloigner de l'usage d'herbicides. Beaucoup d'exploitations en diversification ne présentent pas ce profil fortement mécanisé, et la dépendance à l'herbicide y est très hétérogène. Leurs faibles moyens d'investissement leur donnent finalement une plus grande flexibilité sur certains changements agronomiques, qui peuvent ne pas être agroécologiques. D'autant plus que les profils des exploitations peuvent fortement varier en Martinique, de la petite exploitation vivrière (présente sur le bassin versant par exemple) à la grosse exploitation intensive. On remarque également que la filière banane ne dispose pas d'un degré élevé de mécanisation, et elle reste pourtant très dépendante de l'usage d'herbicides

Pour la banane, les freins semblent davantage situés en aval de la production. Ainsi, nous avons montré que cette filière est soumise à un régime de production qui accorde une grande importance à la qualité visuelle et organoleptique des fruits, comme dans d'autres filières horticoles. Ces normes conduisent, entre autres, les agriculteurs à désherber fréquemment leurs parcelles et les freinent dans l'adoption de pratiques qui risqueraient de déclasser leurs fruits. Ces normes sont d'autant plus difficiles à faire bouger qu'elles s'exercent sur un type variétal unique ou presque (la Cavendish), cette étroitesse génétique laissant peu de marges de manœuvre pour des stratégies de mosaïques variétales comme le montrent aussi Meynard et al (Meynard et al., 2018) pour les grandes cultures. Pour se démarquer de cette norme exigeante, les acteurs ont d'abord cherché à valoriser la qualité spécifique d'une « banane française » qui justifie un prix plus élevé du produit. Récemment, les acteurs se sont tournés vers une labellisation des méthodes de production agroécologiques, en favorisant la conversion des exploitations vers l'Agriculture Biologique. Selon les résultats de Belmin (Belmin, 2016), la mise en place de label peut effectivement pallier ces standards limitants de qualité, en assurant une valorisation à des produits qui pourraient facilement être déclassés sur des standards qualité.

Pour la filière canne, l'aval de la filière peut également constituer un frein à la mise en place d'innovation. Mais ici, ceci est surtout le fait d'une mauvaise répartition de la valeur ajoutée, au bénéfice des transformateurs (Fares et al., 2012a), alors que Lamine (Lamine, 2012) rapporte qu'un partage plus équitable entre les acteurs d'une filière facilite la mise en œuvre d'innovations permettant d'opérer les changements à une grande échelle.

Une organisation de la R&D agricole qui pèse fortement sur les capacités de production de connaissances transversales aux filières

L'étude des réseaux d'acteurs, formels et informels montrent que l'offre en recherche et conseil diffère fortement selon la filière d'appartenance. Ce déséquilibre dans les moyens cognitifs et financiers de R&D génère une différenciation des changements de pratiques agroécologiques sur le territoire. Cette différenciation n'est alors pas en lien avec les caractéristiques intrinsèques de la dimension spatiale du territoire (zone de contribution, proximité avec la rivière etc.), mais avec la filière agricole d'appartenance. Aussi, la cartographie des changements agroécologiques dans les exploitations agricoles du bassin versant du Galion est plutôt le fait de ce déséquilibre entre les R&D des différentes filières. Ce type de différenciation a également été remarqué dans d'autres études, comme le montre l'étude de Biarnès et al (Biarnès et al., 2009) dans un territoire viticole du Languedoc. Or, l'accompagnement technique est clé dans l'apprentissage des acteurs favorisant une transition écologique selon Lamine et al (Lamine et al., 2009). Nous avons pu voir que les acteurs du conseil agricole accumulent des connaissances sur certaines innovations plutôt que d'autres, ce qui selon Labarthe (Labarthe, 2010) peut renforcer le verrouillage technologique et l'orientation des transitions écologiques des filières agricoles. Ainsi, les exploitations du bassin versant s'orientent dans une transition écologique décidée à l'échelle de la filière, en suivant ses dépendances au chemin. Et même si les agriculteurs interrogés affirment que les réseaux d'agriculteurs représentent leur source cognitive privilégiée, constat également fait dans d'autres contextes de transition agroécologiques (Lamine et al., 2009), ces réseaux restent sectorisés par filière. On n'observe donc pas de changements coordonnés entre les exploitations du bassin versant car il n'existe pas de dynamique de transition agricole qui soit transversale aux exploitations agricoles des différentes filières présentes. Ceci freine fortement la création de connaissances et l'émergence de solutions à l'échelle du bassin versant pour réduire une pollution diffuse, qui relie des exploitations de filières différentes par des processus physiques de transfert.

Des freins spécifiques à l'insularité

Enfin, nos résultats montrent que l'insularité, tant physique que politique en tant que territoire tropical ultramarin, est porteuse de conditions spécifiques vis-à-vis de l'innovation. La taille restreinte du marché que représentent les Antilles françaises diminue leur force de négociation dans les prix des intrants (notamment pour les semences de plantes de couverture).

Les freins au développement de la mécanisation de la fauche sont pour partie liés à la spécificité de systèmes cultureux, tropicaux et de petites surfaces (peu de machines adaptées, absence de Service-après-Vente locaux).

Les connaissances manquent sur des cultures soumises à la double contrainte d'un climat tropical et d'une législation européenne très restrictive en matière d'herbicides. Nos résultats montrent que ces phénomènes sont d'autant plus accentués que l'innovation (et ses besoins en recherche et en intrants) se différencient par filière. Des études spécifiques à la transition écologique dans des contextes insulaires, à l'instar de Erdinc et al (Erdinc et al., 2015), indiquent que les îles, de par leur forte dépendance aux produits importés nécessaires à leur activité économique (dans notre cas les intrants agricoles), nécessitent des projets de recherche et de développement focalisés sur ces systèmes insulaires pour développer des solutions spécifiquement applicables à ces territoires. Les auteurs proposent également que les décideurs et les chercheurs de ces territoires développent une coopération mondiale pour partager leur expérience dans la façon de surmonter les inconvénients des structures insulaires.

Finalement, comme le montrent Belmin et al (2018), travaillant sur l'AOP « Clémentine de Corse », cette analyse du diagnostic du système sociotechnique nous permet de rendre visible les tensions entre le régime et les niches, entre les freins et les amorces de leviers, dans un processus visant à aider les acteurs à expliciter plus clairement leurs trajectoires d'innovation (Belmin et al., 2018). Nous rajoutons qu'en abordant ce diagnostic simultanément sur les différentes productions du territoire, il devient un outil puissant pour souligner les dépendances au chemin héritées d'approches en « silos », et pour espérer ouvrir le champ des chemins de transition vers des systèmes plus agroécologiques, en rendant visibles des leviers plus transversaux au sein des territoires (au minimum : développement réellement collectif et coordonné entre filières des plantes de couverture pour, entre autres, peser sur le marché des semences et ainsi diminuer leur prix ; coordination des recherches en mécanisation pour, entre autres, encourager certains fabricants à implanter des services après-vente adaptés aux besoins locaux).

1.2. Des innovations en rupture pour réduire la pollution herbicide

A l'aide du dispositif de conception mis en œuvre dans cette thèse, nous avons pu co-construire avec les acteurs qui nous ont accompagnés, des solutions territoriales qui réduisent la concentration d'herbicides dans la rivière du Galion.

Au cours des ateliers rapportés dans le chapitre 4, les acteurs ont réussi à dépasser leurs effets de fixation avec plus ou moins de succès, ce qui a permis de produire 15 nouveaux concepts, soit 15 propositions d'innovations dont 12 concernent directement la création de nouvelles organisations entre acteurs. Ces innovations suggèrent de nouveaux modes de partage de connaissances, transversaux aux filières agricoles, ce qui implique de nouveaux réseaux, et donc des solutions qui dépassent l'échelle de l'exploitation agricole.

Grâce à ces nouveaux concepts, nous avons pu établir dans l'espace K, d'une part des manques de connaissances à combler pour continuer l'exploration de ces concepts, et d'autre part de nouveaux critères d'évaluation sur l'objectif final de la conception.

Dans le Jeu sérieux (chapitre 5), nous avons pu approfondir la conception de six de ces nouveaux concepts en simulant leur mise en œuvre sur le territoire du Galion. A l'issue de ces simulations, nous avons distingué trois situations-types proposant de nouvelles organisations d'acteurs qui participent activement à réduire les herbicides dans la rivière et sont évaluées au regard des autres critères d'évaluation formulés par les acteurs.

Nous discutons ci-dessous : l'évolution des connaissances nécessaires qui pointent des besoins en matière de recherche et d'accompagnement agricole (1.2.1), la prédominance de concepts de nature organisationnelle émergeant des ateliers (1.2.2), et les conditions sous-jacentes auxquelles sont soumises les situations-types pour assurer la diminution de la pollution (1.2.3).

1.2.1. Evolution de l'espace des connaissances

Au cours des ateliers KC, nous avons suivi l'évolution de l'espace des connaissances. Les ateliers ont notamment révélé des connaissances importantes pour évaluer les innovations, au regard des attentes des acteurs. Mais ils ont également révélé des manques de connaissances qui ont entravé la réflexion des acteurs et qu'il faudrait combler pour continuer à approfondir les concepts novateurs.

Tout d'abord, les ateliers ont révélé un certain manque de connaissances sur des innovations à la parcelle, qui font douter les acteurs de leur efficacité, alors même que les concepts semblent intéresser les agriculteurs. C'est notamment le cas des innovations qui se situent en dehors du « champ » des filières monoculturelles, à savoir l'association avec l'élevage et la diversification des cultures de rente. Pour la question de l'élevage, les incertitudes portent par exemple sur les dommages potentiels des animaux sur la culture de rente. Il y a bien, en Martinique, une dynamique de recherche sur l'association verger-volaille (Lavigne et al., 2012), mais l'association avec des moutons, qui semble intéresser particulièrement les agriculteurs en raison de leur appétence pour les lianes, est peu étudiée hormis par quelques agriculteurs innovants et quelques essais anecdotiques d'acteurs du conseil et de la recherche. Pour la diversification des cultures, les filières du secteur agricole diversifié ont des connaissances nombreuses, mais difficiles à comparer, à transférer, car très dépendantes des conditions de leur élaboration par des sources variées (agriculteurs, instituts techniques, recherche), et atomisées. En ce qui concerne les filières monoculturelles, peu de données existent, hormis, là encore, chez quelques agriculteurs innovants. Toutes les conditions d'approches du type « traque aux innovations » (Salembier et al., 2016; Verret et al., 2019) sont réunies pour détecter des connaissances empiriques auprès d'agriculteurs, et les adapter aux objectifs, systèmes et critères de satisfaction formulés par les agriculteurs.

Ceci sous réserve de brasser très largement les agriculteurs d'un même territoire au-delà de leurs réseaux-filières habituels, et de prendre en compte les questions de débouchés que ces nouveaux produits peuvent poser, question récurrente des processus de diversification (Meynard et al., 2018). Cette question de la commercialisation est commune, à la fois au secteur « diversifié » qui rencontre des problèmes pour assurer la commercialisation des denrées, et aux secteurs monoculturaux qui exportent la majorité de leurs productions. Une solution envisageable, et qui a soulevé beaucoup d'interrogations chez les acteurs lors de l'atelier K, est de coupler les innovations agronomiques entre la production, la transformation et/ou les utilisateurs (grande distribution, négociants, etc.), de manière à s'assurer d'un débouché qui valorise les techniques agroécologiques (Meynard et al., 2017). Nous suggérons que cette recherche d'innovations couplées favorise la diversification des systèmes avec d'autres cultures et/ou de l'élevage en Martinique.

D'autres manques de connaissances se sont avérés limitants, en particulier ceux portant sur les formes d'organisations agricoles qui renforceraient la mutualisation entre exploitations agricoles. Au cours des explorations, les acteurs sont restés cantonnés à des formes connues d'organisations agricoles, par exemple le groupement d'employeurs ou la CUMA. Mais ils (surtout les agriculteurs) ont fait part de leur frustration de manquer de références sur d'autres formes d'organisation existantes, et de connaissances pour en construire de nouvelles. D'après Requier-Desjardins et al (Requier-Desjardins et al., 2014), la production agricole montre un développement des structures productives en réseaux, qui font appel à de nouvelles formes de sous-traitance (location de terres, recours à de la prestation de services). Dans certains exemples métropolitains (ici en élevage), ces recompositions de formes d'organisations collectives créent de l'interconnaissance et une confiance mutuelle entre agriculteurs (Cariou and Fourdin, 2015). Selon ces mêmes auteurs, ces nouvelles formes d'organisations peuvent inspirer les agents chargés d'accompagner les dynamiques collectives de proximité entre agriculteurs, à condition de développer de nouvelles compétences (juridiques, animation, gestion des conflits, etc.).

1.2.2. La nature organisationnelle des innovations, induites par le concept initial

Dans nos résultats, les innovations qui ont émergé sont massivement d'ordre organisationnel, c'est-à-dire qu'elles proposent de nouvelles organisations entre les acteurs du bassin et parfois en dehors, pour se coordonner, partager ou mutualiser entre exploitations agricoles. On se pose ici la question de ce qui a pu induire les acteurs à proposer des innovations organisationnelles plutôt que techniques ou technologiques. D'après la méthode KC utilisée, ces propositions de nouveaux concepts devaient s'inscrire dans le C0, à savoir un bassin versant avec une faible concentration d'herbicides agricoles dans sa rivière. Pour ce faire, nous avons orienté les acteurs sur une réflexion à l'échelle du bassin versant, à partir de trois concepts projecteurs de type organisationnel situés à cette échelle (Union de producteurs, université, filière). Nous pensons ici que la formalisation de ces concepts a orienté les acteurs à proposer principalement des innovations organisationnelles.

En observant d'autres études, comme par exemple celle de Berthet (Berthet, 2013), le concept initial de l'exploration associait un objet agronomique à une échelle paysagère. Ceci a abouti à des concepts de réorganisation spatiale de l'objet agronomique et à des coordinations entre agriculteurs. A l'inverse, dans une autre étude comme celle de Pluchinotta et al (Pluchinotta et al., 2019), les auteurs ont cherché à concevoir de nouvelles politiques de gestion de l'eau souterraine. Pour autant, un certain nombre d'innovations émises ont été d'ordre technologique, à l'échelle de la parcelle. Ici, les concepteurs n'ont pas cherché à rediscuter en priorité l'échelle des innovations, mais ont formé un concept initial qui rediscute les besoins des acteurs en eau (Pluchinotta et al., 2019). Il apparaît que la dimension organisationnelle principalement présente dans les concepts novateurs de cette thèse est liée à deux phénomènes : (i) d'une part à la propriété principale que le concept initial et les concepts projecteurs cherchent à discuter (besoin des acteurs ou échelle de réflexion par exemple), (ii) d'autre part à l'ouverture de l'échelle de conception. Nous sommes en droit de penser que l'ouverture de l'échelle de réflexion oriente principalement vers des réorganisations entre acteurs du fait que, selon Berthet (Berthet, 2013), le processus d'exploration à l'échelle d'un socio-écosystème permet de rendre visible les interdépendances entre les acteurs du territoire. Selon ce même auteur, ceci implique que le socio-écosystème à concevoir émerge comme un support de ces interdépendances. On peut avancer l'idée que la mise en lumière de ces interrelations fait émerger chez les acteurs la nécessité de coordonner leurs activités, en fonction des conséquences qu'elles auront sur le reste du système.

1.2.3. Les conditions sous-jacentes pour l'expression des innovations organisationnelles

Comme nous l'avons défini en chapitre 1, le système étudié ici est de nature complexe et évolue en permanence. Il est difficilement prévisible d'évaluer l'effet de la conjonction des décisions de traitement des agriculteurs, même à l'aide d'un modèle sophistiqué, en raison d'une double complexité des déterminants de la distribution des utilisations d'herbicides, à la fois spatiale et temporelle. Cette incertitude forte implique qu'il est difficile de certifier que les innovations testées lors du jeu sérieux vont permettre de réduire efficacement les impacts en passant en conditions réelles. On peut donc se demander quels leviers peuvent être activés pour réduire cette incertitude. Selon Michel Callon et Pierre Lascoumes, il est possible de pallier les incertitudes par une réflexion collective et démocratique sur le choix des alternatives (Callon and Barthe, 2005), ce que nous avons cherché à faire à l'aide d'une conception collective. Mais quelles caractéristiques des systèmes testés doivent être débattues ?

D'après les résultats du jeu sérieux, il semble essentiel de s'interroger sur la représentation plus ou moins partagée de l'enherbement des parcelles entre exploitants, car une représentation partagée d'un problème est un préalable indispensable à une décision collective pertinente pour le développement territorial (Tonneau et al., 2017). Pour avoir une vision partagée, cela implique de développer de nouvelles interactions entre acteurs, qui sont de deux types dans le jeu sérieux : coordination et mutualisation.

L'impact des représentations des agriculteurs sur l'enherbement et les herbicides

Nos résultats ont montré que la tolérance à l'enherbement est un facteur important à considérer dans la réduction de l'usage herbicide, bien qu'elle soit hétérogène entre les agriculteurs. Au cours du jeu, la quasi-totalité des participants ont montré une volonté de réduire l'utilisation d'herbicides, avec des degrés variables d'intensité, souvent associés à une plus ou moins grande tolérance à l'enherbement sur les parcelles. Ce phénomène correspond à des observations effectuées chez les agriculteurs du bassin versant du Galion. Deux études ont montré que les agriculteurs ont une tolérance à l'enherbement qui varie d'une part en fonction du stade de croissance de la culture (faible tolérance lorsque les plantes cultivées sont jeunes par exemple, (Brykalski, 2015)), d'autre part en fonction d'indicateurs propres à chaque agriculteur du risque associé aux adventices. Par exemple, la hauteur de l'herbe est souvent un élément déclencheur d'un chantier de désherbage, mais la hauteur considérée comme tolérable est variable selon les agriculteurs (Brykalski, 2015; Mence, 2016). Selon Slovic (Slovic, 1987), ces différences dépendent des représentations individuelles des acteurs, dans notre cas des agriculteurs, qui se forment selon l'expérience et la perception du risque, ici de l'enherbement sur le rendement. Ceci va influencer sur ce que ces agriculteurs vont considérer comme une approche acceptable pour atténuer le risque, comme le montre Slovic (Slovic, 1987) dans des conditions différentes du milieu agricole. Ainsi, de plus en plus d'études en agronomie s'accordent sur l'importance des représentations des agriculteurs dans le changement de pratiques (Abdollahzadeh et al., 2015; Van Thanh and Yapwattanaphun, 2015) et constatent la prévalence des perceptions des effets négatifs de l'enherbement sur les effets positifs de la richesse floristique qui peut y être associée (Cordeau and Schwartz, 2017).

Ces représentations peuvent être difficiles à faire évoluer, comme en témoignent les réticences des agriculteurs de canne à adopter des pratiques qui favoriseraient un enherbement, même contrôlé, dans leurs parcelles. Wilson et al. (2008) mettent en avant une difficile perception des facteurs humains en cause dans la dispersion des adventices, une préférence pour le contrôle au détriment de la prévention, et plus généralement une difficulté à reconnaître certains bénéfices écologiques de ces plantes (Wilson et al., 2008), dont il est reconnu que les effets positifs sont mal renseignés dans la littérature et dans le conseil (DiTommaso et al., 2016). Inversement, Wilson et al (2008), indiquent que les agriculteurs interrogés perçoivent les herbicides comme un outil de gestion très rentable et peu risqué, ce qui entrave également l'adoption d'alternatives (Wilson et al., 2008). Ce dernier point a sans doute évolué sous l'effet de la crise de la chlordécone aux Antilles.

Finalement, dans la filière banane, les acteurs évoquent un récent changement de représentation de l'enherbement chez les agriculteurs. Ceci en raison d'une communication importante effectuée par les acteurs de la recherche et du conseil de la filière banane sur les bénéfices que les plantes de couverture pouvaient avoir sur la conservation du sol. Non seulement cela a amélioré la tolérance des agriculteurs à l'enherbement mais ils ont, pour certains, substitué aux plantes de couverture exogènes la sélection *in situ* d'adventices reconnues pour leurs services écologiques.

Ces résultats rejoignent les conclusions de Wilson et al (Wilson et al., 2008) sur la durée indispensable et l'encadrement nécessaire à ces apprentissages pour réduire l'aversion au risque des agriculteurs, dans une gestion des adventices réduisant l'usage d'herbicide. Mais les résultats du jeu sérieux nous ont montré qu'il était également possible d'encourager la diminution d'herbicide par la mise en place de règles pour gérer la coordination des usages entre agriculteurs.

La coordination entre les agriculteurs

A l'issue du jeu sérieux, nous avons montré que le succès des situations-types est pour partie corrélé à la localisation et à la taille des exploitations du bassin versant qui choisissent de diminuer l'usage d'herbicides. Ces résultats sont reliés à la complexité à la fois des choix opérés à l'échelle de l'exploitation agricole, ainsi que des processus de transfert d'herbicides vers la rivière. On peut donc se demander s'il est nécessaire d'impliquer tous les agriculteurs dans la réduction des herbicides sur le bassin versant.

A l'échelle de l'exploitation, la complexité des systèmes agricoles, soumis à des aléas climatiques et logistiques, implique que l'utilisation des herbicides ne peut pas se prévoir sur du très long terme. C'est ce qu'on a pu observer dans le jeu, avec la plupart des participants qui ont privilégié l'information à l'échelle parcellaire pour effectuer leurs choix de pratiques. Cela rejoint d'autres observations, à l'instar de Tortrat (Tortrat, 2005), où l'auteur montre que, sur son territoire d'étude, les conditions climatiques sont un facteur principal dans le déclenchement de pratiques herbicides.

A l'échelle du bassin versant, les résultats sur la pollution herbicide de la rivière ont également montré la complexité des phénomènes de transfert, qui induit une variabilité importante de l'impact des exploitations sur la pollution. Ce qui peut s'expliquer selon Mottes (Mottes, 2013) par le fait que la pollution d'une rivière par les herbicides dépend à la fois des caractéristiques intrinsèques des molécules, et de la combinaison entre l'intensité d'application par les agriculteurs et le fonctionnement hydrologique du bassin versant.

Cette double complexité du système (à l'échelle de l'exploitation et du bassin versant), rend difficile la prédiction des effets des innovations en conditions réelles et l'établissement de modalités temporelles et spatiales de coordinations différenciées, *a priori*, entre agriculteurs. Pour autant, ce type de coordination a pu être proposé dans d'autres cas d'étude, notamment des coordinations temporelles dans Benoit et al, et Sausse et al (Benoît et al., 1999; Sausse et al., 2013) de désynchronisation des successions culturales ou des périodes de récoltes, ou une coordination spatiale comme dans Tournebize et al (Tournebize et al., 2017) où les auteurs ont défini des aménagements-types en fonction des zones pédoclimatiques des agriculteurs. Il est possible de s'inspirer de ce type de travaux pour établir les modalités de fonctionnement d'une coordination d'usage herbicide sur le bassin versant du Galion, entre les agriculteurs. Mais nous pouvons nous interroger sur la mise en place effective d'une coordination sur notre territoire qui comprend 141 exploitations.

Une autre solution résiderait dans la diminution globale de l'utilisation d'herbicide. Le jeu sérieux nous a montré que l'effectivité des différentes situations-types sur la réduction de la pollution de la rivière était surtout corrélée à une diminution d'usage herbicide dans la quasi-totalité des exploitations. On a pu voir que cette diminution globale chez la plupart des participants permettait, dans une certaine mesure, de diminuer l'impact d'une surutilisation ponctuelle d'herbicides par d'autres participants. Nos résultats montrent néanmoins que ce phénomène de compensation reste dépendant de la localisation et de la taille des exploitations qui ont des usages excessifs, ainsi que la saison à laquelle ont lieu ces usages. Aussi, il apparaît une double nécessité pour assurer la qualité de l'eau de la rivière, celle d'encourager la diminution de l'usage chez un plus grand nombre, et celle de prévenir de potentiels usages excessifs chez certains. Dans le jeu, cela s'est traduit par la mise en place de règles, plus ou moins coercitives, sur l'utilisation des herbicides.

Au cours du jeu sérieux, on a pu observer deux types de règles pour réguler l'utilisation d'herbicides chez les exploitants. Tout d'abord des règles restrictives volontaires, dans l'innovation « bassin versant vitrine », où les exploitants acceptaient d'adhérer à une charte de bonnes pratiques, en échange d'une valorisation de leur production par un label. Ce scénario est celui qui répond le mieux aux critères d'évaluation des acteurs, tout en permettant de conserver une bonne qualité de l'eau. Ensuite, on a observé la mise en place d'une réglementation très restrictive qui, si elle a permis une amélioration drastique de la qualité de l'eau, a moins bien répondu aux attentes des acteurs sur d'autres critères. On peut donc se questionner sur la pertinence de ces deux types de règles dans la coordination des usages herbicides des agriculteurs.

Dans Allemand et al (Allemand et al., 2016), les auteurs expliquent que les règles dites souples (adhésion volontaire à des normes de qualités, des labels, etc.) répondent mieux à des contextes de fortes incertitudes sur l'effet de nouvelles règles sur le système, car elles favorisent l'apprentissage collectif sur l'effet et la modulation de ces règles. Ceci questionne par exemple l'actuelle orientation de l'Etat français qui évolue vers une réglementation plus coercitive, comme le montre l'exemple du milieu viticole (Raffray, 2019) où, dorénavant, les viticulteurs membres d'une IGP auront l'obligation de souscrire également à une certification environnementale type Agriculture Biologique ou Haute Valeur Environnementale (Raffray, 2019). Mais les règles souples peuvent amener à des comportements opportunistes de certains acteurs qui freinent l'obtention des bénéfices pour le collectif, ce qui est beaucoup moins le cas avec des réglementations strictes, assorties de sanctions lourdes. Cependant, les auteurs Allemand et al., (2016) affirment qu'il est possible de pallier les comportements opportunistes quand les acteurs partagent des valeurs communes, qui confèrent une légitimité à certaines actions (Allemand et al., 2016). Certains acteurs, au cours des ateliers, ont proposé d'inclure de telles valeurs lorsqu'ils ont discuté de la construction d'une identité propre au bassin versant.

Selon Houdart (2005), ce partage de valeurs et d'identité communes encourage le sentiment d'appartenance des acteurs à un territoire, ce qui peut favoriser l'établissement de projets de transition écologique à moyen et long terme (Houdart, 2005). D'une certaine façon, c'est ce que nous avons reproduit dans la simulation proposée dans le jeu.

La mutualisation entre agriculteurs

Dans le jeu sérieux, la mutualisation entre agriculteurs s'est avérée être un moyen plutôt efficace d'augmenter l'accès aux ressources pour aider à la mise en place de solutions alternatives, ou pour pallier d'éventuels effets négatifs de l'herbe sur le rendement.

Dans le jeu sérieux, certains participants ont éprouvé des difficultés à mettre en place des alternatives à l'herbicide, en raison du manque de force de travail. Pendant la phase KC de conception d'innovation, les acteurs (en particulier les agriculteurs) ont indiqué que l'augmentation de la demande en main d'œuvre était le frein principal au changement dans les exploitations agricoles. Dans les ateliers KC et dans le jeu sérieux, les participants ont cherché à pallier ce manque de main d'œuvre en mutualisant cette ressource entre exploitations. Ceci s'est traduit notamment par le koudmen et le recours partagé à un prestataire de service en débroussaillage. Le jeu sérieux nous a permis de voir que ces deux innovations avaient répondu positivement aux attentes des participants, facilitant la mise en place de solutions alternatives chez les exploitants. Mais la représentation de la réalité dans le jeu sérieux étant limitée, on peut s'interroger sur la viabilité de ces deux innovations pour le territoire.

Tout d'abord, le besoin en main d'œuvre répond à un besoin chronique des exploitations agricoles. On constate en Martinique que le relief accidenté, associé aux conditions économiques, sociales et climatiques particulières à l'insularité, réduit la possibilité de substitution de la main d'œuvre par de la mécanisation (chapitre 3). Ceci rejoint les constatations faites en métropole par Harff et Lamarche (Harff and Lamarche, 1998) qui indiquent que le manque de main d'œuvre se fait particulièrement sentir depuis les années 1990, quand le développement de la mécanisation n'a plus suffi à remplacer la main d'œuvre manquante.

Le fonctionnement de ces systèmes mutualistes de main d'œuvre peut représenter des enjeux pour le développement économique du territoire, en augmentant l'offre d'emploi du territoire dans le secteur agricole. Mais la stabilité de l'emploi n'est pas toujours assurée dans ces types de mutualisation, en particulier concernant le groupement d'employeurs-agriculteurs qui aurait recours à de la prestation en débroussaillage. Pour stabiliser ces emplois, une certaine concertation entre les agriculteurs et une volonté sur le long terme serait nécessaire, ce qui n'est pas toujours vérifié comme l'ont montré Elyakime, et Harff et Lamarche (Elyakime, 2007; Harff and Lamarche, 1998), amenant à une offre d'emplois surtout précaires et dont les conditions d'exercice, de rémunération et de durabilité sont mal connus (Depeyrot et al., 2019).

Dans le koudmen, la concertation entre les exploitants est obligatoire puisque ce sont les agriculteurs qui doivent réussir à se coordonner ensemble pour aider chacune des exploitations à tour de rôle. Mais le manque de confiance entre les agriculteurs, dans le cadre de ce type de structure informelle, a régulièrement été cité par les agriculteurs du bassin comme un blocage au développement de telles organisations. Il existe d'autres types de partage de la main d'œuvre, à l'instar du « cercle d'échange » qui consiste à organiser des échanges de services payants entre exploitants, réunis en association privée avec cotisations annuelles (Harff and Lamarche, 1998). Cette évolution du cadre informel vers un cadre formel pourrait pallier en partie les problèmes de confiance entre agriculteurs de notre zone d'étude.

Au-delà de l'augmentation des ressources matérielles de l'exploitation, la formation de collectifs peut mutualiser les risques liés à la diminution du rendement. Les participants ont surtout exploré la possibilité de former des collectifs réunis autour d'une charte de bonnes pratiques ou d'un label avec le bassin versant vitrine. Les résultats ont montré que la situation-type associant les agriculteurs autour de ce type de label, à laquelle se sont ajoutés d'autres services comme la prestation de débroussaillage, répondait particulièrement bien à l'ensemble des critères d'évaluation. Mais le temps limité du jeu sérieux n'a pas permis de discuter des mécanismes de garantie qui vont de pair avec l'élaboration d'un label. On peut se demander, via la littérature, quelle(s) forme(s) pourraient prendre ces mécanismes pour qu'ils participent à la transition écologique du territoire.

Selon si ces mécanismes de garantie sont le fait de tiers ou du collectif d'agriculteurs associés dans le label, ils ne vont pas permettre de construire le collectif de la même façon. Selon Lemeilleur et Allaire (Lemeilleur and Allaire, 2018), il existe deux types de mécanismes de garantie : la certification par tierce partie qui fait suite à la reconnaissance et à la réglementation de certains labels type « Agriculture Biologique », et les systèmes participatifs de garantie qui considèrent que les pairs (producteurs) et leur communauté (autres acteurs impliqués) peuvent assurer la certification. Or, les certifications faites par des tiers peuvent être excluantes. C'est notamment ce qu'en disent les acteurs de notre territoire, en raison du coût élevé de la certification, qui peut exclure les exploitations à petite trésorerie. Cela peut aussi venir du fait que cette certification s'inscrit dans une logique de marché, ce qui supposerait que les producteurs certifiés ne coopèrent pas entre eux selon Lemeilleur et Allaire (Lemeilleur and Allaire, 2018). De notre point de vue, ce manque de coopération pourrait entraver la mise en place de mécanismes d'aides et/ou de tolérance pour des agriculteurs qui présentent des difficultés. Surtout si on considère que le bassin versant du Galion compte environ 70 petits producteurs (<5ha) qu'il convient d'inclure dans le label « bassin versant vitrine » pour faire de cette démarche une initiative qui mette en avant le territoire du bassin versant, et non pas quelques agriculteurs seulement. Un système participatif de certification apparaît comme une solution plus efficace pour le bassin versant du Galion qui, selon Lemeilleur et Allaire (Lemeilleur and Allaire, 2018), permet un processus continu d'apprentissage collectif grâce aux interactions fréquentes entre producteurs et autres acteurs.

Il peut aussi réduire les coûts de certification, par exemple lorsque l'audit de l'exploitation s'opère en échange d'un temps ensuite donné par l'exploitant pour le fonctionnement du label selon Lemeilleur et Allaire (Lemeilleur and Allaire, 2018).

Ensuite, ce type de label peut également s'appliquer au travers de contrats amont-aval des filières. Dans le processus de conception de la thèse, les acteurs ont imaginé une innovation consistant à diversifier une partie d'une exploitation en verger de fruits pour l'usine locale. Bien que les acteurs aient soutenu que ce contrat inclurait des bonnes pratiques herbicides, aucune règle spécifique sur cet usage n'a été associée à cette innovation dans le jeu sérieux. Cela a abouti à une utilisation très excessive d'herbicide par cet exploitant. On peut alors se demander quel type de règles il conviendrait de mettre en place pour pallier cet usage excessif. En métropole, des exemples de contrats hybrides mêlant qualité sanitaire des fruits et pratiques agricoles vertueuses ont été relatés dans la littérature. Selon Raynaud et al (Raynaud et al., 2005), ce type de label à destination du consommateur fonctionne seulement si les consommateurs ont confiance, ce qui implique de construire puis de conserver la réputation du label. Il apparaît donc nécessaire de s'assurer que les agriculteurs respectent bien le cahier des charges, en limitant les comportements opportunistes ou malhonnêtes par la mise en place de sanctions. Certains dispositifs au sein des Organisations de Producteurs proposent d'encourager les agriculteurs à prévenir en cas de doute à travers un système qui, si l'agriculteur admet avoir fait une faute, permet d'amoindrir la sanction commerciale (baisse du prix de la production, exclusion du label) (Bensaude-Vincent, 2004). On peut supposer que ce type de mutualisation des connaissances peut faciliter la construction de la confiance des consommateurs dans le cas d'un nouveau label, tout en favorisant la construction d'un collectif d'agriculteurs.

Ces résultats scientifiques montrent que nous avons répondu à la question de la thèse, en générant de nouvelles organisations territoriales innovantes des systèmes de production agricoles qui, sous conditions, permettraient de réduire la pollution herbicide de la rivière du Galion. Mais la question de la thèse porte également sur la proposition d'une méthodologie qui permette la construction collective de ces innovations. Nous allons maintenant discuter des apports et des limites de la démarche d'innovation proposée dans cette thèse, en quoi elle a permis ou limité la génération d'innovations territoriales efficaces.

2. Une méthode originale pour accompagner les transformations des pratiques dans un territoire

Après avoir discuté des faiblesses et atouts des différentes étapes dans le dispositif mis en œuvre (2.1), qui implique un questionnement sur les recherches-actions participatives modifiant le contexte étudié (2.2), nous proposons la reformulation d'une méthode de co-conception d'innovations agronomiques territoriales pour la réduction des externalités négatives de l'agriculture sur un territoire (2.3).

2.1. Difficultés et pistes d'amélioration de la méthode utilisée

2.1.1. Le diagnostic du système sociotechnique, adaptée à l'échelle d'un espace d'impact

Dans le dispositif de conception de cette thèse, nous avons cherché à re-territorialiser l'étude des systèmes sociotechniques. Mais nous nous sommes confrontés à deux difficultés, à savoir la difficulté de considérer la dimension spatiale du territoire dans le système sociotechnique, et le nombre important d'éléments à étudier dans la transition agricole d'un espace géographique qui comprend plusieurs filières agricoles.

La difficulté de prendre en compte les trois dimensions du territoire à travers le concept de système sociotechnique

A travers la formalisation d'un cadre théorique mêlant système sociotechnique et la triple dimension du territoire, nous avons cherché à combler le manque de spatialisation de la méthode du diagnostic sociotechnique (Belmin, 2016; Raven et al., 2012). Le cadre du système sociotechnique implique de regarder notamment les règles normatives et réglementaires qui s'appliquent au territoire. Ce constat a été relevé par plusieurs auteurs selon Lamine et al (Lamine et al., 2019b), qui indiquent que les approches sur le système sociotechnique ont tendance à se focaliser sur les mécanismes institutionnels. Ceci peut expliquer en partie pourquoi, selon Markard et al (Markard et al., 2012), les études sur les systèmes sociotechniques ont fortement tendance à concerner les échelles nationales voire supranationales où s'opèrent ces règles.

Dans le cas du bassin versant étudié, ces règles normatives et réglementaires en agriculture ne prennent pas en compte l'espace étudié, qui n'est ni un espace présent dans les représentations des acteurs, ni un espace de gestion agricole. Cela nous a obligé à étudier ces règles à l'échelle de la Martinique, puis à formuler des suppositions sur leur impact au regard de l'occupation spatiale du bassin versant (quelle surface est considérée par tel ou tel frein). D'autres études cherchant à relier le système sociotechnique au territoire ont rencontré les mêmes difficultés. En opérant un redimensionnement plus local, ces études ont établi les frontières du système à étudier à travers des projets de territoire ou de filière (IGP clémentine de Corse (Belmin et al., 2017), filière Agriculture Biologique (Lamine, 2012), projet institutionnel (Allais and Gobert, 2019)), relativement à l'existence de règles normatives et réglementaires. On peut donc se demander comment mieux prendre en compte le territoire dans sa triple dimension (matérielle, idéale et organisationnelle), dans le cas de l'étude d'espace d'impact, pour mieux évaluer l'impact des freins situés à l'échelle du système sociotechnique sur la transition écologique.

Pour répondre à cette question, il apparaît nécessaire de mettre à jour les interactions entre les systèmes écologiques et les systèmes sociaux à l'œuvre sur un espace donné. Pour cela, des études récentes proposent des solutions.

Dans le cadre d'analyse de Madelrieux et al (Madelrieux et al., 2017b), les auteurs interrogent les relations entre les filières agricoles et les ressources de territoires locaux qui, selon eux, prennent trois formes : l'ancrage ou comment les filières utilisent les ressources locales et les valorisent, la dépendance des territoires pour les filières liées à l'utilisation de ressources et d'opérateurs exogènes et des centres de décision échappant à la gouvernance locale, enfin l'empreinte des filières agricoles sur le territoire, avec les ressources, les impacts, les services rendus ou richesses créées pour les territoires. Ce type de connaissances, entre système social et système écologique, d'autres auteurs proposent de les intégrer ensuite dans des modèles pour élaborer des scénarios de transition écologique des territoires, tenant compte des potentiels impacts négatifs sur les ressources naturelles (Lamine et al., 2019b; Wohlfahrt et al., 2019). L'association entre ces deux types d'approche permettrait de considérer les trois dimensions du territoire et de discuter des orientations des acteurs dans la transition écologique, au regard des impacts potentiels sur les trois dimensions, sans oublier la dimension spatiale qui manque encore actuellement dans les études des transitions effectuées via le concept de système sociotechnique.

La difficulté de considérer un nombre important d'éléments

Le système étudié au cours du diagnostic nous a obligés à analyser un grand nombre d'éléments. On l'a dit, l'étude des freins et leviers à l'innovation en gestion de l'enherbement du Galion nous a amenés à étendre notre analyse à l'échelle de la Martinique, pour trois filières agricoles présentes sur le bassin versant. De plus, la problématique de la pollution herbicide des rivières nous a amenés à considérer également les mécanismes institutionnels intervenant dans la gestion de la qualité de l'eau. L'ensemble de ce système, mêlant agriculture et territoire, nous a obligés à étudier un nombre important d'acteurs, de règles et d'artefacts intervenant dans la diminution de l'usage herbicide chez les agriculteurs du bassin versant. Nous avons alors rencontré des difficultés à reconstruire la complexité de ce système dans le temps imparti. On peut se demander si la méthode utilisée aurait mérité une adaptation afin de cibler les interactions du système qui interviennent davantage dans la transition écologique de notre territoire, et ainsi de rendre plus efficaces la collecte et l'analyse de données.

Pour cela, on peut s'inspirer de l'étude récente de Rizzo et al (Rizzo et al., 2019), où les chercheurs ont développé une méthode rapide pour décrire les systèmes de culture et leur distribution spatiale à l'échelle régionale, basée sur l'utilisation d'informateurs clés et l'utilisation d'artefacts intermédiaires pour échanger avec ces acteurs. Ils se sont basés sur l'hypothèse que les agents de vulgarisation locaux ont une connaissance suffisante pour (i) décrire les règles de localisation et de décision des systèmes de culture à l'échelle régionale, (ii) et identifier leurs caractéristiques les plus pertinentes à l'échelle du terrain (Rizzo et al., 2019). On peut imaginer d'associer notre cadre d'analyse à ce type de méthode, en associant l'étude de la littérature grise aux entretiens semi-directifs d'informateurs clés sur le fonctionnement socioéconomique des filières, à l'aide de supports qui résument les informations manquantes sur chaque type d'acteurs, règles et artefacts de notre cadre d'analyse.

Pour cela, il conviendrait de fabriquer des supports de médiation, adaptés au cadre d'étude du système sociotechnique, et pensés de façon à faciliter le recueil de ces informations auprès des acteurs clés. Ceci permettrait de réduire le nombre d'entretiens et d'augmenter l'efficacité de la recherche et de l'analyse de données.

2.1.2. Utilisation des outils de la théorie C-K pour innover en rupture

Une des originalités de la thèse a été la mobilisation des outils de la théorie C-K dans un dispositif de conception d'innovations agronomiques à l'échelle d'un territoire. Nous discuterons ici de la pertinence de ce choix, au regard : de l'intérêt et des limites à relire un diagnostic sociotechnique avec les outils de la théorie C-K, de la façon dont ces outils ont permis de mesurer le dépassement des effets de fixation collectifs des acteurs, et de la difficulté de s'assurer une mobilisation volontaire d'un collectif d'acteurs dans un processus de conception innovante.

Le choix des effets de fixation à dépasser par la suite

L'originalité de cette première phase de conception a été la relecture d'une phase de diagnostic du système sociotechnique à l'aide des outils de la théorie C-K. Grâce à cette étape, nous avons pu mettre à jour, d'une part les éléments indispensables à la mise en place d'un processus de conception innovante et participatif, et d'autre part des informations sur le type de processus de conception à mettre en place.

Tout d'abord, à la relecture du diagnostic, nous avons établi (i) les acteurs à inclure dans le dispositif et comment les inclure de manière pertinente (formation de groupes de conception), (ii) les processus d'innovation (et les connaissances associées) déjà à l'œuvre dans la recherche d'alternatives à l'herbicide et la réduction des pollutions, (iii) et surtout leur dépendance au chemin révélant des effets de fixation individuels et collectifs des acteurs. Nous avons ainsi déterminé des effets de fixation majeurs intervenant dans la conception d'innovation de gestion de l'enherbement en Martinique. Mais nous avons choisi de nous focaliser sur deux effets de fixation en particulier, en raison du fait qu'ils étaient communs aux filières agricoles étudiées (chapitre 4). Nous avons notamment laissé de côté la focalisation des acteurs des filières banane et canne à conserver le système monoculturel. On observe alors, dans les 15 nouveaux concepts imaginés par les acteurs, que seulement 1 concept propose de diversifier ces systèmes en associant deux exploitants pour la mise en valeur agricole des inter-rangs. On peut se demander, en prenant l'exemple d'autres dispositifs de conception innovante, si ce phénomène est propre à notre étude ou à la méthode.

Dans Ravier (Ravier, 2017), l'auteur a distingué un effet de fixation des acteurs de son étude sur un objet agronomique en particulier, qu'il a ensuite réussi à dépasser dans son processus de conception innovante. Mais toutes les solutions émises lors de ce dispositif ont concerné l'échelle parcellaire, ce qui implique que l'échelle d'utilisation de l'objet agronomique n'a pas été rediscutée au cours du processus. De même dans Vourc'h et al (Vourc'h et al., 2018), les auteurs évoquent la volonté de dépasser un effet de fixation, celui de la structure mono-disciplinaire des projets de recherche.

Si les projets de recherche conçus à l'issue du processus sont bien transdisciplinaires, ils restent tous focalisés sur le développement de techniques agricoles utilisables par l'agriculteur, à l'échelle de son exploitation agricole. Ceci nous amène à penser que la formalisation d'un processus de conception innovante cherche à s'écarter de certains effets de fixation, ce qui peut amener à des innovations qui en conservent d'autres.

Ensuite, la relecture de ce diagnostic nous a également montré que le système actuel de gestion de l'enherbement en Martinique avait peu de chances d'évoluer « naturellement » vers l'objectif de réduction des pollutions à l'herbicide des rivières. En effet, le système sociotechnique dans lequel se pense l'innovation de gestion de l'enherbement en Martinique s'est montré particulièrement bloqué, en raison d'acteurs fortement fixés dans des dépendances au chemin, qui ne considèrent pas l'échelle du bassin versant comme efficace pour gérer la pollution herbicide. Dans d'autres situations décrites dans Le Masson et al (Le Masson et al., 2012), il peut préexister des moteurs de défixation dans le système, par exemple lorsque des processus de conception d'innovation au sein des régimes nécessitent de modifier rapidement les objectifs des projets, les acteurs associés etc. Nos résultats ont donc confirmé l'intérêt de mettre en place un processus de conception innovante.

Comment mesurer le dépassement des effets de fixation

A l'issue des ateliers de conception KC, nous avons montré que les acteurs avaient plus ou moins dépassé leurs effets de fixation. Mais les informations recueillies ne permettent pas d'expliquer suffisamment les raisons de ce dépassement plus ou moins réussi selon la propriété du CO discutée. On peut alors se demander ce qu'il faudrait mettre en place pour évaluer ce changement et établir des facteurs explicatifs.

Ce besoin rejoint celui identifié par den Haan et van der Voort (den Haan and van der Voort, 2018) où les auteurs affirment le manque chronique d'évaluations des dispositifs participatifs sur l'apprentissage normatif des participants, qui concerne un changement de point de vue, de valeurs ou de paradigmes. Selon eux, il serait nécessaire de mettre en place ce type d'évaluation tout au long du dispositif (den Haan and van der Voort, 2018). Par exemple dans notre cas d'étude, cela pourrait prendre la forme d'une fiche à remplir par participant, en préalable des ateliers, évaluant les représentations des acteurs, afin d'anticiper la mise en place d'outils, de méthodes spécifiques assurant un apprentissage normatif de l'ensemble des participants.

La difficulté de s'assurer de la mobilisation des acteurs pendant les ateliers KC

Au cours de la phase KC du dispositif, nous avons pu noter une baisse de la mobilisation des acteurs entre les différentes phases, ainsi qu'un manque de continuité entre les participants, qui n'ont pas assisté à toutes les phases. L'originalité et la nouveauté de la méthode KC peuvent sans doute être mises en cause. En effet, dans certains ateliers, des acteurs ont dit ne pas avoir apprécié de réfléchir à partir de concepts projecteurs trop éloignés de leur représentation.

D'autres se sont interrogés sur la faisabilité de solutions très originales. Aussi, il apparaît nécessaire de s'interroger d'une part sur les difficultés spécifiques à la méthode KC pour maintenir un collectif d'acteurs tout au long du dispositif, et d'autre part sur les possibilités de pallier cette difficulté dans un contexte où le collectif doit être mouvant (c'est-à-dire doit pouvoir inclure de nouveaux participants au fur et à mesure de l'exploration de solutions).

La première partie de cette question peut s'expliquer par le fait que le développement de la conception innovante, dont nous nous sommes inspirés, a été développée au sein d'entreprises (Hatchuel, 2018), où les participants sont généralement incités à travailler ensemble et partagent les mêmes objectifs d'entreprise selon Pluchinotta et al (Pluchinotta et al., 2019). Aussi, lors du développement de la méthode, les auteurs tels que Hatchuel, Weil ou Le Masson (Hatchuel and Weil, 2003; Le Masson et al., 2014) ne se sont pas spécifiquement intéressés à la question de savoir comment mobiliser les acteurs dans un processus de conception innovante. Cette difficulté à mobiliser des acteurs dans des processus situés en dehors de l'entreprise a été notée dans d'autres études, à l'instar de Pluchinotta et al (Pluchinotta et al., 2019).

Dans ce type d'étude, on note que les animateurs ont établi différentes stratégies pour assurer la mobilisation. Par exemple, certains auteurs proposent de relier, dans la même journée, les phases K et C (Berthet, 2013; Ravier et al., 2018). D'autres proposent que la phase K du processus ne soit plus l'objet d'un atelier collectif, mais soit réalisée à partir d'entretiens semi-directifs avec les acteurs (Pluchinotta et al., 2019). Mais, dans cette étude, la construction de l'espace K a tout de même été considérée comme fastidieuse et chronophage par les acteurs, tout comme la mobilisation des acteurs sur une journée entière pour l'atelier C (Pluchinotta et al., 2019). Aussi, il apparaît indispensable d'ouvrir un champ de réflexion sur la mobilisation des acteurs en conception innovante.

2.1.3. Le jeu sérieux pour établir les conditions de succès des innovations dans la diminution d'herbicide dans la rivière

La dernière étape du processus de conception mis en place dans cette thèse a été la simulation de l'effet et de la mise en place des innovations issues des ateliers KC dans un jeu sérieux. Les résultats nous ont permis de relever : certaines difficultés à représenter la réalité des exploitations, la difficulté de modéliser un système aussi complexe que celui étudié, un double apprentissage favorisant l'élaboration de solutions collectives, et la remise en question de certains comportements des participants dans le jeu au regard de la réalité. Nous discutons dans cette partie de ces différents éléments.

La difficulté de représenter la réalité des exploitations dans le jeu

Selon les participants, le jeu sérieux a montré des différences plus ou moins importantes avec la réalité de la gestion de l'enherbement des exploitations. Tout d'abord, l'impact de l'enherbement sur le rendement a pu être sous-estimé, avec des performances d'exploitations qui ont peu évolué en dépit d'enherbement compétitif.

Ceci peut être dû au temps relativement court du jeu qui ne permet pas d'évaluer suffisamment ce type d'impact (7 trimestres successifs maximum). Ensuite, les participants ont affirmé que les ressources en main d'œuvre disponibles étaient trop élevées par rapport à la réalité pour la plupart des exploitations. Ces observations ont également été faites lors d'une utilisation ultérieure du jeu sérieux, dans une école-acteurs du CIRAD en Guadeloupe en novembre 2019 (communication personnelle). On peut alors se demander dans quelle mesure ces différences avec la réalité ont pu affecter les résultats du jeu, et comment remédier à cela.

Au cours du jeu, nous avons pu observer une diminution importante des usages herbicides à l'échelle individuelle, ce qui est d'autant plus facile à mettre en œuvre pour les participants que les ressources des exploitations étaient en partie surévaluées, et les impacts sur le rendement sous-évalués. Ceci peut compromettre la réelle nécessité d'une aide extérieure pour la mise en place de solutions alternatives plus coûteuses, surtout en main d'œuvre, dans les exploitations. Ce phénomène a pu diminuer l'intérêt des participants pour le développement d'organisations collectives. C'est pourquoi nous suggérons que le jeu sérieux fasse l'objet d'un atelier préalable avec certains acteurs ou experts afin d'effectuer les ajustements nécessaires pour rapprocher le jeu de la réalité. Car selon Becu et al, et Le Page et al (Becu et al., 2010; Le Page et al., 2010), l'outil de simulation (que nous étendons ici au jeu sérieux) doit permettre aux participants de faire le lien avec la réalité, c'est-à-dire produire des résultats qui ont du sens dans la réalité. Aussi, nous pouvons supposer qu'un jeu qui s'éloigne trop des problématiques réelles des acteurs peut réduire les potentialités d'apprentissage sur le système étudié.

Pour autant, nous avons observé au cours du jeu des négociations autour de la mise en place de formes d'organisations collectives, ce qui indique que le phénomène décrit précédemment a été d'une relative importance. D'autant plus que nos résultats ont montré que certaines exploitations ont tout de même présenté des manques de main d'œuvre importants, soit qu'ils en ont fait part au groupe lors de discussions collectives, soit que nous avons observé *a posteriori* du jeu des dépassements de ressources de certains participants. Pour certains joueurs, ces dépassements ont été chroniques tout au long du jeu, ce qui questionne davantage l'appropriation des règles par ces joueurs et la capacité des animateurs à bien expliquer les règles. Il aurait donc fallu davantage s'interroger sur l'ergonomie du jeu, comme le proposent Becu et al (Becu et al., 2010) sur le fait de savoir si le formalisme de l'outil est bien adapté au cadre cognitif des participants ? Comment les participants interagissent-ils avec l'outil ? L'outil permet-il aux participants de traiter la question posée ?

La difficulté de modéliser un système complexe jouable

La complexité des règles a été soulevée comme un défaut du jeu par les participants. On suppose que cela a pu contribuer à accentuer la focalisation des agriculteurs-joueurs sur les facteurs liés à leur exploitation dans leur choix de pratiques.

Cette complexité est liée à notre volonté de représenter les interactions entre les différentes échelles parcelle, exploitation agricole et bassin versant, ce qui nous a obligé à conserver un minimum de détails et des règles d'actions spécifiques à chaque échelle, pour que la représentation reste suffisamment convaincante et explicative des choix des joueurs. On peut se demander, dans un premier temps, si le fait d'avoir reflété la complexité du système à travers la complexité des règles est un choix méthodologique pertinent, et dans un second temps ce qui aurait pu pallier cette trop grande complexité.

En premier lieu, la question du degré de complexité que doit revêtir le jeu n'est pas tranchée dans la littérature. Certains auteurs comme Aubert et al (Aubert et al., 2018) indiquent que le jeu doit privilégier le fait d'être accessible aux joueurs, car il présente justement l'intérêt de diminuer la charge cognitive des acteurs dans le cadre d'un raisonnement en système complexe, en permettant l'expérimentation et l'usage dans des situations de résolutions de problème. D'autres auteurs comme Becu et al (Becu et al., 2010) indiquent que la facilité de compréhension de l'outil va influencer positivement la production de savoir. Cependant, selon Mayer (Mayer, 2009), d'autres auteurs indiquent que le jeu présente surtout l'intérêt de refléter la complexité du système réel, notamment pour simuler de façon efficace les externalités des décisions prises, mais aussi pour que les acteurs se rendent compte de la complexité du système. Selon eux, il est donc important que le jeu reflète cette complexité. Cette difficile articulation entre jouabilité et représentation de la complexité relève, selon Bousquet et Trébuil, et selon Wesselow et Stoll-Kleemann (Bousquet and Trébuil, 2005; Wesselow and Stoll-Kleemann, 2018), de compromis à faire, qui peuvent prendre la forme d'un véritable défi dans l'élaboration de jeux sérieux. Selon Wesselow et Stoll-Kleemann (Wesselow and Stoll-Kleemann, 2018), ces défis portent principalement sur la difficulté pour les concepteurs du jeu de décomposer les processus dynamiques complexes en processus et interactions simples, et sur la manière d'équilibrer la simplicité de règles jouables et la complexité du système sur lequel ils souhaitent créer des connaissances pertinentes pour la problématique.

Ensuite, cette perception d'un jeu trop complexe peut être liée au fait qu'il a été conçu sans les acteurs, uniquement par l'équipe de conception, phénomène accentué par le fait que nous n'avons pas eu l'opportunité de présenter le jeu et son fonctionnement aux acteurs en préalable de la session de conception. Par exemple, un joueur-agriculteur a eu particulièrement du mal à comprendre le fonctionnement des règles de prise de décision dans le jeu, en fonction des ressources argent et force de travail. C'est pourquoi l'utilisation du jeu en lui-même a été l'objet d'un apprentissage comme nous avons pu l'observer tout au long de l'atelier, avec la diminution des stades d'enherbement problématiques. Nous pouvons nous interroger sur la façon dont la construction du jeu aurait pu pallier ce besoin d'apprentissage. Une partie des réponses peut se situer dans le concept de soft système présenté dans Probst et al (Probst et al., 2003). Ce concept indique que le savoir n'est pas, à proprement parler, découvert par les scientifiques mais amène à la construction de cadres pour se représenter ce savoir (Probst et al., 2003).

Dans le cadre de soft system, chaque acteur du système social aurait son propre point de vue sur la réalité du système. Or ici, le jeu est uniquement l'expression de la représentation du système par les constructeurs du jeu, à savoir l'équipe de recherche en charge du projet de conception. Ceci peut expliquer en partie pourquoi les acteurs ont eu du mal à intégrer les règles du jeu, car elles ne correspondraient pas à leur représentation du système. Aussi, une construction participative d'un modèle conceptuel du système, à l'instar de la méthode ARDI telle que proposée par Etienne et Souchère et al (Etienne, 2009; Souchere et al., 2010) dans sa version participative, permettrait de construire une représentation mieux partagée du système. On peut supposer que ce mode de construction participatif peut permettre de construire des règles qui soient compréhensibles par la majorité des acteurs ayant participé au ARDI. En continuité avec cette idée, si, à l'issue du jeu, une nouvelle question se pose nécessitant l'intégration de nouveaux acteurs, il serait recommandé de construire un nouveau modèle participatif du système en incluant ces nouveaux acteurs, à l'instar de la succession de processus ComMod présentée dans Barnaud et al (Barnaud et al., 2005).

Un double apprentissage permis par le jeu qui favorise l'élaboration de solutions collectives

Grâce au jeu, nous avons observé un apprentissage des participants sur le fonctionnement agroécologique du système, intervenant dans le transfert des herbicides vers la rivière. En premier lieu, des acteurs ont dit avoir apprécié de voir l'évolution de la qualité de l'eau en fonction des choix de pratiques effectués par les participants. En second lieu, les participants ont dit avoir apprécié de voir les choix en direct effectués par les autres participants sur leur exploitation agricole, comme cette agricultrice qui dit avoir noté la facilité de certains participants à recourir à l'herbicide en cas de difficulté, ou encore le gestionnaire qui affirme s'être rendu compte de la difficulté pour les agriculteurs de faire des choix de pratiques avec des ressources aussi limitées. Ces observations rejoignent les dires de Wesselow et Stoll-Kleemann (Wesselow and Stoll-Kleemann, 2018) qui indiquent que le jeu sérieux permet deux types d'apprentissages, à savoir (i) l'apprentissage des interrelations entre les éléments d'un système complexe impliquant la création de connaissances scientifiques, (ii) et l'apprentissage social des participants sur les processus de négociations et les comportements des autres acteurs. On peut se demander en quoi le jeu sérieux a permis, dans notre cas, la création de ce type de connaissances.

A l'issue du jeu sérieux, les acteurs ont émis la volonté de vraiment développer des solutions territoriales qui soient à la fois transversales aux filières, et qui se situent à une échelle supérieure à l'exploitation agricole. C'est notamment le cas des acteurs des filières canne et banane qui ont émis l'hypothèse de s'associer au sein de la CUMA canne existante, pour partager le petit matériel de fauche entre exploitations de canne et de banane. Il est donc possible d'affirmer que le jeu sérieux a modifié en partie la représentation des acteurs sur ce type d'initiative.

Selon Barreteau et al, et Magnuszewski et al (Barreteau et al., 2010; Magnuszewski et al., 2018), le jeu sérieux est particulièrement pertinent dans le cas où les solutions potentielles à un problème sont difficiles à tester en situation réelle pour des raisons pratiques (temps long, grand nombre d'exploitations considérées) ou éthiques (incertitude sur les conséquences de l'expérimentation). Ainsi, on suppose que le jeu a permis de tester des solutions territoriales transfiliales, ce qui a généré des connaissances validant de potentiels effets bénéfiques de ce type d'organisations, à la fois sur la pollution herbicide de la rivière, mais aussi sur les exploitations agricoles. Ce type d'apprentissage est possible dans les jeux sérieux selon Ferrero et al (Ferrero et al., 2018), car cet exercice permet aux acteurs d'être exposés à une situation réelle, dans un environnement protégé, afin de faire des expériences et d'apprendre via la répétition de scénarios. De plus, selon Aubert et al, et Wesselow et Stoll-Kleemann (Aubert et al., 2010; Wesselow and Stoll-Kleemann, 2018), le jeu améliore la capacité de négociations des intérêts entre acteurs par la traduction des problèmes abstraits en décisions stratégiques et techniques. Cette capacité de négociation peut être davantage développée dans les jeux par l'apprentissage individuel de certaines compétences selon Alvarez et al (Alvarez et al., 2014), par exemple en accordant à un participant un rôle de chef lui permettant de développer des qualités de leader.

Mais les résultats du jeu ne nous permettent pas d'explicitier de façon précise les facteurs intervenant dans le choix des pratiques des participants. En particulier, nous n'avons pas réussi à évaluer l'importance des facteurs en lien avec le transfert d'herbicides dans le choix des pratiques des participants. Ceci a pu entraver les processus de négociations et la détermination de leviers dans l'élaboration des solutions territoriales. Selon Daré et al, et Wesselow et Stoll-Kleemann (Daré et al., 2010b; Wesselow and Stoll-Kleemann, 2018), le développement de cette capacité de négociation entre acteurs s'améliore lorsque des débriefing réguliers sont réalisés tout au long du jeu, ceci afin que les joueurs puissent exprimer les raisons de leurs choix pour faciliter la perception des différentes représentations des acteurs, et ainsi permettre l'émergence de raisonnements collectifs. Ces discussions auraient pu être davantage encouragées dans le jeu, avec un partage des stratégies individuelles entre acteurs pour mettre à jour des contraintes et objectifs communs, que les simples actions ne permettent pas toujours. Car selon Almaric et al, et Barreteau et al (Almaric et al., 2017; Barreteau et al., 2010), des temps de débriefing sont indispensables pour effectuer un retour interprétatif vers les enjeux du processus d'action collective, en mettant en débat l'efficacité des solutions testées.

Un autre phénomène a été observé au cours du jeu, celui de l'apprentissage des conditions individuelles des exploitants agricoles. Nous avons ainsi observé l'émergence de formes d'empathie entre participants, par exemple avec le joueur gestionnaire qui a décidé de distribuer des subventions à tous les joueurs, en affirmant se rendre compte du peu de ressources de ces derniers. Ou encore avec des solidarités entre joueurs, permettant entre autres à un participant d'accéder à une innovation organisationnelle gratuitement. Ce type de solidarités, Almaric et al (Almaric et al., 2017) l'ont également rencontré au cours de leur jeu sérieux.

Ils proposent alors l'hypothèse que la réalité projetée dans le jeu permet le développement d'un sentiment d'empathie entre les joueurs, ce que viennent étayer nos résultats. Il serait intéressant d'évaluer si ce sentiment d'empathie développé dans le jeu peut favoriser la mise en place de règles collectives modulables dans le système réel, qui viendraient compenser certaines inégalités.

La difficulté de considérer comme générique certains comportements des acteurs lors du jeu

Au cours du jeu, nous avons pu relever des comportements qui ne correspondaient pas à la réalité. Nous avons repéré ces biais *a posteriori* du jeu, en réalisant que certaines stratégies individuelles ne correspondaient pas aux informations recueillies lors du diagnostic, comme par exemple la tolérance de stades d'enherbement compétitifs pour la culture, ou encore la forte attractivité de l'association avec élevage alors que les acteurs sont très sceptiques par rapport aux dommages possibles sur la récolte, et enfin la facilité avec laquelle les joueurs ont recours à de la prestation de service, quand on sait que les agriculteurs en Martinique ont beaucoup de difficulté à accorder leur confiance et sont donc réticents à faire appel à de la prestation extérieure. Ces comportements ont pu, dans une certaine mesure, biaiser une partie des résultats du jeu. On peut alors se demander ce qui, dans le jeu, a fait survenir des biais de comportement et comment les pallier.

Tout d'abord, il est probable que l'ensemble des acteurs ne partageaient pas tous les mêmes objectifs. Selon Wesselow et Stoll-Kleemann (Wesselow and Stoll-Kleemann, 2018), la différence entre les objectifs des différents acteurs, en particulier entre les objectifs des concepteurs du jeu et ceux des acteurs, peut aboutir à des comportements différents de la réalité. Dans notre cas, on peut émettre l'hypothèse que les acteurs ont souhaité montrer aux autres acteurs leur comportement exemplaire dans réduction d'usage herbicide. Pour pallier cela, Wesselow et Stoll-Kleemann (Wesselow and Stoll-Kleemann, 2018) proposent que les chercheurs exposent clairement leurs attentes, tandis que Daré et al (Daré et al., 2010a) incitent les animateurs à faire un effort de traduction et de déconstruction des attentes des acteurs locaux pour co-construire ensuite un objectif partagé. Dans notre cas d'étude, on peut imaginer qu'il aurait été pertinent de mieux partager nos objectifs avec les acteurs dans cet atelier, sur le fait que nous souhaitions confronter les innovations imaginées précédemment aux réalités des exploitations agricoles, et que le rôle des joueurs est justement de mettre en lumière la difficulté de ne pas utiliser d'herbicides dans les exploitations du bassin.

Ensuite, les animateurs n'ont pas suffisamment rediscuté, en direct au cours du jeu, ces comportements éloignés de la réalité, car ils ont surtout été distingués *a posteriori* du jeu. Selon Wesselow et Stoll-Kleemann (Wesselow and Stoll-Kleemann, 2018), ces biais peuvent être évités quand les animateurs ont une bonne connaissance du contexte pour pouvoir poser des questions critiques, et repérer quand ils suspectent un biais ou une distorsion dans les réponses des participants.

Enfin, les comportements ont pu être biaisés dans le jeu en raison d'un déséquilibre des pouvoirs, avec le joueur-gestionnaire qui s'est avéré très directif dans les discussions et la mise en place des dynamiques collectives. Nous avons pourtant prévu d'assurer la bonne représentation des intérêts des agriculteurs, souvent ignorés ou peu pris en compte dans l'élaboration de politiques de sauvegarde de ressources naturelles, avec 4 agriculteurs sur les 9 participants. Ceci dans le but de ne pas renforcer les disparités initiales qui, selon Barnaud (Barnaud, 2008), est un risque important lors de processus participatifs dépourvus d'une réflexion sur la gestion des jeux de pouvoir. La difficulté que nous avons rencontrée est que cette disparité de pouvoirs entre participants n'était pas en lien avec de réels jeux de pouvoirs mis à jour par le diagnostic, mais à un biais lié à la personnalité de certains individus, possédant un leadership plus prononcé dans ce type de réunion. Le défaut de l'animation a été de donner à cet acteur la tâche d'encadrer les discussions sur les solutions collectives. En lui accordant cette place centrale, nous avons accentué de fait sa propension à s'exprimer, ce qui lui a octroyé une position dominante sur les autres participants. Aussi, nous avons observé peu de remise en question de ses décisions par les autres participants. Pour pallier cela, des auteurs comme Magnuszewski et al (Magnuszewski et al., 2018) proposent que lors de futures expériences de jeux sérieux, les participants soient examinés en fonction de leur connaissance du domaine étudié, de leurs expériences précédentes en matière de conception collective et de jeux sérieux, et d'activités sociales ou publiques dans la vie réelle. Car selon eux, en dépit des efforts menés dans l'élaboration du jeu pour créer un environnement neutre, ce type d'expériences passées et de connaissances du domaine peut induire des inégalités d'appropriation du jeu et d'aisance dans la prise de parole entre les participants.

2.2. La recherche-action participative

2.2.1. La construction du collectif qui impactera les décisions et les dispositifs futurs

Au cours de notre recherche, nous avons accordé beaucoup de temps à entretenir un collectif d'acteurs tout au long du processus participatif, ce qui a en partie été un succès car chaque phase a réussi à obtenir la représentativité des acteurs importants pour la problématique initiale. Mais nous avons eu des difficultés à conserver les mêmes acteurs tout au long du processus, avec une participation qui a eu tendance à décroître au fil du temps. Nous analysons, dans les paragraphes suivants, ce qui a pu améliorer ou freiner la participation des acteurs, et quelles questions éthiques sont relatives à nos choix d'animation.

L'importance de la formalisation conjointe du problème initial

Tout d'abord, la formalisation du problème initial peut conditionner l'intérêt des acteurs à participer au processus. Dans le cadre de notre recherche, le problème de départ n'intervient pas à la suite d'une consultation des acteurs agricoles, mais à partir d'un constat des acteurs liés à la surveillance de la qualité de l'eau, constat situé selon Teulier et Hubert (Teulier and Hubert, 2008) à l'intersection des différents espaces dans lesquels les sous-systèmes d'acteurs construisent les solutions au problème.

Aussi, il nous est apparu nécessaire de poser la question de la qualité de l'eau de rivière comme un concept intermédiaire selon Teulier et Hubert (Teulier and Hubert, 2008) permettant de relier ces espaces, grâce à la composante territoriale qui implique nécessairement l'ensemble des sous-systèmes d'acteurs. Or, l'élaboration collective d'un problème peut apparaître comme un élément de facilitation des processus participatifs, par exemple selon Daré et al (Daré et al., 2010a) en assurant une certaine légitimité au processus de conception par la construction d'un collectif d'acteurs réunis autour d'une question, ou encore en évitant de conserver les asymétries de pouvoirs entre les acteurs en abordant une question émanant surtout des groupes dominants selon Barnaud et al (Barnaud et al., 2010). Nous avons cherché à pallier cela dans le dispositif de conception en argumentant auprès des acteurs que notre concept intermédiaire s'inscrivait dans l'évolution récente de la réglementation herbicide, et qu'il permettait de réfléchir à des solutions de manière anticipée. L'atelier K a ensuite permis de présenter l'ensemble des connaissances relatives à ce concept intermédiaire, pour construire une compréhension collective du problème, ce qui, selon Pluchinotta et al (Pluchinotta et al., 2019), permet d'activer un processus de conception en motivant les acteurs à participer. L'évaluation des acteurs de cette phase initiale a été très positive, les acteurs ayant apprécié cet échange de connaissances et de questionnements avec des acteurs différents de leur réseau habituel. Les acteurs ont, dans la suite du dispositif, régulièrement mentionné cet atelier comme un processus qu'il faudrait répéter. Aussi, il nous semble que nous avons réussi un processus de formalisation conjointe du problème initial, pourtant lié à une question initiale émanant d'un groupe d'acteurs en particulier.

La considération des acteurs au cours du processus participatif

Peut-être plus encore que la définition conjointe du problème, c'est la façon dont les acteurs vont être considérés dans le processus participatif qui sera déterminant dans la construction et le maintien du collectif. Au cours de notre processus, nous avons souhaité mettre en place un processus de participation collaboratif où les chercheurs dirigent le processus mais en collaborant activement avec les parties prenantes par le partage de connaissances tout au long du dispositif. Aussi, l'élaboration de la méthodologie de conception n'a pas fait l'objet de discussions avec les acteurs, mais nous avons tenté de pallier cela par l'explicitation régulière des objectifs de chaque phase, au début de chaque atelier. Cependant, certains acteurs (surtout ceux qui ont été ajoutés au cours du processus, et qui n'ont pas assisté à l'atelier K), ont indiqué avoir eu du mal à percevoir les objectifs du dispositif. De cette façon, il apparaît que nous avons en partie échoué à expliciter clairement nos objectifs, ce qui est régulièrement reproché dans les processus participatifs selon Kellon et Arvai (Kellon and Arvai, 2011), et qui a pu jouer sur la mobilisation des acteurs. Car selon Barreteau et al (Barreteau et al., 2006), lorsque les participants ne savent pas réellement à quoi s'attendre dans un processus participatif, ils sont sujets à la déception, devenant peu enclins à participer à la suite du dispositif.

Encore plus important, ce sentiment de déception peut également fragiliser les dispositifs participatifs à venir, car la mobilisation des acteurs va être influencée par les succès ou les échecs des processus qui ont déjà eu lieu selon Aubert et al, et Barreteau et al (Aubert et al., 2019; Barreteau et al., 2006). Pour pallier cela, Pahl-Wostl et al (Pahl-Wostl et al., 2007) indiquent la nécessité de développer un sentiment de légitimité dans la prise de décision chez tous les participants, car cela conduit à une plus grande volonté de parvenir à un accord et donc à un plus grand engagement des acteurs dans le processus. Selon Kellon et Arvai, et Mintrom et Luetjens (Kellon and Arvai, 2011; Mintrom and Luetjens, 2016) cela nécessite que le collectif ne se sente pas uniquement utilisé pour nos propres fins en percevant leur participation comme une simple formalité du dispositif, mais qu'il participe réellement à la prise de décision. Aussi, à la lecture de ces auteurs (Aubert et al., 2019, 2010; Barreteau et al., 2006), il apparaît que, pour assurer la mobilisation des acteurs dans les dispositifs actuels et à venir, la participation des acteurs doit être un sujet traité collectivement au début de chaque processus, en explorant clairement les objectifs attendus de la participation à chaque phase. Ceci peut permettre de considérer les attentes des acteurs qui, selon Barreteau et al (Barreteau et al., 2006), peuvent être diverses, certains souhaitant participer à la prise de décision, d'autres refusant de partager la responsabilité des résultats futurs. En clarifiant dès le départ la participation souhaitée et possible selon les phases de conception, on rendrait la participation plus transparente sur ce qu'elle implique, permettant une participation plus importante et plus en adéquation avec les attentes des acteurs.

Dans la façon de considérer le collectif, il est également nécessaire de faire attention à ne pas reproduire ou accentuer les inégalités de pouvoir entre les acteurs du système. Car selon Barnaud et al (Barnaud et al., 2007), les solutions établies pourraient favoriser un groupe d'acteurs déjà influents et augmenter les inégalités sociales entre groupes d'acteurs. Pour respecter la représentation des acteurs à faible pouvoir de négociation, nous avons cherché à accorder une grande représentativité des agriculteurs au cours du processus. Nous nous sommes focalisés sur les agriculteurs, en particulier les petits agriculteurs, car le diagnostic du système sociotechnique a montré qu'ils étaient souvent peu représentés dans les processus d'innovations, ce qui est venu rejoindre les conclusions de Lacombe et al, et Menconi et al (Lacombe et al., 2018; Menconi et al., 2017) qui montrent que les agriculteurs sont souvent perçus comme les utilisateurs finaux du produit de la conception ou comme source d'information utile pour les chercheurs, donc peu sollicités dans les dispositifs de conception. En premier lieu, les agriculteurs ont été les acteurs les plus régulièrement contactés et informés du déroulé du processus et de l'évolution des connaissances. En second lieu, les agriculteurs ont été invités en grand nombre, peu importe leur caractère innovateur ou conservateur en matière d'herbicide, ce qui nous a permis de garantir un minimum de représentativité des différents systèmes de production dans les ateliers. Mais le dispositif reposant sur le volontariat des acteurs, sur leur temps de travail, le dispositif a sélectionné de fait les agriculteurs intéressés par la problématique et le plus souvent innovants dans le domaine.

Pour finir, nous avons cherché à assurer l'expression libre des agriculteurs, notamment dans la phase C par la mise en place d'un contexte propice à ce qu'ils puissent s'exprimer librement, avec un groupe de réflexion composé uniquement d'agriculteurs. Ce qui a particulièrement bien fonctionné, avec la moitié des idées innovantes du dispositif qui ont émergé de cet atelier. Cependant, il est apparu qu'une attention particulière à l'expression des agriculteurs doit être portée lors d'atelier mixte. Par exemple au cours du jeu, les agriculteurs ont représenté presque la moitié des participants, et pour autant, ils se sont peu exprimés sur leurs intérêts et leurs contraintes. Selon Lewin (Lewin, 1945), c'est à l'animateur de pallier cela en assurant la création d'un climat de confiance au sein du groupe, propice aux échanges, et en accordant une attention particulière à l'expression de chacun. Si cela n'est pas bien réalisé selon Menconi et al (Menconi et al., 2017), alors les acteurs risquent de faiblement s'exprimer, convaincus que leur opinion ne sera pas prise en compte, ce qui peut fragiliser leur mobilisation. Aussi, il semblerait que l'équipe d'animation de notre dispositif n'ait pas suffisamment accordé d'importance à la répartition équitable de la parole entre les acteurs pendant les ateliers, ce qui a pu participer à la baisse de la mobilisation.

2.2.2. La modification des valeurs et représentations sur l'objet

Au cours du dispositif de conception, nous avons pu percevoir une évolution des représentations des acteurs sur l'objet à concevoir. Nous discutons dans cette partie des éléments du dispositif participatif qui ont pu contribuer à modifier ces représentations, tout d'abord avec le choix des vecteurs de connaissances, puis en lien avec le partage des représentations dans des ateliers collectifs.

L'importance de l'apport de connaissance dans le dispositif

Les résultats de la thèse nous permettent de penser que le développement des innovations territoriales est soumis à la façon dont les animateurs vont choisir de partager certaines connaissances, afin de ne pas encourager certaines représentations qui pourraient rendre difficile l'élaboration de solutions collectives égalitaires. Dans notre cas, le diagnostic du système sociotechnique a mis à jour des tensions sur la responsabilité de la pollution, qui sont réapparues au début du jeu, lorsqu'un acteur a critiqué le choix fait dans le jeu ne pas distinguer les herbicides entre eux, choix jugé comme destiné à « *marquer les esprits* » car, de ce fait, il n'est pas possible de distinguer la responsabilité de la pollution entre les filières agricoles. Au cours d'un atelier C, des acteurs ont discuté le fait de chercher des solutions collectives sur le bassin, quand il apparaissait évident pour eux que la diminution relevait davantage de la filière banane que des autres filières. Or, nous avons montré que le fait de cantonner les solutions à un effort d'innovation d'une seule filière pouvait ne pas être suffisamment efficace pour réduire la pollution herbicide des rivières (chapitre 3). C'est pourquoi nous avons effectué certains choix au cours du processus de conception dont nous discuterons la pertinence ici. Nous avons notamment cherché à ne pas encourager les représentations visant à responsabiliser davantage la banane dans les efforts de réduction d'herbicide. Pour cela, nous avons décidé de ne pas fournir l'information sur les responsabilités respectives des exploitations dans la pollution observée au cours du jeu.

Nous avons supposé que, sans analyse préalable pour accompagner leur interprétation, les acteurs auraient pu voir leur représentation de la responsabilité de la banane accentuée, amenant possiblement à un délitement de la dynamique collective au profit d'une décision d'une partie des acteurs sur des mesures restrictives à appliquer aux exploitations de banane, ou sur quelques exploitations de banane, on encore une déresponsabilisation des autres agriculteurs dans cette pollution.

Notre hypothèse s'accorde avec les dires de Kellon et Arvai (Kellon and Arvai, 2011), selon lesquels il préexisterait des alternatives préférées, ou préférences, chez les acteurs d'un processus de décisions concernant les ressources naturelles. C'est pourquoi il incomberait aux animateurs d'aider les acteurs à construire les préférences de la plus haute qualité, à la fois informées, délibérées et défendables selon ces mêmes auteurs (Kellon and Arvai, 2011). On en conclut qu'il est de la responsabilité des animateurs de choisir avec soin comment partager les informations sur le problème qui, mal utilisées, peuvent au contraire accentuer les mauvaises préférences des acteurs, amenant à des décisions non pertinentes pour le système. Le choix fait par les animateurs ici a donc été de discuter de ces contributions individuelles lors du débriefing quelques mois plus tard, accompagnées d'une analyse montrant que le système de culture n'est pas en jeu, ce qui a permis aux acteurs présents de discuter des résultats sans accorder une responsabilité de la pollution plus importante à une filière agricole en particulier. Il ne s'agit donc pas de faire de la rétention d'information, mais de choisir judicieusement comment amener l'information pour qu'elle permette de changer le système de valeurs des acteurs, ou du moins qu'elle n'accroisse pas les idées reçues qui pourraient aboutir, comme dans notre cas, à des conflits ou à des décisions peu pertinentes.

Le partage des représentations entre acteurs

Au cours des ateliers, nous avons observé une évolution des représentations sur l'objet à concevoir, notamment avec les différentes représentations des acteurs qui deviennent autant de nouveaux critères d'évaluation sur l'objet. Par exemple, les agriculteurs ont pu partager, au cours d'un atelier C, la représentation qu'ils avaient de la gestion de l'enherbement, propre à leur système de production. Par ces discussions, ils se sont aperçus que la gestion de l'enherbement pouvait être très diverse entre les exploitations agricoles de différentes spécialités, mais comporter aussi des points communs, comme le fait que cette gestion soit chronophage pour l'agriculteur, peu importe la production ou les techniques utilisées. Ceci a modifié leur représentation du système agricole en accordant une portée plus universelle à l'aspect chronophage de la gestion de l'enherbement. Ce qui rend dès lors possible la réflexion sur des organisations entre agriculteurs de différentes filières, et surtout indique que le CO doit permettre de libérer du temps de travail. De même, dans l'atelier C sur la filière bassin versant, l'hétérogénéité des acteurs les a amenés à partager leurs représentations sur l'objet bassin versant, en se focalisant sur ses éléments caractéristiques.

Cela a abouti à des idées d'innovations hybrides entre ces différentes représentations, afin de construire une identité agricole et patrimoniale propre au bassin versant qui devient dès lors un critère important du C0. On peut se demander dans quelle mesure notre dispositif a permis de faire évoluer ces représentations sur l'objet.

Les ateliers participatifs ont permis le croisement entre les différentes représentations des acteurs sur l'objet, ce qui a encouragé la construction d'un objet hybride, émanant des différentes connaissances des acteurs. Cette vision s'accorde avec celle de Bretagnolle et al, et Probst et al (Bretagnolle et al., 2018; Probst et al., 2003), qui indique qu'il faut considérer le savoir comme une construction plutôt que comme une découverte. Ce phénomène a pu être accentué par l'utilisation de la conception innovante qui, selon Berthet et al (Berthet et al., 2019), permet de rediscuter les propriétés fondamentales de l'objet à concevoir entre les acteurs.

De plus, en positionnant le concept initial C0 sur un objet territorial, à savoir le bassin versant, on est passé d'une conception qui considère le territoire comme un contexte, à la prise en compte du territoire en tant qu'objet de conception, ce qui s'inscrit dans l'évolution de la relation entre la conception et le territoire selon Parente et Sedini (Parente and Sedini, 2017). Ceci a conduit les acteurs à se représenter le bassin versant comme un objet en soi, ce qui a pu contribuer à changer les représentations des acteurs sur cet objet dont la portée idéale était jusqu'ici quasi-inexistante. Ce phénomène s'accorderait avec Berthet et al (Berthet et al., 2019), qui indiquent que les processus de conception participatifs, focalisés sur le développement d'un nouveau système socioécologique, renforcent le sentiment d'appropriation et de responsabilité des acteurs. Ce phénomène peut être accentué dans la suite du dispositif selon Almaric et al (Almaric et al., 2017) qui indiquent que l'existence d'empathie et d'attachement des acteurs pour le territoire représenté dans le jeu sérieux augmente l'intérêt des acteurs pour la conception de solutions.

2.3. Reformulation de la méthode pour une utilisation générique

A la suite de ma discussion précédente, je propose ici une méthode de conception territoriale générique, applicable à d'autres contextes que celui de cette thèse, dans le but de concevoir des innovations territoriales qui répondent à des problématiques de pollution agricoles diffuses.

Elaboration de l'objet C0 à concevoir et initialisation du dispositif de conception

La discussion précédente nous indique que l'objet à concevoir doit intégrer les différentes représentations, besoins et contraintes des acteurs. Notre expérience montre que la question initiale peut émaner d'un groupe d'acteurs en particulier, mais doit nécessairement faire l'objet de discussions avec l'ensemble des acteurs pour une reformulation adéquate, au cours du diagnostic et/ou en début de processus de conception.

Cette discussion doit faire intervenir, en particulier, les acteurs souvent peu représentés dans les processus de recherche d'innovations et qui, pourtant, interviennent directement ou indirectement sur la question. Mais notre expérience montre que l'objet C0, répondant à la question initiale, se construit tout au long du processus de conception, en même temps qu'évoluent les représentations et les objectifs des acteurs.

Ensuite, nous proposons que cette réunion permette également d'organiser une discussion autour du dispositif participatif. Cette discussion aurait pour objectif la description des attendus de la participation à chaque phase. Ceci permettra à la fois aux acteurs d'évaluer le temps qu'ils pourront allouer au dispositif, en fonction de leurs objectifs, et aussi de permettre au concepteur d'adapter son processus participatif aux possibilités de mobilisation du collectif. Nous pensons que cette étape participera au besoin de construire d'un collectif stable tout au long du processus, comme exprimé en 2.2.1.

Diagnostic du système sociotechnique sur l'espace considéré

Tout d'abord, on a vu en 2.1.1 qu'il était pertinent d'effectuer un diagnostic du système sociotechnique, à l'échelle de l'espace d'impact considéré dans la problématique, pour révéler les éléments du système qui influent sur l'objet à concevoir (acteurs, règles, freins et leviers, dépendances au chemin). Mais le croisement entre système sociotechnique et territoire peut amener à considérer un nombre important d'éléments dans la collecte et l'analyse de données, ce qui implique de construire des outils méthodologiques adaptés pour réduire cette difficulté.

Davantage que de définir le système concerné, cette étape de diagnostic doit être menée et conçue de sorte à être un préalable à une phase de conception innovante, donc une forme de conception qui cherche à s'éloigner des effets de fixation propres aux acteurs du système. Pour cela, il est possible de déduire les effets de fixation à partir des dépendances au chemin à l'aide des outils de la théorie C-K. L'association de ces deux domaines de recherche, système sociotechnique des sciences de la transition et théorie C-K des sciences de gestion, peut s'avérer particulièrement efficace pour distinguer les principaux effets de fixation pouvant contraindre la conception de l'objet C0. Il s'agit ici de reconstruire des diagrammes C-K du/des dominant(s) design présent(s) chez les acteurs concernés, puis d'établir le référentiel C-K pour établir la carte des chemins de conception déjà empruntés et de ceux qui restent à explorer.

Première étape de conception innovante d'innovations

Ensuite, pour dépasser les effets de fixation identifiés dans la phase précédente, nous proposons ici d'entamer le processus de conception par une méthode de conception innovante, en reprenant les étapes K et C de la méthode KCP de Le Masson et al (Le Masson et al., 2014).

La phase K correspond à un partage de connaissances entre les acteurs sur l'objet à concevoir. Pour cela, il faut être vigilant à bien réutiliser les connaissances acquises en phase de diagnostic, pour établir les axes de connaissances à partager, qui répondent à la fois au besoin de construire une base de connaissance commune entre tous les acteurs, mais aussi qui n'accroissent pas les effets de fixation des acteurs et leur apportent déjà des questionnements en dehors de leurs biais cognitifs.

Il est donc nécessaire d'établir un cahier des charges à l'attention des experts qui vont présenter les connaissances, afin qu'ils mentionnent (i) les connaissances, (ii) les manques de connaissances, (iii) des exemples originaux. Ensuite, il est nécessaire de repérer, dans les discussions, des éléments pouvant former des concepts projecteurs. Ces thèmes doivent à la fois être récurrents pour s'assurer de l'intérêt des acteurs, et permettre d'explorer des voies en rupture du référentiel C-K.

Pour l'étape C, les concepteurs doivent être conscients tout d'abord que les concepts projecteurs peuvent fortement perturber les participants, ensuite que les acteurs vont avoir la forte propension à revenir vers leurs effets de fixation. C'est pourquoi les animateurs doivent être formés à la méthode de conception innovante, pour savoir utiliser des mécanismes propres à défixer les acteurs, mais les participants doivent l'être un minimum également, afin de mieux comprendre le processus de génération d'idées nouvelles. Les animateurs doivent surtout avoir bien en tête les effets de fixation des acteurs et quelques clés pour pouvoir les en écarter, car selon Ezzat (Ezzat, 2017) l'animateur devrait au minimum connaître les effets de fixation des acteurs et être capable d'orienter régulièrement les acteurs en expansion, pour réussir à sortir les acteurs de leurs effets de fixation. Pour cela, nous proposons que les concepts projecteurs fassent l'objet d'une exploration en lieu clos, entre animateurs, pour repérer des éléments permettant d'orienter les acteurs en expansion lors des ateliers. Nous suggérons ensuite que les concepts novateurs obtenus à l'issue de ces ateliers soient replacés dans le référentiel C-K, pour représenter l'évolution conjointe des espaces K et C.

Nous suggérons ensuite que les animateurs évaluent l'évolution des espaces K et C à l'aide des indicateurs V2OR proposés par Le Masson et al (Le Masson et al., 2014). L'évolution de l'espace K permettra de considérer de nouveaux critères d'évaluation des innovations, tandis que l'évolution de l'espace C sera discuté en fonction de l'originalité des solutions émises par les participants. Ces deux résultats seront ensuite réutilisés pour la phase de jeu sérieux.

Deuxième étape de conception dans la simulation de l'usage

Nous proposons enfin que les concepts novateurs fassent l'objet d'une conception dans l'usage, en simulant cet usage à l'aide d'un jeu sérieux.

Pour que le jeu reflète au maximum la représentation que les acteurs ont du système socioécologique considéré, nous suggérons que la formalisation conceptuelle du système soit dirigée en s'inspirant de la méthode ARDI proposé par Etienne (Etienne, 2009), si possible de façon participative. Cette étape peut se superposer à l'analyse des résultats des ateliers KC qui viendront nourrir le modèle conceptuel.

Nous souhaitons ajouter une étape supplémentaire à l'issue du ARDI, appelée « nidification » qui permettra de discuter des règles pour l'implémentation des concepts novateurs dans le jeu sérieux, en établissant leurs interrelations possibles avec le reste du système (acteurs, ressources, dynamiques et interactions possibles). Nous supposons que d'inclure les acteurs dans cette phase ARDI-nidification permettra de résoudre les limites que nous avons rencontrées dans notre phase de jeu sérieux, discutées en partie 2.1.3.

Enfin, nous suggérons de réaliser plusieurs ateliers jeu sérieux. Les premiers ateliers auront comme objectif de familiariser les acteurs avec le jeu, et de réajuster certains composants pour s'approcher au mieux de la représentation partagée du système par les acteurs (comme l'attribution des ressources aux exploitations par exemple). Les ateliers suivants permettront d'établir les conditions de succès des innovations au regard du système étudié. Au cours des seconds ateliers, nous suggérons que les animateurs demandent très régulièrement aux participants d'explicitier leurs choix.

Les résultats issus du jeu seront ensuite évalués au regard de critères d'évaluation, à la fois sur la qualité de la ressource à la base du processus de conception, ainsi que sur les critères d'évaluation des acteurs émis en phase KC.

Dispositif d'évaluation du processus

La discussion nous a montré que certaines limites du processus nous avaient été indiquées par les participants, ce qu'il est nécessaire de considérer pour améliorer le dispositif au fur et à mesure. Nous faisons l'hypothèse qu'au regard de la discussion précédente, le fait de considérer l'avis des participants pour l'amélioration effective du dispositif participera également à consolider le collectif, en considérant davantage les acteurs. Nous suggérons donc qu'un processus d'évaluation du dispositif par les acteurs soit mis en place, qui peut prendre la forme de fiches-évaluation à remplir à l'issue de chaque atelier par exemple.

Mais notre expérience nous a montré qu'il était parfois difficile d'évaluer le changement de représentations des participants sur l'objet à concevoir. Aussi, nous suggérons d'inclure des questions dans la fiche – évaluation visant à expliciter ces représentations.

3. Perspectives pour une poursuite opérationnelle de la conception sur le bassin versant du Galion

On observe deux types d'apports opérationnels. Tout d'abord, des innovations territoriales qu'il conviendrait de rendre effectives sur la réduction des herbicides dans la rivière du Galion (3.1), ainsi que la mise en place d'un dispositif de co-conception qu'il serait intéressant de développer pour continuer la construction d'un projet de territoire multi-acteurs (3.2).

3.1. Sur les innovations

Habituellement, à l'issue d'une phase de conception innovante, on aboutit à une phase P dite de proposition. Cette phase consiste à élaborer un programme d'actions coordonnées et étagées dans le temps pour la réalisation des innovations, en fonction du cadre de stratégies et de contraintes du collectif (Le Masson et al., 2014). Cela signifie qu'à l'étape de nidification proposée précédemment s'ajoute une phase dite de dissémination interne et externe des propositions rédigées sous forme de nids activables (Arnoux, 2013). Cette étape permet de transformer les innovations proposées en objets collaboratifs à réaliser dans l'écosystème interne et externe au collectif (Arnoux, 2013). Pour la mise en place des innovations imaginées dans le dispositif de conception de cette thèse, il est indispensable de réaliser ces deux dernières étapes, constitutives de la phase P. Des pistes sont dessinées dans les paragraphes suivants.

Tout d'abord, les participants ont mentionné l'importance de la constitution de collectifs qui suggèrent de connecter différents réseaux d'acteurs, entre filières (canne, banane et diversification) et entre entité territoriale (bassin versant et Martinique). L'établissement de ces nouvelles relations doit rester flexible car les innovations nécessiteront un set d'activités connexes à développer, sous formes d'innovations complémentaires institutionnelles, organisationnelles, comportementales, etc. (Gaziulusoy, 2015) ce qui amènera à la création de relations entre acteurs, étalée dans le temps. Pour la mise en œuvre et l'amélioration continue des innovations, les acteurs peuvent collaborer à la fois dans le cadre de relations formelles (cadre juridique) mais aussi informelles (accords volontaires, communautés de pratiques), permettant l'apprentissage social par le développement de la confiance entre les acteurs (Pahl-Wostl et al., 2007). Ces réseaux hybrides, basés sur l'échange d'expériences, ont déjà fait leur preuve pour le développement d'innovations dans le cadre de ressources naturelles, en impliquant une co-régulation public-privé, dans laquelle les instruments et les outils traditionnels de régulation publiques (normes, contrats) sont combinés à des outils privés construits par les acteurs locaux (Duru et al., 2015; Holland and Sene, 2010). Des recherches récentes, citées dans Bretagnolle et al (Bretagnolle et al., 2018) ont d'ailleurs montré qu'il était nécessaire de promouvoir des organisations moins centralisées et plus participatives, pour mieux prendre en compte la diversité de la production agricole et les conditions écologiques.

La constitution de ces collectifs d'acteurs, pour des innovations propres au bassin versant du Galion, participe à la construction organisationnelle du territoire, mais nécessite une construction idéale du bassin versant en préalable, pour que ces innovations prennent sens et mobilisent les acteurs. Cette étape est d'autant plus importante, dans un contexte de conservation des ressources naturelles, qu'elle permettra de déterminer collectivement les ressources que l'on souhaite sauvegarder et/ou mettre en valeur (Peyrache-Gadeau and Perron, 2010). Le territoire devient alors un élément fédérateur pour les acteurs, améliorant de ce fait la mise en place d'organisations propres à le valoriser et/ou à le défendre.

Cette construction identitaire peut se faire via l'élaboration d'un label, comme le préconisent la plupart des acteurs. La particularité de nos innovations est qu'elles cherchent à établir et à signaler « de bonnes pratiques » à travers un label agricole (Lemeilleur and Allaire, 2016), à l'échelle d'un territoire qui ne possède aucune reconnaissance dans la production alimentaire (contrairement à des AOC, ou IGP). Or, une étude montre que les consommateurs sont prêts à payer plus cher, de préférence pour des labels qui protègent l'origine d'un produit, plutôt que ceux qui mettent en valeur les pratiques, et ce même pour le label « Agriculture Biologique » (Aprile et al., 2012). Ainsi, on peut émettre l'hypothèse que coupler la reconnaissance des pratiques à une origine territoriale particulière peut permettre d'augmenter significativement les prix de vente. Mais ceci est à remettre en perspective avec le fait que les consommateurs sont sceptiques sur les labels peu connus (Sirieix et al., 2013). Il est donc indispensable, pour que ce type de label fonctionne, de faire de la publicité dans les médias, sur les acteurs impliqués et sur le contenu de la charte, en faisant appel au localisme auquel les martiniquais sont très sensibles.

Ensuite, l'implication du citoyen dans la suite de l'élaboration des innovations doit être encouragée. Il a déjà été mentionné dans le dispositif comme étant un acteur à inclure, notamment comme une source potentielle de déchets verts utiles aux agriculteurs, mais également en tant que consommateur de produits locaux, donc potentiellement sensible à une valorisation du territoire par les pratiques des agriculteurs ou en participant activement à la construction de l'identité propre au bassin versant. Dans Bretagnolle et al (Bretagnolle et al., 2018), les auteurs ont développé des programmes participatifs avec les enfants pour renforcer leur lien avec la nature et la biodiversité, ce qui participe à la construction d'un territoire que l'on souhaite conserver. Le contrat de rivière du Galion contient des actions pédagogiques en ce sens, pour renforcer les liens entre les habitants du bassin versant et la rivière. Les innovations issues du dispositif doivent pouvoir s'inscrire dans la création d'une identité territoriale en incluant la participation du citoyen.

Enfin, il est nécessaire de compléter les connaissances sur la capacité des innovations à induire une transition écologique du territoire du bassin versant du Galion. Car le fait qu'une solution remplisse une fonction de manière innovante (ici la réduction des herbicides dans l'eau) ne signifie pas qu'elle sera durable pour le reste du système (Gaziulusoy, 2015). Elle nécessite d'être considérée avec une approche de durabilité forte, c'est-à-dire en considérant son impact sur le système sociotechnique large (Gaziulusoy, 2015), tandis que dans ce dispositif, nous avons principalement regardé le système sociotechnique relatif à l'agriculture du bassin du Galion et à la pollution herbicide. Certaines solutions aux herbicides peuvent peut-être apporter des contraintes sur le reste du système de production, par exemple comme la mobilisation de la main d'œuvre en gestion de l'enherbement au détriment d'autres actions prioritaires comme la récolte, ou encore l'utilisation de plantes de couverture, favorisant la présence de certains ravageurs. La formation de nouvelles organisations peut également complexifier les relations entre les acteurs, amenant à des incertitudes. Ces manques de connaissance doivent être comblés à l'aide d'études complémentaires.

3.2. Sur l'évolution du dispositif de conception

Le dispositif de conception mis en place dans la thèse se composait à la fois d'un dispositif de surveillance de la qualité de l'eau journalier sur la rivière du Galion (OPALE p91), et d'un dispositif de conception participative inscrit dans un contrat de rivière, lui-même établi volontairement entre différents acteurs institutionnels, agricoles, industriels et élus du bassin versant.

Ce dispositif répond à l'évolution des relations entre la conception et les territoires, en concevant pour les territoires, ce qui implique d'office une participation des acteurs et la réalisation d'artefacts intermédiaires (tel que le jeu ou le référentiel C-K) pour pallier la complexité trop grande du système à co-concevoir (Parente and Sedini, 2017). Le territoire étant un contexte mouvant, qui évolue en permanence, cela implique que les outils et dispositifs de conception doivent également évoluer (Parente and Sedini, 2017), ce qui implique que ce type de dispositif devrait prendre la forme d'institutions pérennes évolutives.

Avec l'accord des acteurs, et le soutien financier et opérationnel du contrat de rivière, ce dispositif pourrait devenir permanent en devenant une entité inspirée des plateformes de recherche socioécologique à long terme présentées dans (Berthet et al., 2019; Bretagnolle et al., 2018). Elle permettrait de capitaliser des connaissances sur la dynamique du système socioécologique, tout en développant les collaborations et synergies entre facilitateurs de la conception, écologues et acteurs locaux (Berthet et al., 2019). Car ces plateformes ne sont pas limitées par les frontières disciplinaires traditionnelles, puisqu'elles opèrent à une échelle spatiale suffisamment grande pour impliquer tous les acteurs, et qu'elles utilisent des approches systémiques pour étudier les liens entre systèmes écologique et social (Bretagnolle et al., 2018). Ces plateformes peuvent permettre de coordonner les actions des acteurs en prenant en considération les acquis de toutes les niches du système sociotechnique, permettant la sauvegarde de ces niches par leur coévolution du fait que les acteurs ne se font plus concurrence (Le Masson et al., 2012), comme ce fut le cas ici en réunissant l'ensemble des acteurs de l'innovation de gestion de l'enherbement de toutes les filières pour élaborer des scénarios associant, hybridant, différentes innovations techniques.

La grande part d'inconnu qui réside dans l'élaboration de concepts à l'intersection de plusieurs espaces de problème (Teulier and Hubert, 2008) implique que les acteurs collaborent dans l'inconnu ce qui, à l'aide de la conception innovante, favoriserait l'ouverture de nouveaux chemins d'innovation plutôt que de diriger les acteurs dans des dépendances au chemin (Le Masson et al., 2012). D'autant plus que le développement d'environnements sociaux tels que ces plateformes implique des processus continus d'apprentissage social, qui permettent de soutenir le changement de régime de gouvernance à travers l'établissement de cadres réglementaires et de valeurs culturelles assurant à la fois une stabilité à long terme du dispositif, ainsi qu'une flexibilité dans les réseaux d'acteurs rendant possible la renégociation des règles de gestion (Pahl-Wostl et al., 2007).

Ceci implique que ces plateformes ne doivent pas être entièrement régies par des règles formelles pour permettre la formation de capital social (la capacité des acteurs à apprendre collectivement et à prendre des décisions en résolvant les conflits et en renforçant la confiance) (Pahl-Wostl et al., 2007). De cette façon, la conception territoriale participative via ces plateformes permettrait de concevoir un plan stratégique ou une vision stratégique, donc un cadre préliminaire de valeurs et de moyens entre les acteurs pour guider les prochaines étapes et coordonner les différentes actions sur le territoire (Parente and Sedini, 2017). Dans le cadre de conservation de ressources naturelles, ces visions stratégiques peuvent prendre la forme d'une solidarité écologique selon Mathevet et al (Mathevet et al., 2016), sous la forme d'une convention symbolique entre les acteurs pour s'accorder sur un projet de territoire.

Pour finir, différents projets en cours aux Antilles et à la Réunion comptent reprendre certains outils développés dans cette thèse.

Conclusion générale

Dans cette thèse, nous avons questionné la conception d'innovations en agronomie dans le cadre de pollutions diffuses des rivières, qui demandent de repenser le paradigme habituel de conception d'innovations à l'échelle parcellaire, pour aller vers des solutions à des échelles territoriales. Pour cela, nous avons proposé un cadre original de conception d'innovations agronomiques, en s'appuyant sur le cas d'un bassin versant martiniquais qui présentait une pollution herbicide d'une rivière liée à des processus physiques continus, en relation avec un système sociotechnique de production agricole qui innovait principalement de façon sectorisée par filière. Ce nouveau cadre s'est appuyé sur trois courants de recherche, le système sociotechnique, la conception innovante, et la représentation du système socioécologique sous forme de jeu sérieux, que nous avons articulés au sein d'un dispositif de conception unifié. Le diagnostic du système sociotechnique a permis de repérer les freins et leviers à l'innovation de gestion de l'enherbement, tout en distinguant les biais cognitifs qui retraignaient une recherche d'innovation à l'échelle territoriale. Ensuite nous avons démarré un dispositif de conception participative par une méthode de conception innovante visant à produire des idées d'innovations originales à l'échelle territoriale. Enfin, nous avons poursuivi la co-conception de ces innovations en simulant leur utilisation dans un jeu sérieux, pour distinguer des conditions nécessaires à leur succès dans la réduction de la pollution herbicide au sein du système socioécologique dans lequel elles devaient s'inscrire. Ceci a permis aux acteurs de tester, dans un lieu sûr, différents scénarios combinant ces innovations sur le bassin versant.

Cette thèse a permis de montrer d'une part qu'en associant les trois cadres théoriques et méthodologiques précédents, il était possible de produire des innovations agronomiques à des échelles supérieures à la parcelle et à l'exploitation agricole, qui soient transversales aux filières agricoles. Ceci permet d'apporter des éléments méthodologiques pour répondre au besoin actuel de l'agronomie de développer de nouveaux outils pour concevoir ce type d'objet. Nos outils permettent de concevoir des objets agronomiques à l'échelle territoriale, impliquant une plus grande coordination entre acteurs reliés par des processus physiques continus, quand bien même ils appartiennent à des réseaux différents.

D'autre part, cette thèse a montré que des combinaisons d'organisations agricoles originales sur le territoire permettaient de réduire efficacement la pollution d'une rivière aux herbicides, sous la double condition que de nouveaux collectifs viennent mutualiser les moyens pour la mise en place de pratiques alternatives à la parcelle, et que la réduction collective augmente la résilience de l'environnement à certains usages abusifs.

A l'issue de ce travail de thèse, nous avons proposé des perspectives possibles à ces travaux de recherche. Tout d'abord, concernant le devenir des nouvelles formes d'organisations qui doivent faire l'objet d'une production de connaissances complémentaires sur la durabilité qu'elles pourraient induire à la totalité du système sociotechnique de production agricole sur le bassin. L'établissement d'un programme d'actions coordonnées entre différents acteurs doit venir compléter cette recherche, pour permettre leur implémentation effective sur le territoire. Ensuite, concernant le devenir du dispositif de conception qui, en devenant permanent, permettrait de capitaliser des connaissances sur la dynamique du système socioécologique, tout en développant les collaborations et synergies entre les acteurs concernés. Ce type de plateforme permet l'apprentissage social des individus, soutenant de ce fait le changement de régime de production agricole à travers l'établissement d'un cadre de conception à la fois stable par l'établissement de règles, et flexible dans la renégociation des règles de gestion.

Bibliographie

- Abdollahzadeh, G., Sharifzadeh, M.S., Damalas, C.A., 2015. Perceptions of the beneficial and harmful effects of pesticides among Iranian rice farmers influence the adoption of biological control. *Crop Protection* 75, 124–131. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.05.018>
- Agogué, M., 2012. Modéliser l'effet des biais cognitifs sur les dynamiques industrielles: innovation orpheline et architecte de l'inconnu. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.
- Agogué, M., Arnoux, F., Brown, I., Hoodge, S., 2013. Introduction à la conception innovante. *Éléments théoriques et pratiques de la théorie C-K*, Presses des Mines. ed, Sciences de la Conception. Paris.
- Agreste, 2016. Résultats économiques des exploitations spécialisées en canne et en banane (No. 9). RICA (Réseau d'Information Comptable Agricole).
- Agreste, 2015. Mémento de la statistique agricole - Edition 2015. Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt.
- Agreste Martinique, 2015. Dossiers - Face à une SAU tournée vers l'exportation, les filières hors sol répondent aux besoins en produits frais (No. 10).
- Agreste Martinique, 2014. Dossiers - L'agriculture biologique en Martinique à la recherche d'un modèle économique.
- Allais, R., Gobert, J., 2019. Conceptual framework for spatio-temporal analysis of territorial projects. *Environmental Impact Assessment Review* 77, 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.03.003>
- Allemand, I., Bédard, J., Brullebaut, B., 2016. Efficacité des lois contraignantes et des lois souples pour promouvoir la diversité de genre dans les conseils d'administration: une comparaison France/Canada. *fcs*. <https://doi.org/10.4000/fcs.1869>
- Altieri, M.A., Nicholls, C.I., United Nations Environmental Programme, Environmental Training Network for Latin America and the Caribbean, 2005. Agroecology and the search for a truly sustainable agriculture. United Nations Environmental Programme, Environmental Training Network for Latin America and the Caribbean, Mexico, D.F.
- Alvarez, J., Libessart, A., Haudegond, S., 2014. Le « jeu non sérieux », une activité improductive ? *Interfaces numériques* 3, 391–408. <https://doi.org/10.3166/rin.3.391-408>
- Amalric, M., Anselme, B., Bécu, N., Delay, E., Marilleau, N., Pignon, C., Rousseaux, F., 2017. Sensibiliser au risque de submersion marine par le jeu ou faut-il qu'un jeu soit spatialement réaliste pour être efficace ? *Sciences du jeu*. <https://doi.org/10.4000/sdj.859>
- Ansaloni, M., Fouilleux, E., 2006. Changement de pratiques agricoles. Acteurs et modalités d'hybridation technique des exploitations laitières bretonnes. *Économie rurale* 3–17. <https://doi.org/10.4000/economierurale.695>
- Aprile, M.C., Caputo, V., Nayga Jr, R.M., 2012. Consumers' valuation of food quality labels: the case of the European geographic indication and organic farming labels: Consumers' valuation of food quality labels. *International Journal of Consumer Studies* 36, 158–165. <https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2011.01092.x>
- Arnoux, F., 2013. Modéliser et organiser la conception innovante: le cas de l'innovation radicale dans les systèmes d'énergie aéronautiques. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.
- Aubert, A.H., Bauer, R., Lienert, J., 2018. A review of water-related serious games to specify use in environmental Multi-Criteria Decision Analysis. *Environmental Modelling & Software* 105, 64–78. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.03.023>
- Aubert, A.H., Medema, W., Wals, A.E.J., 2019. Towards a Framework for Designing and Assessing Game-Based Approaches for Sustainable Water Governance. *Water* 11, 869. <https://doi.org/10.3390/w11040869>
- Aubert, S., Fourage, C., Van Paassen, A., Perez, P., Mathevet, R., Barnaud, C., Antona, M., 2010. Une contribution de la recherche au développement durable, in: *La Modélisation d'accompagnement - Une Démarche Participative En Appui Au Développement Durable*. pp. 203–221.
- Aubry, C., 2007. La gestion technique des exploitations agricoles, composante de la théorie agronomique. *Ruralia. Sciences sociales et mondes ruraux contemporains*.

- Augusseau, X., Bonin, M., Queste, J., Dare, W., Antona, M., 2012. Adaptations locales de dispositifs agrienvironnementaux français et européens dans deux départements d’Outre-mer français : la Réunion et la Guadeloupe. *Vertigo*. <https://doi.org/10.4000/vertigo.13139>
- Barbazan, P., 2003. Chapitre 11: L’apport des nouvelles technologies de l’information à l’amélioration de la surveillance et du contrôle de la dengue, in: *La Dengue Dans Les Départements Français d’Amérique : Comment Optimiser La Lutte Contre Cette Maladie ?* Marseille.
- Barnaud, C., 2008. Équité, jeux de pouvoir et légitimité: les dilemmes d’une gestion concertée des ressources renouvelables. Mise à l’épreuve d’une posture d’accompagnement critique dans deux systèmes agraires des hautes terres du Nord de la Thaïlande. Université de Nanterre-Paris X.
- Barnaud, C., d’Aquino, P., Daré, W., Fourage, C., Mathevet, R., Trébuil, G., 2010. Les asymétries de pouvoir dans les processus d’accompagnement, in: *La Modélisation d’accompagnement - Une Démarche Participative En Appui Au Développement Durable*. pp. 125–151.
- Barnaud, C., Le Page, C., Dumrongrojwathana, P., Trébuil, G., 2013. Spatial representations are not neutral: Lessons from a participatory agent-based modelling process in a land-use conflict. *Environmental Modelling & Software* 45, 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.11.016>
- Barnaud, C., Promburom, T., Trébuil, G., Bousquet, F., 2007. Using simple models to accommodate multiple interest in water management: a companion modelling approach, in: *Towards Sustainable Livelihood and Environment*. Presented at the 2nd International Conference Asian Simulation and Modelling (ASIMMOD 2007), January 9-11 2007, Chiang Mai, Thailand., p. 6.
- Barnaud, C., Trébuil, G., Promburom, P., 2005. Evolution des institutions de gestion des ressources en Thaïlande : apports de la modélisation d’accompagnement. Presented at the Journées de la Société Française d’Economie Rurale (SFER) sur “Les institutions du développement durable des agricultures du Sud”, 6-8 Novembre 2005, Montpellier, p. 16.
- Barreteau, O., Bousquet, F., Attonaty, J.-M., 2006. Role-Playing Games for Opening the Black Box of Multi-Agent Systems: Method and Lessons of Its Application to Senegal River Valley Irrigated Systems. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 4, 14.
- Barreteau, O., Bousquet, F., Etienne, M., Souchère, V., d’Aquino, P., 2010. la modélisation d’accompagnement: une méthode de recherche participative et adaptative, in: *La Modélisation d’accompagnement - Une Démarche Participative En Appui Au Développement Durable*.
- Becu, N., Bommel, P., Botta, A., Le Page, C., Perez, P., 2010. Les technologies mobilisées pour l’accompagnement, in: *La Modélisation d’accompagnement - Une Démarche Participative En Appui Au Développement Durable*. pp. 183–201.
- Béguin, P., Cerf, M., 2004. Formes et enjeux de l’analyse de l’activité pour la conception des systèmes de travail. *activites* 01. <https://doi.org/10.4000/activites.1156>
- Belmin, R., 2016. Construction de la qualité de la clémentine de Corse sous Indication Géographique Protégée. Analyse des pratiques agricoles et du système sociotechnique. Université de Corse-Pascal Paoli - Ecole doctorale Environnement et Société.
- 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>
- Belmin, R., Meynard, J.-M., Julhia, L., Casabianca, F., 2018. Sociotechnical controversies as warning signs for niche governance. *Agronomy for Sustainable Development* 38. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0521-7>
- Ben Arfa, N., Rodriguez, C., Daniel, K., 2009. Dynamiques spatiales de la production agricole en France. *Revue d’Économie Régionale & Urbaine* novembre, 807. <https://doi.org/10.3917/reru.094.0807>
- Benoît, M., Chicoisne, G., Deffontaines, J.-P., Hervé, D., Lardon, S., Le Ber, F., Mullon, C., Papy, F., Souchère, V., Thinon, P., Tichit, M., Treuil, J.-P., 1999. Coordonner des choix de cultures sous contraintes environnementales : des jeux de rôles aux modèles multi-agents., in: *Modèles et Systèmes Multi-Agents Pour La Gestion de l’environnement et Des Territoires*. Cemagref, Clermont-Ferrand, pp. 279–292.
- Benoît, M., Deffontaines, J.-P., Gras, F., Bienaimé, E., Riela-Cosserat, R., 1997. Agriculture et qualité de l’eau - Une approche interdisciplinaire de la pollution par les nitrates d’un bassin d’alimentation. *Cahiers Agricultures* 6, 97–105.

- Benoit, M., Rizzo, D., Marraccini, E., Moonen, A.C., Galli, M., Lardon, S., Rapey, H., Thenail, C., Bonari, E., 2012. Landscape agronomy: a new field for addressing agricultural landscape dynamics. *Landscape Ecol* 10.
- Bensaude-Vincent, B., 2004. *Se libérer de la matière? fantasmes autour des nouvelles technologies: une conférence-débat organisée par le Groupe Sciences en questions*, Paris, INRA, 27 mai 2004. Institut national de la recherche agronomique, Paris.
- Berthet, E., 2013. *Contribution à une théorie de la conception des agro-écosystèmes - Fonds écologique et inconnu commun (doctorat)*. Mines ParisTech, Paris.
- Berthet, E.T., Bretagnolle, V., Lavorel, S., Sabatier, R., Tichit, M., Segrestin, B., 2019. Applying ecological knowledge to the innovative design of sustainable agroecosystems. *J Appl Ecol* 56, 44–51. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13173>
- Berthet, E.T.A., Barnaud, C., Girard, N., Labatut, J., Martin, G., 2016. How to foster agroecological innovations? A comparison of participatory design methods. *Journal of Environmental Planning and Management* 59, 280–301. <https://doi.org/10.1080/09640568.2015.1009627>
- Biarnès, A., Bailly, J.S., Boissieux, Y., 2009. Identifying indicators of the spatial variation of agricultural practices by a tree partitioning method: The case of weed control practices in a vine growing catchment. *Agricultural Systems* 99, 105–116. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2008.10.002>
- Bizien, M., 2018. *Contribution à la construction d'un outil de co-conception d'évolutions agricoles territoriales par simulations des de pesticides sur un bassin versant agricole. (Mémoire de fin d'étude Ingénieur)*. Istom, Le Lamentin, Martinique.
- Boiffin, J., Benoît, M., Le Bail, M., Papy, F., Stengel, P., 2014. Agronomie, espace, territoire : travailler « pour et sur » le développement territorial, un enjeu pour l'agronomie. *Cah Agric* 23, 72–83. <https://doi.org/10.1684/agr.2014.0688>
- Bonin, M., Cathelin, C., 2014. Conversion environnementale de la production bananière guadeloupéenne : une stratégie politique et économique. *Économie rurale* 63–82. <https://doi.org/10.4000/economierurale.4329>
- Bosi, 2019. *De la banane bio française en 2019. L'Arboriculture fruitière*.
- Bousquet, F., Barreteau, O., Mullon, C., Weber, J., 2013. Modélisation d'accompagnement : systèmes multi-agents et gestion des ressources renouvelables, in: *Rendre possible*. Editions Quæ, p. 147. <https://doi.org/10.3917/quaebouam.2013.01.0147>
- Bousquet, F., Etienne, M., d'Aquino, P., 2010. Introduction, in: *La Modélisation d'accompagnement - Une Démarche Participative En Appui Au Développement Durable*.
- Bousquet, F., Trébuil, G., 2005. Introduction to companion modeling and multi agent systems for integrated natural resource management in Asia, in: *Companion Modeling and Multi-Agent Systems for Integrated Natural Resource Management in Asia*. Bousquet François (Ed.), Trébuil Guy (Ed.), Hardy Bill (Ed.). p. 17.
- Bretagnolle, V., Berthet, E., Gross, N., Gauffre, B., Plumejeaud, C., Houte, S., Badenhasser, I., Monceau, K., Allier, F., Monestiez, P., Gaba, S., 2018. Towards sustainable and multifunctional agriculture in farmland landscapes: Lessons from the integrative approach of a French LTSER platform. *Science of The Total Environment* 627, 822–834. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.142>
- BRL ingénierie, 2014. *EPEAD Martinique – Rapport d'Etude (No. 800565)*. Chambre d'Agriculture de la Martinique.
- Bruchon, L., Le Bellec, F., 2015. *Guide Tropical - Guide de conception de systèmes de cultures tropicaux économes en produits phytosanitaires*, CIRAD. ed. Paris.
- Brykalski, M., 2015. *Pratiques de gestion de l'enherbement chez les agriculteurs du bassin versant de la rivière Galion, en Martinique*. Montpellier SupAgro.
- Bugaud, C., Fährasmane, L., Daribo, M.O., Aurore, G., Chillet, M., Fils-Lycaon, B., Rinaldo, D., 2011. Exploration de la variabilité qualitative de la production bananière et des potentialités de transformation en vue d'une diversification. *Innovations Agronomiques* 16, 13–23.
- Bühler, E.-A., Camara, A., Lopez-Ridaura, S., Soulard, C.T., 2010. Farms and territories: crossing agronomy and geography to elaborate multifunctional farming systems, in: *ISDA 2010*. Cirad-Inra-SupAgro, pp. 16–p.
- Callon, M., Barthe, Y., 2005. Décider sans trancher. *Negotiations* no 4, 115–129.

- Cambien, A., 2007. Une introduction à l'approche systémique (No. N° Production 13029). Certu – Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques.
- Cannon, S.B., Veazey, J.M., Jackson, R.S., Burse, V.W., Hayes, C., Straub, W.E., Landrigan, P.J., Liddle, J.A., 1978. Epidemic Kepone Poisoning in chemical workers. *American Journal of Epidemiology* 107, 529–537. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a112572>
- Capillon, A., 1993. Typologie des exploitations agricoles, contribution à l'étude régionale des problèmes techniques. INA PG.
- Cariou, Y., Fourdin, S., 2015. Les éleveurs et leurs nouvelles formes d'organisations collectives. 4èmes rencontres nationales travail en élevage - 5 et 6 novembre 2015 8.
- Caron, P., 2005. A quels territoire s'intéressent les agronomes? Le point de vue d'un géographe tropicaliste. *Natures Sciences Sociétés* 13, 145–153.
- Cerf, M., Jeuffroy, M.-H., Prost, L., Meynard, J.-M., 2012. Participatory design of agricultural decision support tools: taking account of the use situations. *Agronomy for Sustainable Development* 32, 899–910. <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0091-z>
- Chambre d'Agriculture de Martinique, 2018. Note d'expertise - Analyse du secteur de l'agriculture biologique à la Martinique.
- Chantre, É., Le Bail, M., Cerf, M., 2014. Une diversité de configurations d'apprentissage en situation de travail pour réduire l'usage des engrais et pesticides agricoles. *Activités* 11.
- Charlier, J.-B., Cattan, P., Moussa, R., Voltz, M., 2008. Hydrological behaviour and modelling of a volcanic tropical cultivated catchment. *Hydrological Processes* 22, 4355–4370.
- Charlier, J.-B., Moussa, R., Cattan, P., Voltz, M., 2007. Hydrological modelling from the plot to the catchment scales in a tropical cultivated area [Abstract]. *Geophysical research abstracts vol.9*, [2] p.
- Cholez, C., Magrini, M.-B., Galliano, D., 2017. Les contrats de production en grandes cultures. Coordination et incitations par les coopératives. *economierurale* 65–83. <https://doi.org/10.4000/economierurale.5260>
- Clostre, F., Letourmy, P., Lesueur Jannoyer, M., 2015. Organochlorine (chlordecone) uptake by root vegetables. *Chemosphere* 118, 96–102. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.06.076>
- Clostre, F., Letourmy, P., Lesueur-Jannoyer, M., 2017. Soil thresholds and a decision tool to manage food safety of crops grown in chlordecone polluted soil in the French West Indies. *Environmental Pollution* 223, 357–366. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.032>
- Coat, S., Monti, D., Legendre, P., Bouchon, C., Massat, F., Lepoint, G., 2011. Organochlorine pollution in tropical rivers (Guadeloupe): Role of ecological factors in food web bioaccumulation. *Environmental Pollution* 159, 1692–1701. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.02.036>
- Collectif ComMod, 2005. La modélisation comme outil d'accompagnement. *Natures Sciences Sociétés, NSS-Dialogues, EDp Sciences* 2005 165–168.
- Colmet-Daage, F., Lagache, P., 1965. Caractéristiques de quelques groupes de sols dérivés de roches volcaniques aux Antilles françaises (sér. Pédol. III (2)), Cah ORSTOM.
- Comité de bassin Martinique, 2015. Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux - SDAGE 2016-2021 Martinique.
- Cordeau, S., Schwartz, M., 2017. Perception des adventices par les agriculteurs, conseillers, techniciens d'expérimentation et chercheurs en FRANCE. INRA ; GCHP2E 14.
- Cowan, R., Gunby, P., 1996. Sprayed to Death: Path Dependence, Lock-in and Pest Control Strategies. *The Economic Journal* 106, 521–542. <https://doi.org/10.2307/2235561>
- DAAF, 2016. La filière canne-sucre-rhum Martinique.
- DAAF, 2015. Note de suivi du plan ECOPHYTO en Martinique - Année 2015.
- DAAF, 2014. Note de suivi du plan ECOPHYTO en Martinique (No. Année 2014).
- Damour, G., Dorel, M., Quoc, H.T., Meynard, C., Risède, J.-M., 2014. A trait-based characterization of cover plants to assess their potential to provide a set of ecological services in banana cropping systems. *European Journal of Agronomy* 52, Part B, 218–228. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.09.004>
- Daré, W., Barnaud, C., d'Aquino, P., Etienne, M., Fourage, C., Souchère, V., 2010a. La posture du commodien: un savoir être, des savoirs-faire, in: *La Modélisation d'accompagnement - Une Démarche Participative En Appui Au Développement Durable*. pp. 47–70.

- Daré, W., Van Paasen, A., Ducrot, R., Mathevet, R., Queste, J., Trébuil, G., Barnaud, C., Lagabrielle, E., 2010b. Chapitre 9: Apprentissage des interdépendances et des dynamiques, in: *La Modélisation d'accompagnement - Une Démarche Participative En Appui Au Développement Durable*.
- Darmency, H., Gasquez, J., 1990. Résistances aux herbicides chez les mauvaises herbes. *Agronomie* 10, 457–472. <https://doi.org/10.1051/agro:19900604>
- Darré, J.-P., Mathieu, A., Lasseur, J., 2004. *Le sens des pratiques: Conceptions d'agriculteurs et modèles d'agronomes*. Editions Quae.
- David, P.A., 1985. Clio and the Economics of QWERTY. *The American economic review* 75, 332–337.
- Deffontaines, J., Brossier, J., 2000. Système agraire et qualité de l'eau. Efficacité d'un concept et construction négociée d'une recherche. *Nature Sciences Sociétés* 8, 14–25. [https://doi.org/10.1016/S1240-1307\(00\)88789-0](https://doi.org/10.1016/S1240-1307(00)88789-0)
- Deffontaines, J.P., 2006. Une problématique du territoire, in: *Acteurs et Territoires Locaux. Vers Une Géoagronomie de l'aménagement*. pp. 17–20.
- Deffontaines, J.P., Thion, P., 2001. Des entités spatiales significatives pour l'activité agricole et pour les enjeux environnementaux et paysagers. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA* 13–28.
- Deffontaines, L., 2016. *Analyse des processus d'évolution des pratiques de gestion de l'enherbement*. ISARA Lyon.
- Deffontaines, L., Mottes, C., 2017. Appui au pilotage et au suivi du dispositif d'instrumentation pour la caractérisation des pesticides du bassin versant pilote martiniquais du Galion (Convention ODE/CIRAD 008-3-2016 No. Plan Chlordécone 3 : Action 18).
- Deffontaines, L., Mottes, C., Della Rossa, P., Lesueur-Jannoyer, M., Cattan, P., Le Bail, M., 2019. How farmers learn to change their weed management practices: Simple changes lead to system redesign in the French West Indies. *Agricultural Systems* à paraître.
- Della Rossa, P., Jannoyer, M., Mottes, C., Plet, J., Bazizi, A., Arnaud, L., Jestin, A., Woignier, T., Gaude, J.-M., Cattan, P., 2017. Linking current river pollution to historical pesticide use: Insights for territorial management? *Science of The Total Environment* 574, 1232–1242. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.065>
- den Haan, R.-J., van der Voort, M., 2018. On Evaluating Social Learning Outcomes of Serious Games to Collaboratively Address Sustainability Problems: A Literature Review. *Sustainability* 10, 4529. <https://doi.org/10.3390/su10124529>
- Depeyrot, J.-N., Magnan, A., Michel, D.-A., Laurent, C., 2019. *Emplois précaires en agricultures (NESE No. 45)*. Centre d'études et de prospective - Service de la statistique et de la prospective.
- Di Meo, G., Buléon, P., 2005. *L'espace social. Lecture géographique des sociétés*, Armand Colin. ed. Paris.
- Dionnet, M., Daniell, K.A., Imache, A., von Korff, Y., Bouarfa, S., Garin, P., Jamin, J.-Y., Rollin, D., Rougier, J.-E., 2013. Improving Participatory Processes through Collective Simulation: Use of a Community of Practice. *Ecology and Society* 18. <https://doi.org/10.5751/ES-05244-180136>
- Directive 2008/105/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008, 2008. Directive 2008/105/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 établissant des normes de qualité environnementale dans le domaine de l'eau, modifiant et abrogeant les directives du Conseil 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE, 86/280/CEE et modifiant la directive 2000/60/CE.
- DiTommaso, A., Averill, K.M., Hoffmann, M.P., Fuchsberg, J.R., Losey, J.E., 2016. Integrating Insect, Resistance, and Floral Resource Management in Weed Control Decision-Making. *Weed sci.* 64, 743–756. <https://doi.org/10.1614/WS-D-16-00052.1>
- Dolinska, A., d'Aquino, P., 2016. Farmers as agents in innovation systems. Empowering farmers for innovation through communities of practice. *Agricultural Systems* 142, 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.11.009>
- Doré, T., Makowski, D., Malézieux, E., Munier-Jolain, N., Tchamitchian, M., Tittonell, P., 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. *European Journal of Agronomy*, 34, 197–210.
- Doré, T., Sebillotte, M., Meynard, J.M., 1997. A diagnostic method for assessing regional variations in crop yield. *Agricultural Systems* 54, 169–188. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(96\)00084-4](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(96)00084-4)

- Dosi, G., 1982. Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy* 11, 16.
- Dubois, A., Parisse, S., 2017. Pesticides : évolution des ventes, des usages et de la présence dans les cours d'eau depuis 2009. Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer 4.
- Ducrot, R., Botta, A., d'Aquino, P., Antona, M., Abrami, G., Farolfi, S., Müller, J.-P., Lagabrielle, E., Le Page, C., 2010. Changement d'échelle et niveaux multiples, in: *La Modélisation d'accompagnement - Une Démarche Participative En Appui Au Développement Durable*. pp. 251–275.
- Duke, S.O., Powles, S.B., Sammons, R., 2018. Glyphosate – How it became a once in a hundred year herbicide and its future. *Outlooks on Pest Management* 29, 247–251.
- Dumaz, B., 1986. Guadeloupe, économie agricole: le malaise à fleur de sable: étude de cas, la région basse-terrienne, 1830-1980, l'Harmattan. ed. Paris.
- Duru, M., Therond, O., Fares, M., 2015. Designing agroecological transitions; A review. *Agronomy for Sustainable Development* 35, 1237–1257. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0318-x>
- Duru, M., Therond, O., others, 2014. Un cadre conceptuel pour penser maintenant (et organiser demain) la transition agroécologique de l'agriculture dans les territoires. *Cahiers Agricultures* 23, 84–95.
- Elyakime, B., 2007. Groupement d'employeurs agricoles : quelle aide publique locale ? *Revue d'Économie Régionale & Urbaine* décembre, 861. <https://doi.org/10.3917/reru.075.0861>
- Emas, R., 2015. The Concept of Sustainable Development: Definition and Defining Principles. *Brief for GSDR* 2015 3.
- Erdinc, O., Paterakis, N.G., Catalão, J.P.S., 2015. Overview of insular power systems under increasing penetration of renewable energy sources: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 52, 333–346. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.104>
- Espinosa-Goded, M., Barreiro-Hurlé, J., Ruto, E., 2010. What Do Farmers Want From Agri-Environmental Scheme Design? A Choice Experiment Approach: A Choice Experiment Approach on Agri-Environmental Scheme Design. *Journal of Agricultural Economics* 61, 259–273. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9552.2010.00244.x>
- Etienne, M., 2015. La modélisation d'accompagnement : partager des représentations, simuler des dynamiques, INRA.
- Etienne, M., 2009. Co-construction d'un modèle d'accompagnement selon la méthode ARDI : guide méthodologique, ComMod.
- Étienne, M., 2009. Co-construction d'un modèle d'accompagnement selon la méthode ARDI : guide méthodologique. Collectif ComMod 76.
- Ezzat, H., 2017. *Leader for Creativity: Modelling and Experimenting Defixation-oriented Leadership*. PSL Research University, Paris.
- Fares, M., Magrini, M.-B., Triboulet, P., 2012a. Transition agroécologique, innovation et effets de verrouillage: le rôle de la structure organisationnelle des filières. *Cahiers Agricultures* 21, 34–45.
- Fares, M., Magrini, M.-B., Triboulet, P., 2012b. Agroecological transition, innovation and lock-in effects: The impact of the organizational design of supply chains. *Cahiers Agricultures* 34–45. <https://doi.org/10.1684/agr.2012.0539>
- FEADER, 2015. *Plan de Développement Rural de la Martinique 2014-2020*. Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural (FEADER).
- Ferrero, G., Bichai, F., Rusca, M., 2018. Experiential Learning through Role-Playing: Enhancing Stakeholder Collaboration in Water Safety Plans. *Water* 10, 227. <https://doi.org/10.3390/w10020227>
- Fonds Européen Agricole de Garantie, 2018. Programme portant mesures spécifiques dans le domaine de l'agriculture en faveur des régions Ultrapériphériques - Guadeloupe, Guyane, Martinique, la Réunion et Mayotte.
- François, M., Moreau, R., Sylvander, B., 2005. *Agriculture biologique en Martinique - Expertise collégiale de l'IRD - résumé*.
- FruiTrop, 2017. *La Banane en Martinique*. FruiTrop Commerce International de la Banane, le Guide.

- Gaziulusoy, A.I., 2015. A critical review of approaches available for design and innovation teams through the perspective of sustainability science and system innovation theories. *Journal of Cleaner Production* 107, 366–377. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.012>
- Geels, F.W., 2004. From sectoral systems of innovation to socio-technical systems. *Research Policy* 33, 897–920. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2004.01.015>
- Goulet, F., 2013. Narratives of experience and production of knowledge within farmers' groups. *Journal of Rural Studies* 32, 439–447. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2013.09.006>
- Gresser, J., Arque, A., 2018. Comité de l'Eau et de la Biodiversité Martinique - Qualité des milieux aquatiques 2011-2016.
- Hammond Wagner, C., Cox, M., Bazo Robles, J.L., 2016. Pesticide lock-in in small scale Peruvian agriculture. *Ecological Economics* 129, 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.05.013>
- Harff, Y., Lamarche, H., 1998. Le travail en agriculture : nouvelles demandes, nouveaux enjeux. *ecoru* 244, 3–11. <https://doi.org/10.3406/ecoru.1998.4995>
- Harker, K.N., O'Donovan, J.T., 2013. Recent Weed Control, Weed Management, and Integrated Weed Management. *Weed Technology* 27, 1–11. <https://doi.org/10.1614/WT-D-12-00109.1>
- Hatchuel, A., 2018. Design theory: a foundation of a new paradigm for design science and engineering 17.
- Hatchuel, A., Weil, B., 2003. A new approach of innovative Design: an introduction to CK theory., in: DS 31: Proceedings of ICED 03, the 14th International Conference on Engineering Design, Stockholm.
- Hill, S.B., MacRae, R.J., 1996. Conceptual Framework for the Transition from Conventional to Sustainable Agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture* 7, 81–87. https://doi.org/10.1300/J064v07n01_07
- Holland, G., Sene, O., 2010. Elinor Ostrom et la Gouvernance Economique. *Revue d'économie politique* 120, 441. <https://doi.org/10.3917/redp.203.0441>
- Houdart, M., 2005. Organisation spatiale des activités agricoles et pollution des eaux par les pesticides (Géographie). Université des Antilles Guyane.
- Houet, T., Hubert-Moy, L., Corgne, S., Marchand, J.-P., 2008. Approche systémique du fonctionnement d'un territoire agricole bocager. *Espace géographique* 37, 270. <https://doi.org/10.3917/eg.373.0270>
- Huygues Belrose, V., 2010. Le Jardin créole à la Martinique - Une parcelle du jardin planétaire, Parc Naturel Régional de la Martinique.
- IEDOM, 2015. Martinique - Rapport annuel 2014.
- Ingram, J., 2018. Agricultural transition: Niche and regime knowledge systems' boundary dynamics. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 26, 117–135. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2017.05.001>
- Jolly, D., 2008. A la recherche du design dominant. *Revue française de gestion* 34, 13–31. <https://doi.org/10.3166/rfg.182.13-31>
- Jondreville, C., Lavigne, A., Jurjanz, S., Dalibard, C., Liabeuf, J.-M., Clostre, F., Lesueur-Jannoyer, M., 2014. Contamination of free-range ducks by chlordecone in Martinique (French West Indies): A field study. *Science of The Total Environment* 493, 336–341. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.083>
- Kellon, D., Arvai, J., 2011. Five propositions for improving decision making about the environment in developing communities: Insights from the decision sciences. *Journal of Environmental Management* 92, 363–371. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.10.010>
- Kilelu, C.W., Klerkx, L., Leeuwis, C., 2013. Unravelling the role of innovation platforms in supporting co-evolution of innovation: Contributions and tensions in a smallholder dairy development programme. *Agricultural Systems* 118, 65–77. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.03.003>
- Labarthe, P., 2010. Services immatériels et verrouillage technologique. Le cas du conseil technique aux agriculteurs. *Économies et sociétés* 44, 173–96.
- Labarthe, P., Laurent, C., 2013. Privatization of agricultural extension services in the EU: Towards a lack of adequate knowledge for small-scale farms? *Food Policy* 38, 240–252. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.10.005>
- Lacombe, C., Couix, N., Hazard, L., 2018. Designing agroecological farming systems with farmers: A review. *Agricultural Systems* 165, 208–220. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.06.014>

- Lagadeuc, Y., Chenorkian, R., 2009. Les systèmes socio-écologiques : vers une approche spatiale et temporelle. *Natures Sciences Sociétés* 17, 194–196. <https://doi.org/10.1051/nss/2009032>
- Laganier, R., Villalba, B., Zuindeau, B., 2002. Le développement durable face au territoire : éléments pour une recherche pluridisciplinaire. *Développement durable et territoires*. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.774>
- Lamine, C., 2012. «Changer de système»: une analyse des transitions vers l’agriculture biologique à l’échelle des systèmes agri-alimentaires territoriaux. *Terrains & travaux* 139–156.
- Lamine, C., Garçon, L., Brunori, G., 2019a. Territorial agrifood systems: A Franco-Italian contribution to the debates over alternative food networks in rural areas. *Journal of Rural Studies* 68, 159–170. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.11.007>
- Lamine, C., Magda, D., Amiot, M.-J., 2019b. Crossing Sociological, Ecological, and Nutritional Perspectives on Agrifood Systems Transitions: Towards a Transdisciplinary Territorial Approach. *Sustainability* 11, 1284. <https://doi.org/10.3390/su11051284>
- Lamine, C., Meynard, J.-M., Perrot, N., Bellon, S., 2009. Analyses des formes de transition vers des agricultures plus écologiques : les cas de l’Agriculture Biologique et de la protection intégrée. *Innovations Agronomiques* 4, 483–493.
- Lardon, S., Caron, P., Benoît, M., 2012. De la géoagronomie à l’agronomie des territoires, in: *Géogronomie, paysage et projets de territoire, Indisciplines*.
- Lardon, S., Piveteau, V., 2005. Méthodologie de diagnostic pour le projet de territoire : une approche par les modèles spatiaux. *Géocarrefour* 80/2, 75–90. <https://doi.org/10.4000/geocarrefour.980>
- Lassoudière, A., 2012. Chapitre 8: recherches participatives et pratiques de développement durable, depuis 1990, in: *Le Bananiers, Un Siècle d’innovations Techniques*. p. 352.
- Lavigne, A., Dumbardon-Martial, E., Lavigne, C., 2012. Les volailles pour un contrôle biologique des adventices dans les vergers. *Fruits* 67, 341–351. <https://doi.org/10.1051/fruits/2012029>
- Le Bail, M., Le Gal, P.-Y., 2011. Analyse et conception des systèmes de production végétale à l’échelle des bassins d’approvisionnement agro-alimentaire. *Agronomies environnement & sociétés* 1, 75–86.
- Le Gal, P.-Y., 2012. De l’analyse des pratiques gestionnaires à l’aide à la conception de systèmes de production agricole. Contribution à une agronomie de l’exploitation agricole et des territoires. Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc.
- Le Masson, P., Weil, B., Hatchuel, A., 2014. Théorie, méthodes et organisations de la conception, Presses des Mines. ed, Sciences de la Conception. Paris.
- Le Masson, P., Weil, B., Hatchuel, A., Cogez, P., 2012. Why are they not locked in waiting games? Unlocking rules and the ecology of concepts in the semiconductor industry. *Technology Analysis & Strategic Management* 24, 617–630. <https://doi.org/10.1080/09537325.2012.693675>
- Le Page, C., 2017. Simulation multiagent interactive: engager des populations locales dans la modélisation des socio-écosystèmes pour stimuler l’apprentissage social (Habilitation à Diriger les Recherches). UPMC Sorbonne Universités.
- Le Page, C., Abrami, G., Barreteau, O., Becu, N., Bommel, P., Botta, A., Dray, A., Monteil, C., Souchère, V., 2010. Des modèles pour partager des représentations, in: *La Modélisation d’accompagnement - Une Démarche Participative En Appui Au Développement Durable*.
- Leclère, M., 2019. Introduire une espèce de diversification dans les systèmes de culture d’un territoire : articuler production de connaissances et conception dans des dispositifs multi-acteurs. Cas de la cameline dans l’Oise. Université Paris-Saclay, AgroParisTech.
- Lecoq, R., 2018. Durable ou bio, la banane change de peau. pleinchamp.com.
- Leenhardt, D., Murgue, C., Therond, O., 2015. Une approche agroécologique de la gestion quantitative de l’eau en zone de déficit chronique. *Innovations Agronomiques* 57–70.
- Lefèvre, V., Capitaine, M., Peigné, J., Roger-Estrade, J., 2013. Conception et évaluation de systèmes de culture innovants pour améliorer le fonctionnement des sols en agriculture biologique. *Innovations Agronomiques* 32, 47–60.
- Lemeilleur, S., Allaire, G., 2018. Système participatif de garantie dans les labels du mouvement de l’agriculture biologique. Une réappropriation des communs intellectuels. *economierurale* 7–27. <https://doi.org/10.4000/economierurale.5813>

- Lemeilleur, S., Allaire, G., 2016. Certification participative des labels du mouvement de l'agriculture biologique: Une réappropriation des communs intellectuels. 12e conférence internationale de l'AFD "communs et développement" 14.
- Lesueur Jannoyer, M., Cattan, P., Woignier, T., Clostre, F. (Eds.), 2017. Crisis management of chronic pollution: contaminated soil and human health, Urbanization, industrialization, and the environment. CRC Press, Boca Raton.
- Lesueur Jannoyer, M., Cattan, P., Woignier, T., Clostre, F., 2016. Crisis management of chronic pollution: contaminated soil and human health, Boca Raton : CRC Press. ed, Urbanization, industrialization and the environment series, 2.
- Lewin, K., 1945. Conduct, Knowledge, and Acceptance of New Values. *Journal of Social Issues* I, 53–64.
- Loorbach, D., 2007. Transition management: new mode of governance for sustainable development: nieuwe vorm van governance voor duurzame ontwikkeling = Transitiemanagement. Internat. Books, Utrecht.
- Lucas, V., Gasselin, Pierre, Thomas, F., Vaquié, P.-F., 2015. Coopération agricole de production : quand l'activité agricole se distribue entre exploitation et action collective de proximité, in: Gasselin, P., Choisis, J.-P., Petit, S., Pursegile, F., Zasser, S. (Eds.), *L'agriculture en famille : travailler, réinventer, transmettre*. EDP Sciences, p. 201. <https://doi.org/10.1051/978-2-7598-1192-2.c012>
- Madelrieux, S., Buclet, N., Lescoat, P., Moraine, M., 2017a. Écologie et économie des interactions entre filières agricoles et territoire : quels concepts et cadre d'analyse ? *Cahiers Agricultures* 26, 24001. <https://doi.org/10.1051/cagri/2017013>
- Madelrieux, S., Buclet, N., Lescoat, P., Moraine, M., 2017b. Caractériser les formes d'interaction entre filières agricoles et territoires : quelles méthodes ? *Cahiers Agricultures* 26, 24002. <https://doi.org/10.1051/cagri/2017014>
- Magnuszewski, P., Królikowska, K., Koch, A., Pająk, M., Allen, C., Chraibi, V., Giri, A., Haak, D., Hart, N., Hellman, M., Pan, D., Rossman, N., Sendzimir, J., Sliwinski, M., Stefańska, J., Taillieu, T., Weide, D., Zlatar, I., 2018. Exploring the Role of Relational Practices in Water Governance Using a Game-Based Approach. *Water* 10, 346. <https://doi.org/10.3390/w10030346>
- Mallessard, R., 1998. Pré-diagnostic de la filière de production banane de Guadeloupe. CIRAD-FLHOR.
- Markard, J., Raven, R., Truffer, B., 2012. Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. *Research Policy* 41, 955–967. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.02.013>
- Maroušek, J., Stehel, V., Vochozka, M., Kolář, L., Maroušková, A., Strunecký, O., Peterka, J., Kopecký, M., Shreedhar, S., 2019. Ferrous sludge from water clarification: Changes in waste management practices advisable. *Journal of Cleaner Production* 218, 459–464. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.037>
- Martin, L., 2014. Modéliser l'insertion territoriale du *Miscanthus x giganteus* à partir des décisions des agriculteurs : une approche exploitant le modèle du raisonnement à partir de cas (Sciences Agronomiques). Université de Lorraine.
- Masiol, M., Gianni, B., Prete, M., 2018. Herbicides in river water across the northeastern Italy: occurrence and spatial patterns of glyphosate, aminomethylphosphonic acid, and glufosinate ammonium. *Environmental Science and Pollution Research* 25, 24368–24378. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2511-3>
- Mathevet, R., Thompson, J.D., Folke, C., Chapin, F.S., 2016. Protected areas and their surrounding territory: socioecological systems in the context of ecological solidarity. *Ecol Appl* 26, 5–16. <https://doi.org/10.1890/14-0421>
- Mathieu, A., Lasseur, J., Darré, J.-P., 2004. Chapitre 1: Un projet d'agronomes: accéder aux conceptions des agriculteurs pour comprendre les pratiques, in: *Le Sens Des Pratiques - Conception d'agriculteurs et Modèles d'agronomes*. Paris, pp. 19–33.
- Maury, C., Augusseau, X., Aznar, O., Bonin, M., Bonnal, P., Daré, W., Décamps, M., Jeanneaux, P., Caron, A., 2013. Governance Across Multiple Levels of Agri-environmental Measures in France, in: Muradian, R., Rival, L. (Eds.), *Governing the Provision of Ecosystem Services*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 257–277. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5176-7_13

- Mayer, I.S., 2009. The Gaming of Policy and the Politics of Gaming: A Review. *Simulation & Gaming* 40, 825–862. <https://doi.org/10.1177/1046878109346456>
- Mbolidi-Baron, H., 2002. Les conditions de durabilité de la production de la canne à sucre à la Martinique: une approche territoriale. Université de Toulouse-Le Mirail.
- Mbolidi-Baron, H., Grolleau, O., 2004. Problématique du désherbage de la culture de la canne à sucre à la Martinique. Presented at the 19e conférence du COLUMA, journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes - 8, 9 et 10 décembre 2004, Dijon.
- Meiffren, O., Oudin, B., Gallois-Bride, F., Galan, M.-B., 2014. Evaluation du Plan Banane Durable 1 (No. Livrable 5). Ministères de l’Agriculture et des Outre-Mer.
- Mence, J., 2016. Construction d’une méthode d’évaluation des pratiques de gestion de l’enherbement sur le bassin versant du Galion, en Martinique (Mémoire de fin d’étude). Istom.
- Menconi, M.E., Grohmann, D., Mancinelli, C., 2017. European farmers and participatory rural appraisal: A systematic literature review on experiences to optimize rural development. *Land Use Policy* 60, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.10.007>
- Meynard, J.-M., Charrier, F., Fares, M., Le Bail, M., Magrini, M.-B., Charlier, A., Messéan, A., 2018. Socio-technical lock-in hinders crop diversification in France. *Agronomy for Sustainable Development* 38. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0535-1>
- Meynard, J.-M., Dedieu, B., Bos, A.P. (Bram), 2012. Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices, in: *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*.
- Meynard, J.-M., Doré, T., Habib, R., 2001. L’évaluation et la conception de systèmes de culture pour une agriculture durable. *Comptes Rendus de l’Académie d’Agriculture de France* 87 (4), 223–236.
- 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. *Agricultural Systems* 157, 330–339. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2016.08.002>
- Mintrom, M., Luetjens, J., 2016. Design Thinking in Policymaking Processes: Opportunities and Challenges: Design Thinking in Policymaking Processes. *Australian Journal of Public Administration* 75, 391–402. <https://doi.org/10.1111/1467-8500.12211>
- Moine, A., 2006. Lectures. *EG Espace géographique* 35, 189–192.
- Morandi, B., Rivière-Honegger, A., Cottet, M., 2014. Etude en Sciences Humaines et Sociales sur l’Eau et les Milieux Aquatiques en Martinique - Les représentations et les pratiques associées aux cours d’eau (Synthèse No. Etude N° 043-12-2014).
- Mottes, C., 2013. Evaluation des effets des systèmes de culture sur l’exposition aux pesticides des eaux à l’exutoire d’un bassin versant - Proposition d’une méthodologie d’analyse appliquée au cas de l’horticulture en Martinique (Doctorat). AgroParisTech.
- Mottes, C., Deffontaines, L., Charlier, J.B., Comte, I., Della Rossa, P., Lesueur-Jannoyer, M., Woignier, T., Adele, G., Tailame, A.-L., Arnaud, L., Plet, J., Rangan, L., Bricquet, J.-P., Cattan, P., 2019. Spatio-temporal variability of water pollution by chlordecone at the watershed scale: what insights for the management of polluted territories? *Environ Sci Pollut Res*. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06247-y>
- Mottes, C., Lesueur Jannoyer, M., Le Bail, M., Guéné, M., Carles, C., Malézieux, E., 2017. Relationships between past and present pesticide applications and pollution at a watershed outlet: The case of a horticultural catchment in Martinique, French West Indies. *Chemosphere* 184, 762–773. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.06.061>
- Mottes, C., Lesueur-Jannoyer, M., Charlier, J.-B., Carles, C., Guéné, M., Le Bail, M., Malézieux, E., 2015. Hydrological and pesticide transfer modeling in a tropical volcanic watershed with the WATPPASS model. *Journal of Hydrology* 529, 909–927. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.09.007>
- ODE, 2013. Les produits phytosanitaires dans les cours d’eau de Martinique (No. 2008–2012).
- Office De l’Eau Martinique, 2013. Les produits phytosanitaires dans les cours d’eau de Martinique - 2008-2012.
- Ollivier, G., Plumecocq, G., 2015. La Transition Socio-Technique : un courant théorique dynamique, in: *Mobiliser Les Approches Par Les Transitions Dans La Recherche Sur Les Changements Agricoles et Alimentaires : Pourquoi et Comment ?* Sète, France, p. 6 p.

- Ostrom, E., 2007. A diagnostic approach for going beyond panaceas. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104, 15181–15187. <https://doi.org/10.1073/pnas.0702288104>
- Ostrom, E., 1990. *Governing the Commons - The evolution of institutions for collective action*, Cambridge University Press. ed, *Political Economy of Institutions and Decisions*.
- Ostrom, E., Gardner, R., Walker, L., Jamin, J., Muter, T., & Rappaport, H., 1994. *Rules, Games, and Common-Pool Resources*, The University of Michigan Press. ed, *Ann Arbor Books*.
- Pahl-Wostl, C., Craps, M., Dewulf, A., Mostert, E., Tabara, D., Taillieu, T., 2007. Social Learning and Water Resources Management. *Ecology and Society* 12. <https://doi.org/10.5751/ES-02037-120205>
- Papazian, H., Queste, J., Bommel, P., Bousquet, F., 2017. Le chercheur et le territoire: accompagner la complexité, in: *Des Territoires Vivants Pour Transformer Le Monde*. pp. 199–206.
- Papy, F., 1992. Effets des structures agraires sur le ruissellement et l'érosion hydrique (Relationships between rural environment, runoff and erosion). *Bulletin de l'Association de géographes français* 69, 115–125. <https://doi.org/10.3406/bagf.1992.1619>
- Parente, M., Sadini, C., 2017. Design for Territories as Practice and Theoretical Field of Study. *The Design Journal* 20, S3047–S3058. <https://doi.org/10.1080/14606925.2017.1352812>
- Peyrache-Gadeau, V., Perron, L., 2010. Développement durable et territoires, Vol. 1, n° 2 | Septembre 2010. *Développement durable et territoires* 1, 16.
- Pluchinotta, I., Kazakçi, A.O., Giordano, R., Tsoukiàs, A., 2019. Design Theory for Generating Alternatives in Public Decision Making Processes. *Group Decis Negot* 28, 341–375. <https://doi.org/10.1007/s10726-018-09610-5>
- Pollen Conseil, 2014. *EVPPT - Etude préalable en vue de la valorisation des pratiques et des productions traditionnelles*. Chambre d'Agriculture de la Martinique.
- Préfecture de Martinique, 2016. *Note de suivi du plan Ecophyto Martinique – Année 2016*.
- Probst, K., Hagmann, J., Fernandez, M., Ashby, J.A., 2003. Understanding participatory research in the context of natural resource management - paradigms, approaches and typologies. *AgREN* 17.
- Prost, L., Berthet, E.T.A., Cerf, M., Jeuffroy, M.-H., Labatut, J., Meynard, J.-M., 2017. Innovative design for agriculture in the move towards sustainability: scientific challenges. *Research in Engineering Design* 28, 119–129. <https://doi.org/10.1007/s00163-016-0233-4>
- Pumain, D., 2003. Une approche de la complexité en géographie. *Géocarrefour* 78, 25–31. <https://doi.org/10.4000/geocarrefour.75>
- Raffray, R., 2019. Du droit souple au droit dur : quel droit pour la qualité environnementale des vins sous indication géographique ? *BIO Web Conf.* 15, 03003. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20191503003>
- Raimbault, M., 2014. *Diagnostic des pratiques phytosanitaires à l'échelle d'un bassin versant et pression potentielle sur la qualité de l'eau de rivière. Cas du bassin versant du galion, martinique*. (Master Sciences et Technologies du Vivant et de l'Environnement). AgroParisTech.
- Raven, R., Schot, J., Berkhout, F., 2012. Space and scale in socio-technical transitions. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 4, 63–78. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2012.08.001>
- Ravier, C., 2017. *Conception innovante d'une méthode de fertilisation azotée: Articulation entre diagnostic des usages, ateliers participatifs et modélisation* (Thèse de doctorat). Paris-Saclay, AgroParisTech.
- Ravier, C., Jeuffroy, M.-H., Gate, P., Cohan, J.-P., Meynard, J.-M., 2018. Combining user involvement with innovative design to develop a radical new method for managing N fertilization. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 110, 117–134. <https://doi.org/10.1007/s10705-017-9891-5>
- Raynaud, E., Sauvé, L., Valceschini, E., 2005. Marques et organisation des filières agroalimentaires : une analyse par la gouvernance* (Brands and organization of food chains: a governance perspective). *Economie & Société Systèmes Agroalimentaires*, 837–854.
- Reau, R., Bedu, M., Ferrané, C., Gratecap, J.-B., Jean-Baptiste, S., Paravano, L., Parnaudeau, V., Prost, L., 2017. Evaluation des émissions de nitrate par les champs pour la conception de projets de territoire et l'accompagnement de la transition en aires d'alimentation de captage. *Innovations Agronomiques* 57, 99–115. <https://doi.org/10.15454/1.5137819587418933E12>
- Requier-Desjardins, D., Guibert, M., Bühler, É.A., 2014. La diversité des formes d'agriculture d'entreprise au prisme des réalités latino-américaines. *Économie rurale. Agricultures, alimentations, territoires* 45–60. <https://doi.org/10.4000/economierurale.4506>

- Rizzo, D., Therond, O., Lardy, R., Murgue, C., Leenhardt, D., 2019. A rapid, spatially explicit approach to describe cropping systems dynamics at the regional scale. *Agricultural Systems* 173, 491–503. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.04.003>
- Rodriguez G, A.P., Araujo Leon, J.A., 2018. The glyphosate herbicide in Yucatan, Mexico. *MOJ Bioequivalence & Bioavailability* 5. <https://doi.org/10.15406/mojbb.2018.05.00115>
- Rötter, R.P., Tao, F., Höhn, J.G., Palosuo, T., 2015. Use of crop simulation modelling to aid ideotype design of future cereal cultivars. *EXBOTJ* 66, 3463–3476. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv098>
- Salembier, C., Elverdin, J.H., Meynard, J.-M., 2016. 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>
- Sausse, C., Le Bail, M., Lecroart, B., Remy, B., Messéan, A., 2013. How to manage the coexistence between genetically modified and conventional crops in grain and oilseed collection areas? Elaboration of scenarios using role playing games. *Land Use Policy* 30, 719–729. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.05.018>
- Schut, M., Rodenburg, J., Klerkx, L., van Ast, A., Bastiaans, L., 2014. Systems approaches to innovation in crop protection. A systematic literature review. *Crop Protection* 56, 98–108. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.11.017>
- Senthilkumar, K., Bergez, J.-E., Leenhardt, D., 2015. Can farmers use maize earliness choice and sowing dates to cope with future water scarcity? A modelling approach applied to south-western France. *Agricultural Water Management* 152, 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.01.004>
- Sirieix, L., Delanchy, M., Remaud, H., Zepeda, L., Gurviez, P., 2013. Consumers' perceptions of individual and combined sustainable food labels: a UK pilot investigation: Consumers' perceptions of sustainable food labels. *International Journal of Consumer Studies* 37, 143–151. <https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2012.01109.x>
- Slovic, P., 1987. Perception of risk. *Science* 280–285.
- Souchere, V., Le Bissonnais, Y., Ouvry, J.-F., 2010. La maîtrise du risque érosif: quels leviers de la parcelle au paysage agricole, in: *Carrefour de l'Innovation Agronomique*. pp. 21–p.
- Souchère, V., Millair, L., Echeverria, J., Bousquet, F., Le Page, C., Etienne, M., 2010. Co-constructing with stakeholders a role-playing game to initiate collective management of erosive runoff risks at the watershed scale. *Environmental Modelling & Software* 25, 1359–1370. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.03.002>
- Soulard, C.T., 2005. Les agriculteurs et la pollution des eaux. Proposition d'une géographie des pratiques. *Natures Sciences Sociétés* 13, 154–164. <https://doi.org/10.1051/nss:2005022>
- Sutherland, L.-A., Burton, R.J.F., Ingram, J., Blackstock, K., Slee, B., Gotts, N., 2012. Triggering change: Towards a conceptualisation of major change processes in farm decision-making. *Journal of Environmental Management* 104, 142–151. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.03.013>
- Tao, F., Rötter, R.P., Palosuo, T., Díaz-Ambrona, C.G.H., Mínguez, M.I., Semenov, M.A., Kersebaum, K.C., Nendel, C., Cammarano, D., Hoffmann, H., Ewert, F., Dambreville, A., Martre, P., Rodríguez, L., Ruiz-Ramos, M., Gaiser, T., Höhn, J.G., Salo, T., Ferrise, R., Bindi, M., Schulman, A.H., 2017. Designing future barley ideotypes using a crop model ensemble. *European Journal of Agronomy* 82, 144–162. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.10.012>
- Tardivo, C., 2016. La modélisation collaborative pour stimuler l'émergence d'un système agricole plus durable. Conception et mise en oeuvre d'une démarche sur le plateau de Valensole (Doctorat - Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement). AgroParisTech, Paris.
- Teulier, R., Hubert, B., 2008. Des concepts intermédiaires pour la conception collective. Les situations d'action collective avec acteurs hétérogènes. François Mélard. *Ecologisation. Objets et concepts intermédiaires*, P. I. E. Peter Lang (Bruxelles) 163–187.
- Tonneau, J.-P., Lemoisson, P., Jannoyer, M., Maurel, P., Cattan, P., Le Bail, M., 2017. Les observatoires territoriaux: un outil de développement?, in: *Des Territoires Vivants Pour Transformer Le Monde, Agriculteurs et Défis Du Monde*, CIRAD-AFD.
- Tortrat, F., 2005. Modélisation orientée décision des processus de transfert par ruissellement et subsurface des herbicides dans les bassins versants agricoles (Science de l'environnement). Agroparc Rennes.

- Tournebize, J., Seguin, L., Bouarfa, S., Chaumont, C., Lebrun, J., Melion-Delage, R., Letournel, G., Barataud, F., Arrighi, A., Guichard, L., Bonifazi, M., Birmant, F., Roger, L., Hureau, D., Farinetti, A., Pages, C., Rougier, J.E., 2017. Projet Brie'EAU : des outils de dialogue territorial pour mutualiser les services écosystémiques (qualité de l'eau et biodiversité) 20.
- Truffer, B., Coenen, L., 2012. Environmental Innovation and Sustainability Transitions in Regional Studies. *Regional Studies* 46, 1–21. <https://doi.org/10.1080/00343404.2012.646164>
- Van Thanh, N., Yapwattanaphun, C., 2015. Banana Farmers' Adoption of Sustainable Agriculture Practices in the Vietnam Uplands: The Case of Quang Tri Province. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 1st International Conference on Asian Highland Natural Resources Management (AsiaHiLand) and 2nd IDRC-SEARCA Upland Fellowship and Conference Chiang Mai, Thailand January 7 - 9, 2015 5, 67–74. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.08.010>
- Vanloqueren, G., Baret, P.V., 2009. How agricultural research systems shape a technological regime that develops genetic engineering but locks out agroecological innovations. *Research Policy* 38, 971–983. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2009.02.008>
- Verret, V., Pelzer, E., Bedoussac, L., Jeuffroy, M.-H., 2019. Traque aux innovations d'agriculteurs pour la conception d'associations d'espèces incluant des légumineuses. *Innovations Agronomiques* 74, 143–154.
- Vourc'h, G., Brun, J., Ducrot, C., Cosson, J.-F., Le Masson, P., Weil, B., 2018. Using design theory to foster innovative cross-disciplinary research: Lessons learned from a research network focused on antimicrobial use and animal microbes' resistance to antimicrobials. *Veterinary and Animal Science* 6, 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2018.04.001>
- Wesselow, M., Stoll-Kleemann, S., 2018. Role-playing games in natural resource management and research: Lessons learned from theory and practice. *The Geographical Journal* 184, 298–309. <https://doi.org/10.1111/geoj.12248>
- Wezel, A., Brives, H., Casagrande, M., Clément, C., Dufour, A., Vandenbroucke, P., 2016. Agroecology territories: places for sustainable agricultural and food systems and biodiversity conservation. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 40, 132–144. <https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1115799>
- Wigboldus, S., Klerkx, L., Leeuwis, C., Schut, M., Muilerman, S., Jochemsen, H., 2016. Systemic perspectives on scaling agricultural innovations. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 36, 46. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0380-z>
- Wilson, C., Tisdell, C., 2001. Why farmers continue to use pesticides despite environmental, health and sustainability costs. *Ecological Economics* 39, 449–462. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00238-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00238-5)
- Wilson, R.S., Tucker, M.A., Hooker, N.H., LeJeune, J.T., Doohan, D., 2008. Perceptions and Beliefs about Weed Management: Perspectives of Ohio Grain and Produce Farmers. *Weed Technology* 22, 339–350. <https://doi.org/10.1614/WT-07-143.1>
- Wohlfahrt, J., Ferchaud, F., Gabrielle, B., Godard, C., Kurek, B., Loyce, C., Therond, O., 2019. Characteristics of bioeconomy systems and sustainability issues at the territorial scale. A review. *Journal of Cleaner Production* 232, 898–909. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.385>
- Zhang, L., Rana, I., Shaffer, R.M., Taioli, E., Sheppard, L., 2019. Exposure to glyphosate-based herbicides and risk for non-Hodgkin lymphoma: A meta-analysis and supporting evidence. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research* 781, 186–206. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2019.02.001>

Annexe 1 : tableau de bord

Abréviations des instituts non utilisées dans le mémoire : CA (Chambre d'Agriculture) ; ASSAUPAMAR (Association pour la sauvegarde du patrimoine martiniquais) ; IDEAS (Initiatives for design of agrifood systems)

date	durée	organisateur(s)	participants	animateur(s)	type d'activité	objet	lieu
17-fev-2017	1h30	Pauline Della Rossa	Pauline Della Rossa (CIRAD) Charles Mottes (CIRAD) Landry Deffontaines (CIRAD) Raphaël Achard (CIRAD) Laurent Gervais (IT2) Laetitia Nelson (IT2) Pauline Feschet (CIRAD) Claudine Besset-Mens (CIRAD) Julie Gresser (ODE) Alexandre Arqué (ODE)	Pauline Della Rossa Landry Deffontaines	entretien collectif avec acteurs	premier contact avec les acteurs pour présenter le projet de thèse + réalisation participative d'un diagramme d'interactions entre acteurs	Campus AgroEnvironnemental Caraïbes (Lamentin)
23-fev-2017	2h	Pauline Della Rossa	Danielle Marie-Louise (Cap Nord Martinique) Ludovic Louis (Cap Nord Martinique) Bertrand Hateau (DAAF) Marie Raimbault (DAAF) Thierry Vilna (CA) Mylène Etienne (CA) Paul Galva (Mairie Trinité) Amélie Février (CTCS) Pauline Feschert (CIRAD) Claudine Basset-Mens (CIRAD) Christian Lavigne (CIRAD) Julien Legoux (CIRAD stage) Laura ?? (CIRAD stage) Olivier Berisson (ASSAUPAMAR) Patrice Perista (ASSAUPAMAR)	Pauline Della Rossa Landry Deffontaines	entretien collectif avec acteurs	premier contact avec les acteurs pour présenter le projet de thèse + réalisation participative d'un diagramme d'interactions entre acteurs	Campus AgroEnvironnemental Caraïbes (Lamentin)

date	durée	organisateur(s)	participants	animateur(s)	type d'activité	objet	lieu
mars-2017 / juin-2017	20 x 1.5h	Pauline Della Rossa	A1710 Amélie Février (CTCS) Karine Vincent (Banamart) Ludovic Louis (Cap Nord Martinique) Eric Eugénie (Canne Union) M. Gertrude (Fredon) ?? (Fredon non agri) Bertrand Hateau + Marie Raimbault (DAAF) Isabelle Jean-Baptiste (CA) Laurent Gervais (IT2) Laetitia Nelson (IT2) Julie Sabourtin (Carrefour) Julie Mocqueau (Neisson) Gaëlle Hiélard (ODE) Olivier Carème (CA) Guy De Reynal (Phytocenter) SCIC Thierry Vilna (CA) Sebastien Thafournel (UGPBAN)	Pauline Della Rossa Julien Legoux	entretiens individuels avec acteurs	diagnostic du système sociotechnique de l'agriculture en Martinique	Martinique
15-19 mai 2017	5 jours	Charles Mottes	Pauline Della Rossa (CIRAD) Charles Mottes (CIRAD) Magalie Jannoyer (CIRAD) Philippe Cattan (CIRAD) Marianne Le Bail (CIRAD)	tous	sessions de travail collectives	détermination du dispositif + place de l'évaluation dans le travail de conception	encadrement thèse
19-23 juin 2017	5 jours	LISODE	Pauline Della Rossa (CIRAD) Charles Mottes (CIRAD) divers	équipe ComMod	formation en collectif	apprentissage de la méthode ComMod, réflexion sur implémentation possible dans le dispositif de thèse	Avignon
27-28 novembre 2017	2 x 2h	Pauline Della Rossa	membres du Campus AgroEnvironnemental Caraïbes (Lamentin) Philippe Cattan	Charles Mottes Landry Deffontaines Magalie Jannoyer	atelier de conception participative (atelier C de méthode KCP)	expérimentation de la phase C de la méthode ACP	Campus AgroEnvironnemental Caraïbes (Lamentin)
15-19 janvier 2018	4 jours	INRA	IDEAS, INRA, AgroParisTech Pauline Della Rossa	école chercheurs INRA	formation en collectif	apprentissage de la méthode KCP	Lyon
fev-2018	20 x 1/2h	Landry Deffontaines	agriculteurs du bassin	Landry Deffontaines	entretiens individuels avec agriculteurs	invitation à l'atelier	bassin versant

date	durée	organisateur(s)	participants	animateur(s)	type d'activité	objet	lieu
fev-2018	9 x 1/2h	Pauline Della Rossa	acteurs institutionnels	Pauline Della Rossa	entretiens individuels avec acteurs	invitation à l'atelier	Martinique
06-mars-18	5h	Pauline Della Rossa	Alex Ajoup (agriculteur canne) Vincent Douville (agriculteur banane) Jean-François Lorne (agriculteur banane plantain) Marie-Claude Mouriesse (agricultrice verger) Alexandre Arqué (ODE) Ludovic Louis (Cap Nord Martinique) Karine Vincent (Banamart) Laurent Gervais (IT2) Bertrand Hateau (DAAF) Thierry Vilna (CA) Mylène Etienne (CA) Olivier Carème (CA) Alexis Perez de Carvasal (CA) Giles Moutoussamy (CA) Olivier Grolleau (CTCS) Eric Eugénie (Canne Union) Isabelle Jean-Baptiste (CA) Antoine Seguin-Cadiche (Ville du Robert) Charles Mottes (CIRAD) Thierry Woignier (CNRS) Mathieu Coulis (CIRAD) Raphaël Achard (CIRAD) Christian Lavigne (CIRAD) Landry Deffontaines (CIRAD) Marianne Le Bail (AgroParisTech)	Pauline Della Rossa (CIRAD)	atelier collectif avec acteurs	partage de connaissances entre acteurs du monde agricole	Martinique (BV)
28-mars-18	4h	Charles Mottes	Charles Mottes (CIRAD) Landry Deffontaines (CIRAD) Margot Bizien (CIRAD) Pauline Della Rossa (CIRAD)	Charles Mottes	atelier équipe conception	ARDI	Campus AgroEnvironnemental Caraïbes (Lamentin)

date	durée	organisateur(s)	participants	animateur(s)	type d'activité	objet	lieu
04-avr-18	4h	Charles Mottes	Charles Mottes (CIRAD) Landry Deffontaines (CIRAD) Margot Bizien (CIRAD) Pauline Della Rossa (CIRAD)	Charles Mottes	atelier équipe conception	ARDI	Campus AgroEnvironnemental Caraïbes (Lamentin)
avr-18	10 x 1/2h	Landry Deffontaines Pauline Della Rossa	agriculteurs du bassin	Landry Deffontaines Pauline Della Rossa	entretiens individuels avec agriculteurs	invitation à l'atelier	Bassin versant
	1h30	Pauline Della Rossa	Pauline Della Rossa Charles Mottes (CIRAD) Landry Deffontaines (CIRAD)	Charles Mottes	atelier équipe conception	Référentiel C-K du concept projecteur	Campus AgroEnvironnemental Caraïbes (Lamentin)
15-mai-18	3h	Pauline Della Rossa	Marie-Claude Mouriesse (agricultrice verger) Alex Ajoup (agriculteur Canne) Monsieur et Madame Torcelly (couple agriculteurs vivriers) Charles Mottes (CIRAD) Landry Deffontaines (CIRAD) Pauline Della Rossa (CIRAD)	Charles Mottes	atelier collectif avec acteurs	atelier d'exploration d'innovations	chez Madame Mouriesse
30-mai-18	1h30	Pauline Della Rossa	Pauline Della Rossa Charles Mottes (CIRAD) Landry Deffontaines (CIRAD)	Landry Deffontaines	atelier équipe conception	Référentiel C-K du concept projecteur	Campus AgroEnvironnemental Caraïbes (Lamentin)
13-juin-18	1h30	Pauline Della Rossa	Pauline Della Rossa Charles Mottes (CIRAD) Landry Deffontaines (CIRAD)	Pauline Della Rossa	atelier équipe conception	Référentiel C-K du concept projecteur	Campus AgroEnvironnemental Caraïbes (Lamentin)
05-juil-18	3h	Pauline Della Rossa	Alex Ajoup (agriculteur Canne) Stéphane Gouyé (Agriculteur Banane Export) Laurent Gervais (IT2) Thierry Vilna (Chambre d'Agriculture) Ludovic Louis (Cap Nord Martinique) Raphaël Achard (CIRAD) Charles Mottes (CIRAD) Landry Deffontaines (CIRAD) Margot Bizien (CIRAD) Léa Ravinet (CIRAD) Pauline Della Rossa (CIRAD)	Landry Deffontaines	atelier collectif avec acteurs	atelier d'exploration d'innovations	Salle de la maison Georgers Pako, Trinité zone du BAC

date	durée	organisateur(s)	participants	animateur(s)	type d'activité	objet	lieu
12-juil-18	4h	Pauline Della Rossa	Charles Mottes (CIRAD) Landry Deffontaines (CIRAD) Margot Bizien (CIRAD) Pauline Della Rossa (CIRAD)	Pauline Della Rossa Charles Mottes	atelier équipe conception	ARDI	Campus AgroEnvironnemental Caraïbes (Lamentin)
19-juil-18	4h	Pauline Della Rossa	Charles Mottes (CIRAD) Landry Deffontaines (CIRAD) Margot Bizien (CIRAD) Pauline Della Rossa (CIRAD)	Pauline Della Rossa Charles Mottes	atelier équipe conception	ARDI	Campus AgroEnvironnemental Caraïbes (Lamentin)
août/septembre 2018	3 x 1/2h	Pauline Della Rossa	nouveaux acteurs institutionnels (PARM et Denel)	Pauline Della Rossa	entretiens individuels avec acteurs	invitation à l'atelier	Martinique
21-sept-18	2h30	Pauline Della Rossa	Chloé Mazaloubeaud (Denel) Ana Houis (Denel) Isabelle Jean-Baptiste (Chambre d'agriculture) Hélène Marie-Nely (Chambre d'agriculture) Thierry Vilna (Chambre d'agriculture) Eric Eugénie (Canne Union) Sandra Adenet (PARM)	Pauline Della Rossa	atelier collectif avec acteurs	atelier d'exploration d'innovations	Campus AgroEnvironnemental Caraïbes (Lamentin)
23-oct-18	3h	Pauline Della Rossa	Pauline Della Rossa (CIRAD) Charles Mottes (CIRAD) Roxanne Anckaert (CIRAD)	Pauline Della Rossa Charles Mottes	atelier équipe conception	ARDI + jeu	Campus AgroEnvironnemental Caraïbes (Lamentin)
Octobre/ novembre 2018	n x 1h	Charles Mottes	Pauline Della Rossa (CIRAD) Charles Mottes (CIRAD) Roxanne Anckaert (CIRAD)	Charles Mottes	atelier équipe conception	modèles herbe et bassin versant	Campus AgroEnvironnemental Caraïbes (Lamentin)
22/11/2018	2h	Pauline Della Rossa Charles Mottes Roxanne Anckaert	8 membres du Campus AgroEnvironnemental Caraïbes (Lamentin) (CIRAD) 1 extérieur	Pauline Della Rossa Charles Mottes Roxanne Anckaert	atelier test en collectif	test du jeu sérieux	Campus AgroEnvironnemental Caraïbes (Lamentin)
30/11/2018	2h	Pauline Della Rossa Roxanne Anckaert	20aine de membre de la Chambre d'Agriculture de Martinique	Pauline Della Rossa Roxanne Anckaert	atelier test en collectif	présentation et test du jeu	Chambre d'Agriculture de Martinique
04/12/2018	2h	Pauline Della Rossa Charles Mottes Roxanne Anckaert	8 membres du Campus AgroEnvironnemental Caraïbes (Lamentin) (CIRAD) 1 extérieur	Pauline Della Rossa Charles Mottes Roxanne Anckaert	atelier test en collectif	test du jeu sérieux	Campus AgroEnvironnemental Caraïbes (Lamentin)

date	durée	organisateur(s)	participants	animateur(s)	type d'activité	objet	lieu
07/12/2018	4h	Pauline Della Rossa Charles Mottes Roxanne Anckaert	Isabelle Jean-Baptiste (CA) Thierry Vilan (CA) Marie-Elise Prissin (Agricultrice Banane Export) Alice Luisi (AVJT) Jean-François Lorne (Agriculteur Banane plantain) Alex Ajoup (agriculteur canne) Eddie Valence (agriculteur Banane Export) Eric Eugénie (Canne Union) Alexandre Arqué (ODE)	Pauline Della Rossa Charles Mottes Roxanne Anckaert Tom Chabillon (prise de note)	atelier collectif avec acteurs	Atelier de mise en œuvre des solutions nouvelles	Maison des Associations de Gros Morne
12/12/2018	3h	Pauline Della Rossa Céline Carles	élèves du lycée agricole	Pauline Della Rossa Céline Carles	atelier collectif avec des étudiants	présentation ludique du jeu	Rivière Pilote

Annexe 2 : Evaluation atelier

1. De manière générale, qu'avez-vous pensé de cet atelier ?

Note globale sur 10 (entre 1 *pas bien* et 10 *très bien*) : _____ Pourquoi ?

2. Qu'avez-vous préféré ? Moins apprécié ?

Quelles propositions d'amélioration ?

3. Avez-vous l'impression d'avoir suffisamment exploré des solutions nouvelles ?

Très bien

bien

moyen

pas du tout

4. Est-ce que les objectifs de l'exercice ont été clairement exposés ?

Très bien bien moyen pas du tout

5. Qu'avez-vous pensé de la médiation ? Avez-vous le sentiment d'avoir été suffisamment écouté(e) ?

Très bien bien moyen pas du tout

6. Qu'avez-vous pensé de la dynamique du groupe ? pensez-vous que cet espace permette d'être créatif ?

Très bien bien moyen pas du tout

7. Qu'avez-vous pensé des propositions d'innovation ?

Très bien

bien

moyen

pas du tout

Pourquoi ? _____

Annexe 3: composition des groupes d'acteurs pendant les différents ateliers de conception

Tableau 23: participants aux ateliers KC (représenté par un X). Le (P) indique les acteurs ayant fait des présentations sur des sujets clés au cours de l'atelier K. Abréviations utilisées : C (canne), B (banane export), Bp (banane plantain), V (verger), M&V (maraîchage et vivrier), EA (exploitations agricole)

Participant	Atelier K	Ateliers C		
		Atelier 1	Atelier 2	Atelier 3
Agriculteur C1	X	X	X	
Agriculteur B1	X			
Agriculteur Bp1	X			
Agriculteur V	X (P)	X		
Représentant ODE	X (P)			
Représentant contrat de rivière	X (P)		X	
Représentant Banamart	X			
Représentant Canne Union	X			X
Représentant IT2	X (P)		X	
Représentant CTCS	X			
Représentant DAAF	X (P)			
Représentant 1 Chambre d'Agriculture	X (P)		X	X
Représentant 2 Chambre d'Agriculture	X (P)			
Représentant 3 Chambre d'Agriculture	X (P)			
Représentant 4 Chambre d'Agriculture	X			
Représentant 5 Chambre d'Agriculture	X			
Représentant 6 Chambre d'Agriculture	X			X
Elu d'une commune	X			
Représentant 1 CIRAD	X (P)			
Représentant 2 CIRAD	X (P)		X	
Représentant 3 CIRAD	X (P)			
Représentant 4 CIRAD	X (P)			
Représentant CNRS	X (P)			
Représentant AgroParisTech	X (P)			
Agriculteur M&V1		X		
Agriculteur M&V2		X		
Agriculteur B2			X	
Représentant 1 usine de transformation de fruits				X
Représentant 2 usine de transformation de fruits				X
Représentant PARM				X
Représentant 7 Chambre d'Agriculture				X

Tableau 24: tableau recensant les acteurs et le rôle qu'ils ont joué pendant le jeu

Acteur	Rôle-joueur
Conseiller technique de la chambre d'agriculture	Agriculteur-joueur, exploitation 1 (EA1)
Petit agriculteur de banane plantain	Agriculteur-joueur, exploitation 2 (EA2)
Petit agriculteur de canne	Agriculteur-joueur, exploitation 3 (EA3)
Grand agriculteur de banane	Agriculteur-joueur, exploitation 4 (EA4)
Conseiller technique de la chambre d'agriculteur	Agriculteur-joueur, exploitation 5 (EA5)
Grand agriculteur de banane	Agriculteur-joueur, exploitation 6 (EA6)
Représentant du groupement de planteurs de canne (Canne Union)	Agriculteur-joueur, exploitation 7 (EA7)
Conseiller technique d'un groupements de producteurs en vergers (AVJT)	Agriculteur-joueur, exploitation 8 (EA8)
Chargé d'étude pression et usages (ODE)	Gestionnaire du territoire-joueur

Annexe 4 : caractérisation des innovations des filières agricoles pour la construction du référentiel C-K

Tableau 1 : caractérisation des innovations de la filière banane

Set d'innovations	Innovation	Propriété du Cf rediscuté	Classement selon (Hill and MacRae, 1996)
1	Rotation canne/banana	Rediscute le caractère monocultural	Reconception du système de production
	Rotation banana/jachère fourragère	Rediscute le caractère monocultural	Reconception du système de production
	Association banane-animaux	Rediscute le caractère monocultural	Reconception du système de production
	Association banane-arbres fruitiers	Rediscute le caractère monocultural	Reconception du système de production
2	Bandes enherbées en sortie des parcelles proche de la rivière	Rediscute le système de production à l'échelle territoriale	Reconception organisationnelle
	Groupement d'Intérêt Economique (GIE)	Rediscute le système de production à l'échelle territoriale	Reconception organisationnelle
	Groupement de producteurs/union de groupement de producteurs	Rediscute le système de production à l'échelle territoriale	Reconception organisationnelle
	Labels (banane française, sélection planteur, etc.)	Rediscute le système de production à l'échelle territoriale	Reconception organisationnelle
3	Produit de biocontrôle Beloukha	Rediscute l'impact des herbicides	Substitution
4	Agriculture biologique	Rediscute l'utilisation d'herbicide	Reconception
	Mécanisation	Rediscute l'utilisation d'herbicide	Substitution
	Rotation banane/plantes de services	Rediscute l'utilisation d'herbicide	Reconception
	Association banane-plantes de service	Rediscute l'utilisation d'herbicide	Substitution
5	Utilisation d'herbicides selon stade de croissance de l'herbe	Rediscute la dose d'herbicide utilisée	Optimisation
	Amélioration du matériel d'épandage	Rediscute la dose d'herbicide utilisée	Optimisation
	Alternance des molécules	Rediscute la dose d'herbicide utilisée	Optimisation

Tableau 2 : caractérisation des innovations de la filière canne

Set d'innovations	Innovation	Comment l'innovation répond au Cf	Classement selon (Hill and MacRae, 1996)
1	Association canne-pastèque ou oignons	Rediscute le caractère monoculturel	Reconception du système de production
	Association canne-mouton	Rediscute le caractère monoculturel	Reconception du système de production
	Rotation canne/banane	Rediscute le caractère monoculturel	Reconception du système de production
2	Groupement de producteurs de canne	Rediscute le système de production à l'échelle territoriale	Reconception organisationnelle
	Coopérative d'Utilisation de Matériel Agricole (CUMA)	Rediscute le système de production à l'échelle territoriale	Reconception organisationnelle
3	Plantation en double rang	Rediscute la mécanisation du système de production	Reconception
4	Association canne-plantes de couverture	Rediscute la présence d'herbe dans la parcelle	Substitution
5	Rotation canne-plantes de services	Rediscute l'utilisation d'herbicide	Reconception
	Mécanisation	Rediscute l'utilisation d'herbicide	Substitution
	Agriculture Biologique	Rediscute l'utilisation d'herbicide	Reconception
6	Association d'herbicides pré-lévée et post-lévée	Rediscute la dose d'herbicide utilisée	Optimisation
	Utilisation des herbicides en fonction de la fermeture du couvert	Rediscute la dose d'herbicide utilisée	Optimisation
	Diminution de l'interang	Rediscute la dose d'herbicide utilisée	Optimisation
	Sélection variétale pour une fermeture du couvert plus rapide	Rediscute la dose d'herbicide utilisée	Optimisation

Tableau 3 : caractérisation des innovations en agriculture de diversification

Set d'innovations	Innovation	Comment l'innovation répond au Cf	Classement selon (Hill and MacRae, 1996)
1	Label « agriculture traditionnelle »	Rediscute le système de production à l'échelle territoriale	Reconception organisationnelle
	Interprofession	Rediscute le système de production à l'échelle territoriale	Reconception organisationnelle
2	Homologation de nouvelles molécules de bio-contrôle	Rediscute l'impact de l'usage herbicide	Substitution
3	Mécanisation	Rediscute l'utilisation d'herbicide	Substitution
	Paillage (résidus, carton, etc.)	Rediscute l'utilisation d'herbicide	Substitution
	Buttage avec enfouissement	Rediscute l'utilisation d'herbicide	Optimisation
4	Association avec plantes de service	Rediscute l'utilisation d'herbicide	Reconception
	Association avec cultures couvrantes (type patate douce)	Rediscute l'utilisation d'herbicide	Reconception
	Association avec élevage	Rediscute l'utilisation d'herbicide	Reconception

Annexe 5 : exemple du compte-rendu de deux présentations d'experts pendant l'atelier K, distribué aux participants

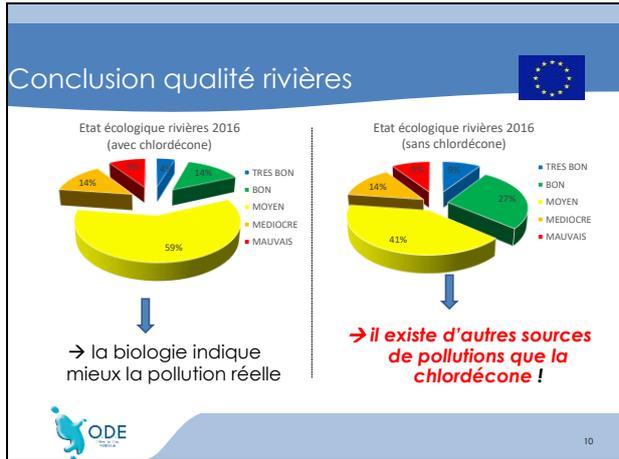
Compte-rendu de la réunion du 6 mars 2018

Partage des connaissances autour d'une gestion de l'enherbement qui réduise la concentration d'herbicides dans la rivière Galion



Exutoire de la rivière Galion, CIRAD

Avril 2018



- En tenant compte de la Chlordécone dans l'état écologique des cours d'eau, 18% des stations sont dans un bon état écologique
 - En ne tenant pas compte de la Chlordécone dans l'état écologique des cours d'eau, 36% des stations sont dans un bon état écologique
- ⇒ Il y a d'autres pollutions que la chlordécone qui dégradent l'état écologique actuel des rivières de Martinique

Où trouver plus d'infos?

- Site internet de l'ODE
<http://www.eaumartinique.fr/>
- Site internet de l'Observatoire avec un portail cartographique
<http://www.observatoire-eau-martinique.fr/>
- Site eau France :
<http://www.martinique.eaufrance.fr/>
- En nous contactant : contact@eaumartinique.fr

ODE

Les transferts des pesticides dans l'environnement

06 mars 2018
La Trinité
Atelier K – Bassin du Galion

l'Europe engagée en Martinique

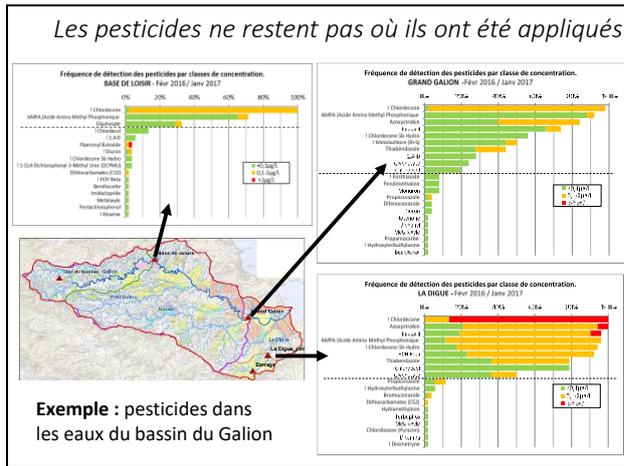
Collège des Techniciens de l'Eau Martinique

ODE Office de l'Eau Martinique

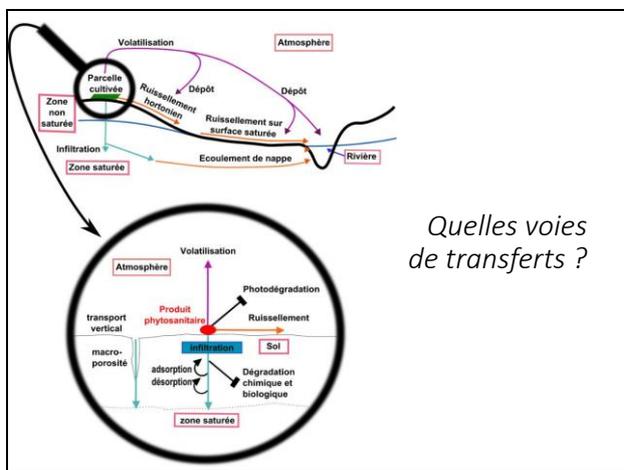
PESTICIDES

Plan chlordécone

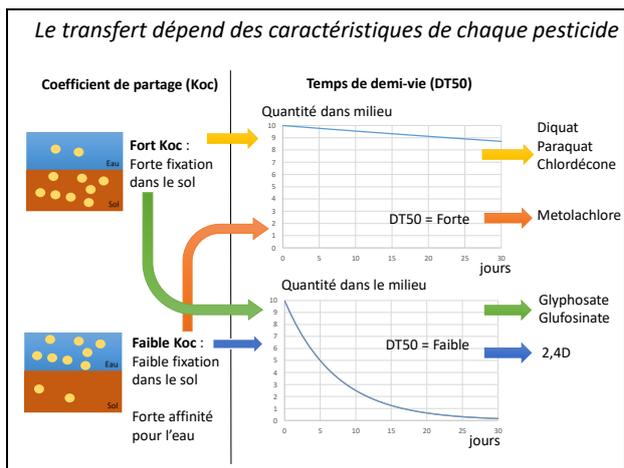
agropolis fondation Pour la Recherche Agronomique et le Développement Durable



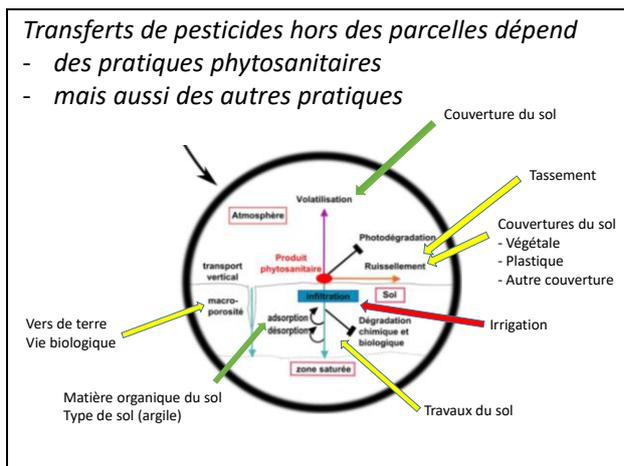
- Les pesticides, appliqués sur une parcelle, se retrouvent dans des milieux où ils n'ont pas été appliqués
- ⇒ Comment sont-ils arrivés là ?



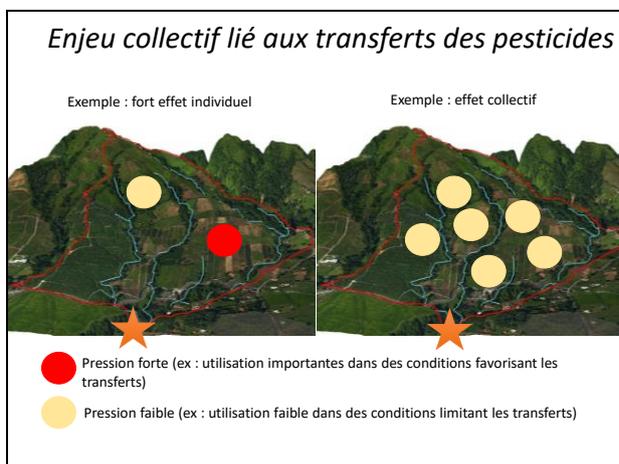
- A l'échelle d'un versant, 3 voies de transfert :
- Ecoulement de surface : rapide, des parcelles vers les rivières
 - Infiltration : tamponnée, vers les nappes souterraines puis les rivières
 - Volatilisation : par l'air puis se redépose sur l'ensemble du territoire et soumis à l'écoulement ou à l'infiltration



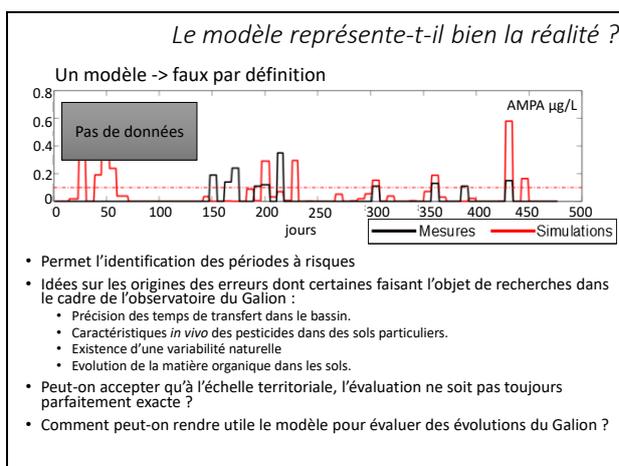
- Deux caractéristiques moléculaires dont dépend le temps de transfert et la persistance des pesticides dans l'environnement
 - Koc : affinité avec le sol
 - DT50 : temps de dégradation
- Ces caractéristiques se combinent
 - Fortement fixé au sol et se dégrade peu (*Chlordécone*)
 - Fortement fixé au sol et se dégrade rapidement (*Glyphosate*)
 - Faiblement fixé au sol et se dégrade peu (*2,4D*)
 - Faiblement fixé au sol et se dégrade rapidement (*Métolachlore*)



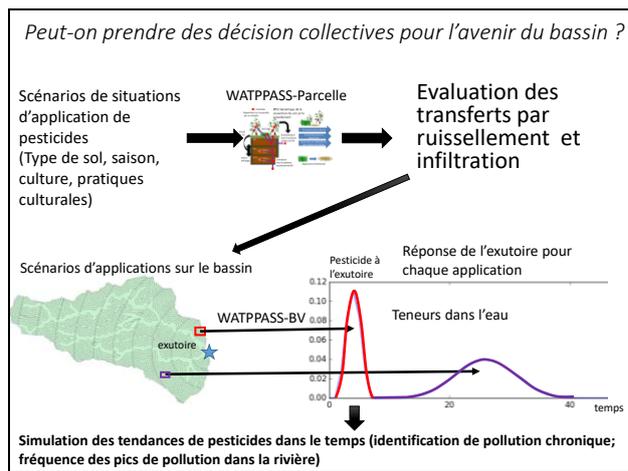
- Des effets de pratiques sans ambiguïté :
 - La couverture du sol ↓ volatilisation
 - L'irrigation ↑ infiltration
 - La Matière organique ↑ rétention et activité biologique
- Des effets ambigus :
 - Selon le type de couverture du sol
 - Le travail du sol sur l'adsorption/désorption
 - Les vers de terre sur le ruissellement et l'infiltration



- L'ensemble des parcelles d'un bassin versant contribuent à la pollution de la rivière
- Sans démarche collective, nous ne pouvons pas savoir si nous sommes plutôt dans la situation 1 (peu d'intensification sur le territoire) ou dans la situation 2 (l'effet du collectif génère des pollutions)
 - Situation 1 : peu d'intensification agricole mais (pression forte + pression faible) = impact moyen
 - Situation 2 : importante intensification agricole mais (6 x pression faible) = impact moyen



- Le modèle WATPPASS arrive à bien identifier les périodes de pollution. Mais il est difficile de prévoir les taux exacts de pollution



- Le modèle se compose de deux modules
 - Parcelle : on entre les types d'application => calcul des transferts depuis la parcelle
 - Bassin versant : fait la transformation entre application parcelle et la courbe de réponse de la rivière
- Parcelle rouge : proche de la rivière => pic de pollution restreint dans le temps
- Parcelle violette : loin de la rivière => réponse étalée dans le temps
- ⇒ Il est possible de simuler les tendances de pollutions pesticides dans le temps

Questions – discussions

Technicien Chambre d'Agriculture : Est-ce qu'avec le nombre de données actuellement récoltées on va pouvoir faire évoluer ce modèle en termes de précision ?

Chercheur CIRAD sur les transferts de pesticides: Tout à fait. Il y a justement l'observatoire OPAL qui est un dispositif de suivi sur la rivière Galion. Ce dispositif permet d'étudier à la fois les pratiques agricoles qui sont mises en œuvre sur le Galion, mais mesure aussi la qualité des eaux. Donc on connaît assez bien les relations entre les quantités appliquées et celles retrouvées dans la rivière. On aura bientôt deux années de données sur le bassin versant, ce qui nous permettra, par cette mise en relation, de faire évoluer cet outil pour augmenter sa précision. Mais pour augmenter sa précision, il faut augmenter le nombre de données que l'on met en entrée et c'est compliqué. Mais même dans une version non exacte, le classement des situations en sortie du modèle reste intéressant pour comparer un scénario innovant du bassin à l'évolution de la situation actuelle du bassin sans conception.

Agriculteur Banane Export : Existe-t-il des marqueurs qui pourraient être mis dans les produits que les agriculteurs appliquent, pour mieux évaluer les temps de transfert ?

Chercheur CIRAD sur les transferts de pesticides : Cela existe mais c'est très cher à mesurer. Il est possible de faire ce type de mesure avec des marqueurs mais cela implique d'utiliser des molécules marquées radioactivement, ce qui peut poser des problèmes dans l'environnement. Il existe également des traceurs mais qui ne se dégradent pas (type chlordécone) et qui peut se retrouver dans l'ensemble de la chaîne alimentaire, s'accumuler dans certains milieux. C'est pour cela que l'on préfère travailler à partir des pratiques effectivement faites sur le bassin.

Représentant Canne Union : Concernant le temps de demi-vie, qu'est-ce qui explique la dégradation plus rapide d'une molécule ? est-ce que ce sont des facteurs chimiques, biologiques, et est-ce que le produit disparaît complètement ?

Chercheur CIRAD sur les transferts de pesticides : Il y a des facteurs intrinsèques aux molécules. Par exemple, pour la chlordécone, sa structure est comparable à celle d'un tank, une carapace très solide. Donc l'attaque par des entités biologiques est très complexe et quasiment impossible. Il y a des molécules plus facilement attaquables par la vie biologique du sol. Mais c'est difficile de répondre car, pour certaines molécules, ce serait plutôt lié à leurs facteurs chimiques de composition moléculaire, et pour d'autres ce serait lié à l'interaction entre la biologie et les caractéristiques de ces molécules.

Sur la dégradation, cela dépend aussi des molécules. Certains pesticides disparaissent complètement. Par exemple l'AMPA est un produit de dégradation du glyphosate (qui a été coupé sur une liaison moléculaire, ce qui a donné l'AMPA et une autre molécule). Dans le cadre de nos travaux, on fait soustraire les analyses par un laboratoire, et on a demandé à ce qu'ils mesurent également les métabolites de ces pesticides (ces molécules issues de la dégradation). Donc pour certains c'est possible, comme l'AMPA, mais pour beaucoup, on ne sait pas mesurer les métabolites dans le milieu. Donc on a un trou de connaissances concernant le devenir de certains produits de dégradation des molécules pesticides.

Ingénieur IT2 : Quelle proportion d'un changement drastique sur le bassin versant faudrait-il ? est-ce qu'il y a quelque chose qui peut se faire sur le bassin versant dont on voit rapidement les effets ? notamment dans le cadre des changements de pratiques en gestion de l'enherbement, est-ce qu'il faudrait par exemple qu'il y ait 50% des producteurs qui ne mettent plus d'herbicides pour avoir un impact visible dans les 6 mois ?

Chercheur CIRAD sur les transferts de pesticides : C'est difficile de répondre. L'idée de ce type d'outil (le modèle WATPPASS) est de pouvoir le construire en temps réel et d'évaluer les changements dans le temps. En fait, en fonction des pesticides, certains vont se dégrader rapidement et générer souvent des pollutions ponctuelles (ils se transfèrent peu par les voies souterraines). Donc s'il y a un arrêt des pressions de ces pesticides, on aurait un effet qui pourrait se voir rapidement. Si, par contre, on est dans l'autre type de situation, c'est-à-dire des pesticides infiltrés en amont du bassin versant, il y aura un effet retard. Donc même si on arrête l'utilisation de ce type de pesticide, on pourrait voir une augmentation de la pollution dû à cette courbe-type de pollution, jusqu'à arriver sur la queue de la courbe, et donc une diminution, puis disparition de la pollution (voir courbe violette, dernière diapo). Mais cela va vraiment dépendre aussi du type de pesticide. Par exemple, je pense que pour l'AMPA, on est sur le type 2 de conformation. Donc c'est compliqué de répondre. Parce que l'intérêt de ce type d'outil est d'évaluer en temps réel l'effet d'une décision potentielle, comme la décision de mettre telle innovation sur telle partie du territoire, quel serait l'effet à court terme et sur le long terme. Et dans combien de temps, justement, on assisterait à une diminution de la pollution de l'eau par ces pesticides ? Car si on diminue la pression et qu'on ne voit pas d'effet directement sur la pollution, on peut être découragé.

Alors que c'est justement le fait de ne plus alimenter ces flux qui fera que, sur le plus ou moins long terme, on assistera à la disparition de ces pollutions. Mais si on continue à faire les mêmes entrées de pesticides, le cumul de type 2 de réponse dans la rivière va faire que les concentrations vont augmenter à termes.

Représentant DAAF : Pourriez-vous modéliser ce qu'il va se passer dans trois ans avec la fin du glyphosate ?

Chercheur CIRAD sur les transferts de pesticides : Oui on peut le modéliser. Mais la difficulté est que, tout seul, je ne peux pas savoir comment cela va changer. Je pourrai me mettre devant mon ordinateur et faire des simulations, sauf que je ne saurais pas comment cela va changer réellement dans les exploitations agricoles, les filières etc. D'où la nécessité d'un travail collectif sur la façon dont on va changer. Par exemple quelles seront les évolutions des pratiques après l'arrêt du glyphosate. Parce qu'on a vu qu'il n'y a pas que les pratiques d'applications qui jouent sur les transferts de pesticides dans l'environnement, mais les autres pratiques à la parcelle jouent un rôle important également, comme le travail du sol, la matière organique etc. qui jouent sur la remobilisation des pesticides des parcelles vers les nappes et les eaux ruisselées. Donc c'est l'intégration de tout cela qui permet de modéliser les transferts de pesticides dans l'environnement. Et cela, on est obligé de le faire ensemble.

Agriculteur Banane Export : Quel est le temps de demi-vie de la chlordécone ?

Chercheur CIRAD sur les transferts de pesticides : On n'arrive même pas à la calculer. Parce que les taux de dégradation sont tellement faibles, que sur la durée d'une vie humaine, on ne peut pas l'observer suffisamment pour déterminer un temps de demi-vie.

Agriculteur Banane Export : Et si on faisait apparaître les temps de demi-vie des molécules sur les sacs de pesticides, pour informer les agriculteurs ? De manière à ce que l'utilisateur sache quel impact aura l'utilisation de ce pesticide.

Chercheur AgroParisTech en agronomie : C'est une réelle difficulté, et peut-être que dans les discussions avec les agriculteurs, on pourrait l'aborder : c'est la question de savoir la différence entre un scénario pour demain, où on se perçoit comme menacé si on perd sa récolte etc. et l'effet dans un siècle. Et sûrement que l'on se dit que peut-être, dans un siècle, les gens en garderont une trace. Mais là, pour le moment, j'ai l'impression que si je ne fais pas ça je vais perdre ma culture. Alors à termes, j'aurais peut-être des revenus pas terribles. Et c'est ça qu'il faut déconnecter. Il y a exactement les mêmes problèmes en métropole, les agriculteurs ont exactement les mêmes remarques, et ils savent très bien que c'est dangereux.

Techniques qui réduisent l'usage des herbicides en bananeraies



LES GRANDES FAMILLES DE PLANTES DE SERVICES

2 grandes familles de plantes disponibles sous forme de semences

- Les légumineuses, fixatrices d'azote
- Les graminées, à forte production de biomasse

Autres familles spontanées et disponibles sous forme de boutures

Tolérantes ombrage

	Graminées		Légumineuses			Autres	
Annuelles	Eleusine	Miller	Centrosema	luzerne	Crotalaire Sesbania	Kaya-blanc	
vivaces	Brachiaria	Paspalum	Arachide	Keonjonia Baeraria	Desmodium	Impatiens	Petit mouron

- Légumineuses : cellulosiques => intéressantes pour la vie du sol
- Graminées : système racinaire fasciculé, tolèrent bien la fauche
- Spontanées : méthodes de boutures développées avec des pépiniéristes privés
- Les plantes vivaces, pérennes vont généralement être installées sous bananeraies, notamment les plantes tolérantes à l'ombrage

INTÉRÊTS DES PLANTES DE SERVICES

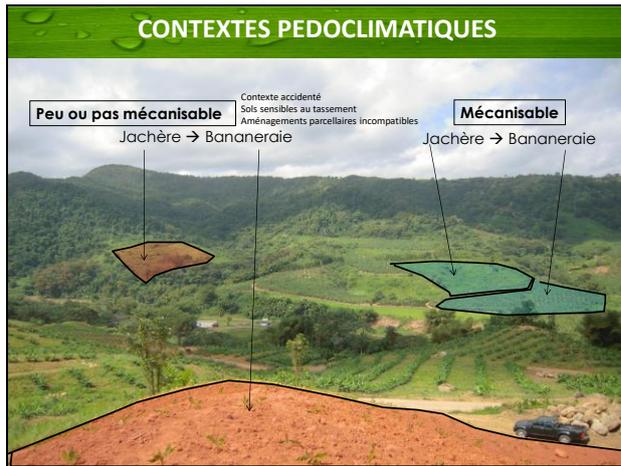
Les familles de plantes majoritaires

Les graminées (Poacées)

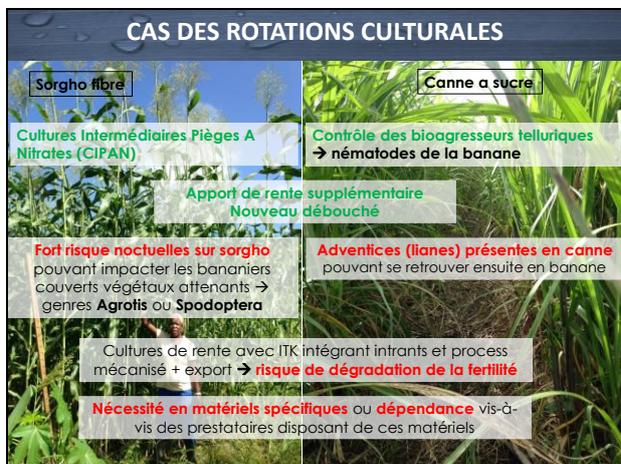
- excellents couverts pour la **structuration** des sols et le **recyclage**
- **C/N généralement élevé**, attention aux faims d'azote
- plantes à talle tolérante et favorisées par le **fauchage**
- **Affouragement** possible
- plantes « **cellulosiques** » favorisant les bactéries

Les légumineuses (Fabacées)

- **capacité à fixer l'azote de l'air** via association symbiotique avec des rhizobiomes (se traduit par la présence de nodules racinaires)
- **C/N peu élevé** permettant leur décomposition rapide
- **peuvent supporter la fauche** pour les **espèces à stolons**
- **Affouragement** pour certaines, et généralement **riche en protéines**
- apportent des **sucres simples** favorisant l'activité biologique et pour certaines **de la lignine** favorisant les champignons bénéfiques
- Attention au **photopériodisme**



- Réflexion de l'installation du couvert en fonction des contextes pédoclimatiques mécanisables/peu ou pas mécanisables
- Actuellement, 60% des couverts en jachère sont en couverts spontanés
 - + protection du sol
 - + repos végétatif
 - contrôle des bioagresseurs du sols



- En Martinique, 600ha de rotation canne/banane
- Essais de sorgho fibre chez un producteur du Galion :
 - Jusqu'à 80 tonnes en vert en 75 jours
 - Nécessite peu d'intrants

PLANTES DE SERVICES EN JACHERE



PLANTES DE SERVICES EN JACHERE



PLANTES DE SERVICES EN JACHERE



PLANTES DE SERVICES EN BANANERAIE



PLANTES DE SERVICES EN BANANERAIE



PLANTES DE SERVICES EN BANANERAIE

Centrosema (annuelle) – mécanisable ou non

Légumineuse « lianescente » annuelle très rapide à germer et à se développer.

Colonisation très rapide de l'espace, intéressante pour les pentes

mals onéreuse... et annuelle...



PLANTES DE SERVICES EN BANANERAIE

Desmodium (vivace) – mécanisable ou non

Légumineuse pérenne, très lente à germer et à se développer.

Mais couvert très intéressant sous bananeraie car tolérante ombrage peu encombrante



INTERETS DES PLANTES DE SERVICES

- Contrôle des bioagresseurs

Propriétés racinaires → Cas des **brachiarias** agissant sur les pops nématodes
→ Cas des **crotalariaes** qui exsudent des composés alcaloïdes
→ Cas des plantes à germinations et croissance rapides

Compétition

Propriétés allélopathiques → Cas des feuilles du **Pois d'Angole** sur les adventices

Favorisation de la biodiversité → travaux Cirad sur la prédation des nématodes et des œufs de charançons

- Amélioration de la fertilité :

Remobilisation des éléments nutritifs

Favorisation de la porosité et ainsi de la **circulation hydrique** → fasciculé/pivot

Limitation des processus de dégradation des sols par lessivage

Protection physique du sol (« **effet couvercle** ») et **contrôle du ruissellement**

Apport lignine → Cas du **Pois d'Angole** (favorisation mycorhizienne)

Fixation d'azote organique et action « **amendement** » → Cas des **légumineuses**

Favorisation de la vie des sols → chaînes trophiques digesteurs, moteur sol...

- Préservation de l'environnement

Limitation des pollutions diffuses → Etude de cas bassin versant **AGERIS RIFA**

Réduction voire suppression des pressions → pesticides, intrants fertilisants, NRJ

- Economiques et organisationnels

Maîtrise des intrants / Affouragement / Pas de DRP-DAR / durabilité AgroSystème

CONTRAINTES ET PISTES DE TRAVAUX

- **Nécessite l'utilisation d'herbicide ou matériels spécifiques à la destruction**
 - **Maintien du Brachiaria en banane ou suppression sur lignes seulement**
- **Peu de solutions pour l'implantation et la gestion des couverts dans les contextes difficiles**
 - **Nécessite encore des travaux de recherche et d'évaluation de matériels innovants**
- **Peu de solutions contre les lianes - coûts élevés pour leur contrôle manuel**
 - **Réflexion sur des stratégies à base de biocontrôle et/ou de PNPP**
- **De nouveaux organismes problématiques pour leur déploiement : noctuelles, Limicolaria...**
- **Méconnaissance encore quant à l'ajustement des apports fertilisants et les effets de concurrence**
- **Approvisionnement réglementé de plus en plus strict et coûteux**
 - **Crible / veille réglementaire / groupage des approvisionnements**
- **Connaissances encore insuffisantes dans le fonctionnement de la vie du sol**
 - **Suivis de la biodiversité utile**
- **Aides limitées et pas assez diversifiées – Reconnaissance AE consos limitée**
 - **Réflexion mutualisation / Aides OP / Groupage / Labels spécifiques ?...**

PDS ENTRETENUE EN BANANERAIE PENTUES

Exploitation La Richard



90 hectares gérés en débroussaillage
 0 herbicides, 0 insecticides
 2100€/hectare de moyenne (x2 vs gestion chimique)
 Equipe de 6 opérateurs 5j/7, 7h/jour
 → En transition pour une gestion débrouss. Électrique
 Investissement dans une motofaucheuse robuste et polyvalente pour les jachères

- 7 passages de débroussailluse par an
- Favorisation du Petit Mouron

JACHERES BRACHIARIA BROYEES AVANT MISE EN CULTURE

Exploitation La Richard



Jachère semée à la volée en *Brachiaria ruziziensis* (selon météo)
 2 Fauches avec la nouvelle motofaucheuse
 Plantation au trou des bananiers dans le couvert
 Gestion de l'enherbement mécanique sans herbicides
 Si lianes, « grattage » pelle + sarclage précoce

- Machine à système de broyage à fléaux, peut être radiocommandée, pour faucher le brachiarias pendant la jachère
- Gestion 100% sans herbicides, en bananeraie + jachère

FOCUS SUR LE PAILLAGE DANS LES SDC BANANIERES



le plus « économique » / « pratique » et répandu

Résidus de cultures localisés

Amendement organique localisé

Paillage biodégradable 80µm

le moins « naturel »

Andaineuse

- Pratiqué surtout dans les lignes de bananiers avec résidus localisés
- L'amendement organique localisé peut avoir un effet paillage
- Il existe du paillage biodégradable mais cela ne fait pas fonctionner le sol
- Mulch avec des plantes à haut niveau de carbone qui permettent de tenir plusieurs semaines

Questions – discussions

Technicien Chambre d'Agriculture : A-t-on des données sur l'impact de l'arrêt de l'herbicide sur le rendement en banane ?

Ingénieur IT2 : En Martinique, il existe un producteur de bananes de trois hectares qui est 0 herbicides, c'est celui que j'ai montré avec le petit mouron. Il produit 67t/ha. Donc le couvert végétal n'a aucun impact sur le rendement puisque c'est l'un des plus gros producteurs de banane de l'île (en termes de rendement). En face de chez lui, il y a un producteur en conventionnel. On voit la différence, il y en a un qui court, et un qui ne court plus. Donc il faut travailler sur la compétition, savoir ce que ça signifie en termes de concurrence. Aujourd'hui, la filière banane veut qu'il y ait 50% des surfaces en couverts. Parce qu'on sait que les problèmes principaux qu'on a sur le rendement, ce sont les cyclones. Ce ne sont pas les couverts végétaux. Il y a une différence avec la métropole, car ici, on est sur des plantes que l'on achète, que l'on met sous les bananiers, et qui ne vont pas être valorisées financièrement. Elles sont valorisées uniquement d'un point de vue agronomique.

Chercheur AgroParisTech en agronomie : J'ai trois questions : (i) est-ce que les ressources en eau jouent ? On a vu un exemple en Thaïlande où ils en sont venus à repenser la répartition de la ressource en eau après avoir parlé couverture, (ii) dans les expériences de rotation de cultures banane – canne, a-t-on quand même observé une meilleure maîtrise des adventices ? (iii) y a-t-il des utilisations possibles des plantes à très grosses matières sèches, en dehors de l'enrichissement du sol en carbone ? Peut-il y avoir aussi des usages en énergie comme cela se fait en métropole ? parce qu'on a parlé d'animaux par exemple, est-ce qu'il y a des filières qui pourraient valoriser ces produits ?

(i) Ingénieur IT2 : avec des couverts végétaux, ça transpire donc on observe moins d'excès d'eau, et inversement : on maintient sous cette strate herbacée plus d'humidité. Il y a des zones irriguées, plutôt pour la période de carême climatique. Soit c'est du goutte à goutte, soit du sprinkler, mais il y a des gens qui n'irriguent pas et qui ont des couverts végétaux sans problème. On a plutôt un excès d'eau ici.

Chercheur CIRAD sur les plantes de couverture : il y a eu quelques alarmes. Un cas où en irrigué, ils ont eu deux trois alertes en carême sec, avec l'arachide. Mais sur la moyenne de l'année, il n'y a pas de problème.

Agriculteur Banane Export : Il est vrai que l'eau est un facteur important puisque la dynamique de l'azote est liée à l'eau. On sent que le végétal manque d'azote quand il commence à faire sec. Alors que quand on est dans la zone fraîche, quand il pleut tous les jours ou tous les deux jours, on met de tels niveaux d'azote chimique dans les bananeraies (300 unités d'azote/ha/an) que ce n'est pas une contrainte. La contrainte apparaît que quand il y a un phénomène de dessiccation, de sécheresse.

(ii) Ingénieur IT2 : la succession de culture avec la canne à sucre : aujourd'hui il y a un vrai contrôle bioagresseurs via la canne puisqu'elle n'est pas hôte du nématode de la banane. Mais on reste dans un système mécanisé. Je connais des producteurs qui mettent des plantes de couverture après canne, avant de mettre la banane. Pour re-perforer le sol, pour retravailler le sol, pour remettre un peu de vie dans le sol. Il y a aussi des problématiques de nouveaux bioagresseurs, notamment les lianes.

Ingénieur CTCS : en termes de rentabilité entre les deux cultures, on a les deux agricultures qui sont pérennes. Donc le pas de temps est assez long (5-10 ans pour la canne et 5 ans pour la banane). Auparavant, c'était très profitable en termes de gestion des adventices, quand les planteurs de bananes désherbaient davantage. C'était profitable aussi en termes de fertilisation, car juste après banane, on pouvait presque ne pas fertiliser la première année. C'est ce qu'on a remarqué de façon

empirique. Par contre, c'est vrai que depuis qu'on a tous des soucis de restriction en lutte chimique, ce n'est pas si simple que ça. On a des planteurs de bananes qui utilisent beaucoup de graminées en couverts végétaux, ce qui pose problème pour la culture de la canne ensuite. Vice versa pour les lianes. Donc la symbiose entre les deux cultures n'est plus aussi intéressante qu'avant. (...) Alors le labour oui mais quand on passe d'une culture à l'autre, on pratique toujours le labour. On peut même parfois, si on fait un labour trop profond, relever des roches etc. ça pose d'autres problèmes. On n'est pas sur des systèmes simples, il y a toujours des effets collatéraux. Il faut aussi se donner le temps de voir, par rapport au pas de temps.

(iii) Ingénieur IT2 : au sujet de la biomasse, une étude a été faite avec Albioma sur le sorgho fibre, et qui montre qu'il est intéressant. Mais ils demandent de la matière sèche à 50% sèche. Et ils n'investiront pas dans un système de séchage. Ils veulent la laisser sécher au champ, ce qui est compliqué car il faudrait 3-4 jours de soleil, et avec des fragments coupés de façon grossière pour ne pas que le sorgho se dégrade trop vite. Les autres plantes ne vont pas les intéresser car elles ne produisent pas assez de biomasse. Pour le sorgho fibre, on peut avoir des taux de biomasse de 35 tonnes sur deux cycles.

Chercheur CIRAD en écologie : je pense qu'il faut arrêter de tout faire pour avoir une biomasse importante car on essaye de restaurer la vie des sols. On ne peut pas restaurer la vie biologique des sols et, pendant une jachère, exporter 80t de biomasse. Une jachère est faite pour reposer le sol.

Chercheur AgroParisTech en agronomie : Cela dépend à quelle échelle on raisonne. Si on raisonne au niveau d'un bassin, on peut très bien avoir les deux stratégies et ne pas exporter systématiquement toutes les parcelles. La Champagne par exemple, était partie sur de l'exportation importante vers de la matière sèche. Ils se sont aperçus que cela avait des conséquences navrantes. Maintenant, ils exportent une fois sur deux et cela fonctionne, y compris pour la vie biologique du sol.

Annexe 6 : présentation du module agronomique

Dans un souci de simplification, le modèle retiendra uniquement la compétition pour la lumière à l'échelle de la parcelle entre les peuplements végétaux. Car notre échelle d'étude n'est pas centrée sur la parcelle, et notre sujet porte sur la gestion de l'enherbement, et non sur l'irrigation ou la fertilisation. On fera donc l'hypothèse que nous sommes dans des conditions optimales d'apport en eau et en nutriments par l'agriculteur.

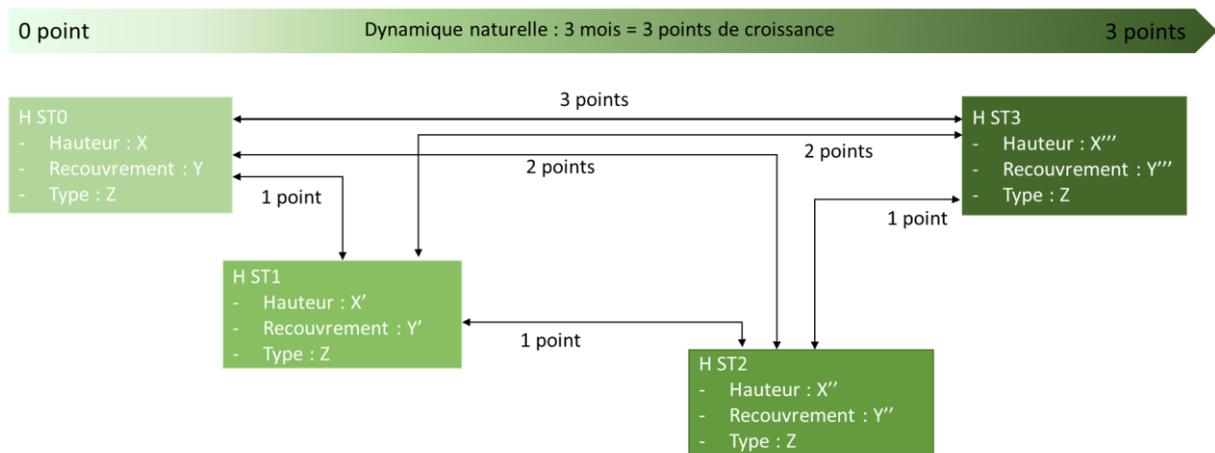
Le peuplement végétal est constitué de deux grands types de végétaux : (i) les cultures de rente, caractérisées par leur type, leur stade de croissance et leur rendement, (ii) les adventices, caractérisées par leur type et leur stade de croissance. Le stade de croissance des plantes et le rendement pour les cultures de rentes sont influencés par la compétition pour la lumière. Mais l'action de l'agriculteur joue également sur le stade de croissance des adventices, par ses actions de gestion de l'enherbement. Dans le même souci de simplification que précédemment, les actions de gestion de l'enherbement jouent uniquement sur le stade de croissance des adventices, car on fait l'hypothèse que l'agriculteur met en place ses pratiques de façon optimale, sans abîmer sa culture de rente.

Le modèle de croissance des adventices

En se basant sur les connaissances des agriculteurs et des experts en gestion de l'enherbement, on considère que les adventices atteignent leur maximum de croissance en trois mois, c'est-à-dire qu'une parcelle sans herbe sur laquelle on ne fait aucune action de gestion de l'enherbement se transformera en jachère non cultivée au bout de 3 mois. Le modèle se base sur une équation linéaire pour calculer le stade de croissance de l'herbe, en fonction de la compétition pour la lumière, des actions de gestion de l'enherbement, de la zone d'emplacement sur le bassin versant car il existe un fort gradient de pluviométrie, et de la saison car la saison des pluies favorise la croissance des adventices.

La figure 1 présente le modèle conceptuel de la croissance des adventices qui a ensuite été implémenté dans le modèle informatique de l'état du peuplement végétal à la parcelle :

Dynamique de l'herbe sur la parcelle



$\Delta \text{ point} = + 3 + \text{effet saison} + \text{effet zone} + \text{effet pratique de gestion de l'enherbement} + \text{effet compétition pour la lumière}$

Figure 1: modèle conceptuel de la dynamique de croissance des adventices à l'échelle de la parcelle.

La croissance de l'herbe va du stade 0 (terre nue) au stade 3 (jachère). D'après le diagnostic du système sociotechnique, les agriculteurs différencient leur pratique de gestion de l'enherbement en fonction du type d'adventice : monocotylédones, dicotylédones, lianes. Bien que les lianes soient des dicotylédones, elles se distinguent par leur croissance très rapide et leur persistance sur les parcelles, ce qui en fait des herbes particulièrement difficiles à gérer. C'est pourquoi chacun des trois types d'herbes sera distingué sur le modèle (type : Z Figure 1). A chaque stade H ST0, H ST1, H ST2, H ST3, et pour chaque type d'herbe Z, correspond une hauteur et un recouvrement de l'herbe d'après lesquels sont calculés la surface foliaire du peuplement, et donc sa compétition pour la lumière face à la culture de rente (figure 1). Le stade de l'herbe est déterminé par le nombre de point obtenu d'après l'équation figure 1 : 0 point = H ST0, 1 point= H ST1, 2 points= H ST2, 3 points = H ST3. Sur les 4 effets additionnés, certains peuvent avoir des effets négatifs sur le nombre de points comme les actions de gestion de l'enherbement et la compétition pour la lumière de la culture de rente, mais aussi des effets positifs ou négatifs en fonction de la zone du bassin versant et de la saison. Le maximum de point ne dépasse pas 3. L'impact des actions de gestion de l'enherbement sur la croissance des adventices est présenté en Annexe 9. Ces impacts ont été mesurés d'après les pratiques des agriculteurs de notre bassin versant (Brykalski, 2015) et à dire de chercheurs spécialistes en gestion de l'enherbement.

Le stade de croissance des trois types d'herbes est calculé tous les trois mois. C'est pourquoi nous avons décidé que le pas de temps de décision des agriculteurs-joueurs serait de trois mois. Tous les trois mois, les agriculteurs-joueurs doivent décider des actions de gestion de l'enherbement qu'ils vont mettre en place pour les trois mois suivants.

Le modèle de croissance des cultures de rentes

Les cultures de rente ont des stades de croissance différents selon leur cycle cultural. Afin d'harmoniser la sémantique avec les stades de croissance de l'enherbement, les stades des cultures vont de 0 à 3, stade de la récolte. Un stade 2 de croissance d'un arbre ne correspondra pas à un stade 2 de croissance de banane en termes de hauteur et de recouvrement, c'est simplement une manière de découper les stades de croissance en harmonie avec ceux des adventices, pour simplifier la compréhension du joueur. Ainsi, chaque stade pour une culture est caractérisé par une hauteur et un recouvrement qui est propre à chaque culture. Le rythme de calcul est basé sur la croissance des adventices. Aussi, à chaque trimestre passé, correspond un stade différent de croissance de chaque culture, en fonction de son cycle cultural, présenté en figure 2.

Les points bleus sur la figure 2 expriment l'évolution de la croissance d'une culture pour le trimestre suivant celui du stade 3. Par exemple, le cycle de production de l'ananas est de deux ans. Il arrive donc au stade 3 de récolte au bout de deux ans, mais repart en stade 2 après la récolte pour une nouvelle année de récolte. Un arbre met en moyenne 5 ans à être au maximum de sa production, puis il produit tous les ans et reste donc au stade 3 de croissance. Dans un souci de simplification, les arbres restent au stade 1 durant les 2 premières années après la plantation.

La culture de rente donne un rendement à la fin de son cycle, noté sur 10. La performance de l'exploitation est ensuite calculée sur la base des rendements de ses cultures de rente.

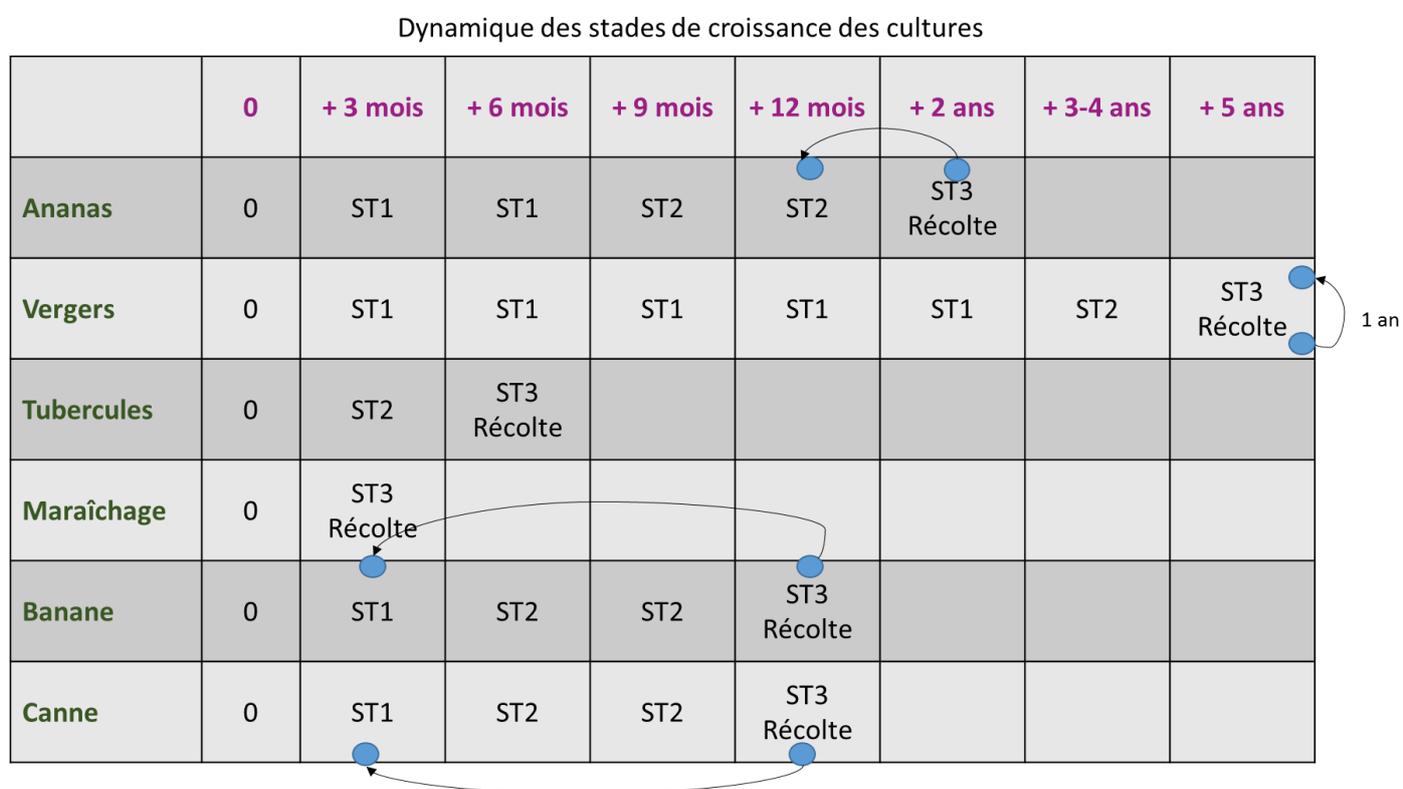
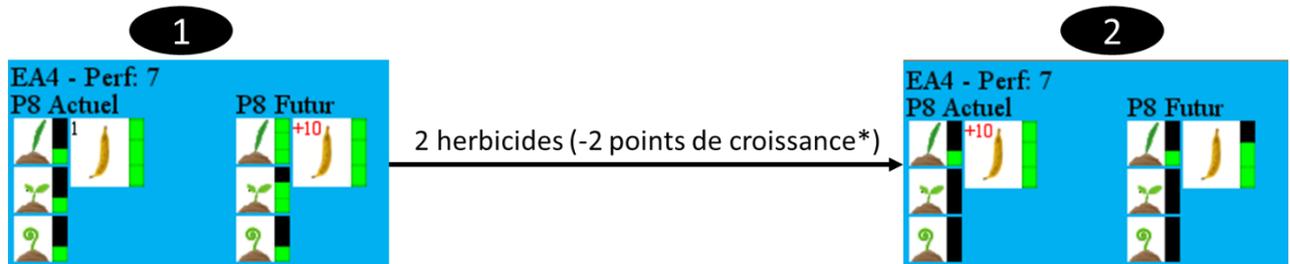


Figure 2: la dynamique des stades de croissance des cultures.

Afin de centrer le jeu sur notre question de la gestion de l'enherbement, les stades de croissance de la culture de rente sont automatiques et seuls les rendements sont impactés par la compétition pour la lumière des adventices. Les rendements sont d'autant plus impactés que la compétition arrive à un stade jeune de la culture, en stade 1. Puis l'impact de la compétition diminue jusqu'au stade 3.

Exemple



*Voir fiche technique (Annexe 9)

Explication de l'exemple :

Dans le cadre n°1, la parcelle présente quatre types de végétaux :

- Des monocotylédones au stade 1 de croissance
- Des dicotylédones au stade 1 de croissance
- Des lianes au stade 1 de croissance
- Une culture de rente (ici banane plantain) au stade 3 de croissance

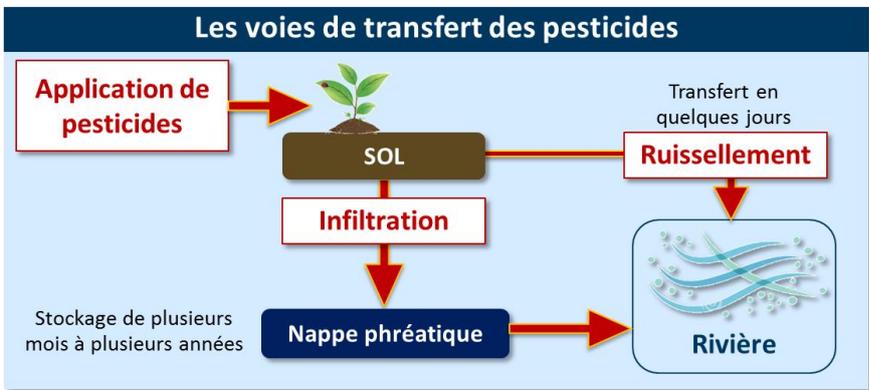
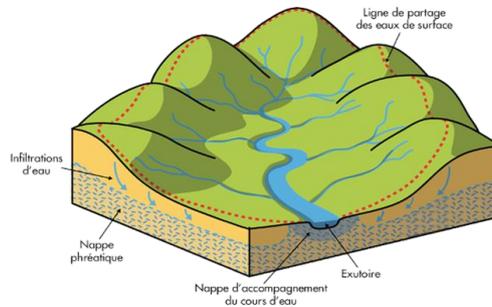
Si rien n'est fait sur cette parcelle, elle présentera un fort enherbement, en particulier des monocotylédones en stade 3, mais aussi des dicotylédones en stade 2, et les lianes resteront au stade 1 en raison de la forte compétition avec les autres végétaux. Ici, l'agriculteur décide d'appliquer 2 herbicides totaux sur cette parcelle, en sachant qu'un herbicide total enlève 1 point de croissance aux monocotylédones et dicotylédones, et 0,7 point aux lianes (voir Annexe 9). Ce qui, en arrondissant au supérieur, enlève 2 points de croissance à chaque type d'adventice. On obtient alors (cadre 2) une parcelle avec :

- Des monocotylédones au stade 1 au lieu de 3
- Des dicotylédones au stade 0 au lieu de 0
- Des lianes au stade 0 au lieu de 1
- Une culture de rente récoltée (avec 10 points de rendement)

Il faut savoir que le modèle ramène un stade de croissance négatif automatiquement à 0 (par exemple ici les lianes ne sont pas à -0,4 dans le cadre 2 mais bien à 0).

Annexe 7 : panneau informatif sur le fonctionnement du module transfert

Les dynamiques de transfert



Les risques de transfert

Le risque de transfert des pesticides vers les milieux aquatiques dépend de :

- Pratiques agricoles**
Quantité de pesticides, toxicité et dégradabilité des molécules, travail du sol...
- Milieu environnant**
Pluie, pente, proximité du cours d'eau, nature du sol...

Trois paramètres pris en compte :

- Nature du sol
- Distance à la rivière
- Pluviométrie

Distance à la rivière et transfert

Plus on est proche de la rivière plus le risque de transfert est important

Nature du sol et transfert	
Type de sol	Capacité de transfert
Andosols	+
Intergrades	++
Ferrisols	++
Nitisols	+++

Gradient pluviométrique et transfert	
Zone climatique	Capacité de transfert
Zone 3	+++
Zone 2	++
Zone 1	+



Ne pas oublier l'effet des saisons

Annexe 8 : fiche exploitation EA1 de coût des actions de gestion de l'enherbement

		Fiche Exploitation						
Exploitation EA1		Fauche	Binage Total	Sarclage spécifique	Herbicide	Plante de couverture		Travail du sol (2ème partie du jeu uniquement)
						Coût implantation 	Coût implantation 	
P1	Force de Travail	1	4	2	1	1	4	2
	Argent	1	1	1	4	4	2	2
P2	Force de Travail	4	9	7	2	2	8	7
	Argent	4	2	2	8	8	4	7
P3	Force de Travail	2	5	3	1	2	6	3
	Argent	2	2	2	6	6	3	3
Tableau des performances		<i>à cocher lorsque la performance de votre exploitation change, et prévenir le conseiller agricole</i>						
[0-3]	Argent	-3						
[4-6]	Argent	-1						
[7-9]	Argent	0						
[9-10]	Argent	+1						
>10	Argent	+3						

Annexe 9 : Fiche Technique

					
Herbicide total	-1	-1	-0,7	0	0
Herbicide Monocot	-1	0	0	0	0
Herbicide Dicot	0	-1	-1	0	0
Fauche	-0,5	-0,5	-0,3	-0,2	-1
Sarclage Lianes	0	0	-1	0	0
Sarclage Dicot	0	-1	0	0	0
Sarclage Monocot	-1	0	0	0	0
Binage	-0,7	-0,7	-0,7	X	X

2^{ème} partie du jeu uniquement

Moutons	-2	-2	-2	-2	-2
Travail du sol	-2	-2	-2	-2	-2

Annexe 10 : exemple d'un panneau d'innovation présenté pendant le jeu

5

Bassin versant vitrine de bonnes pratiques

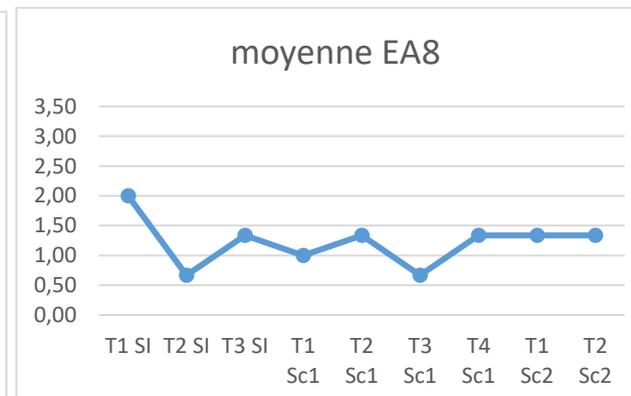
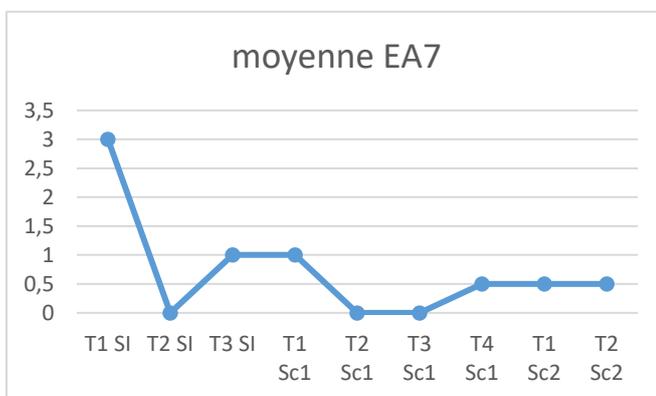
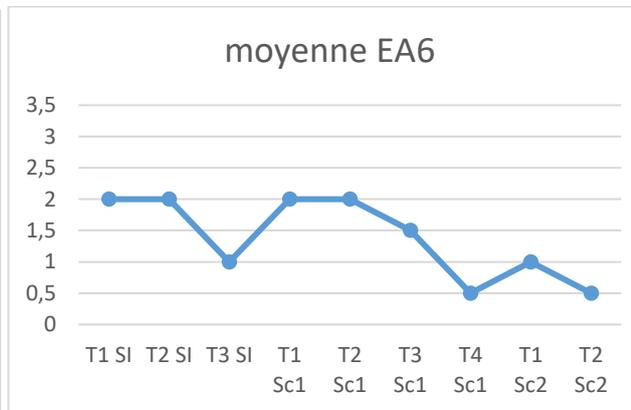
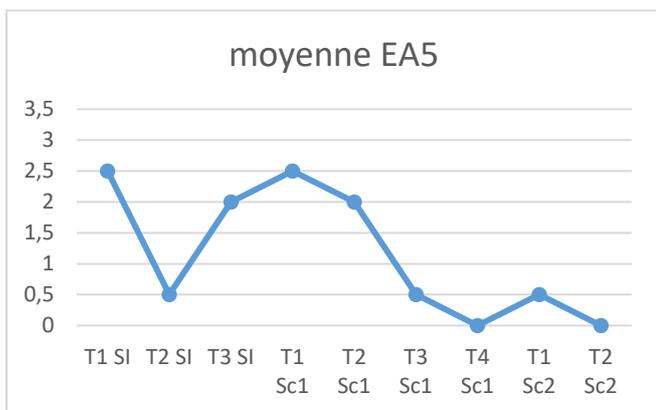
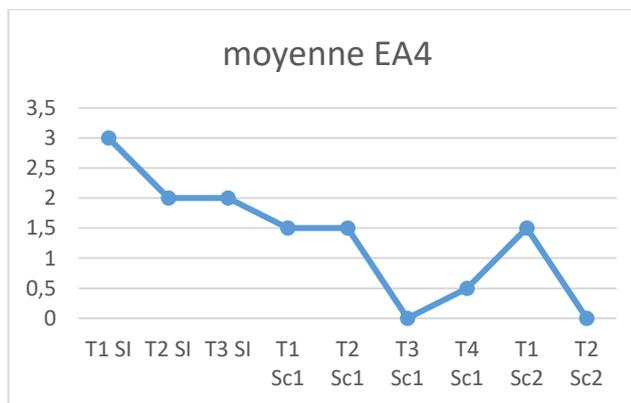
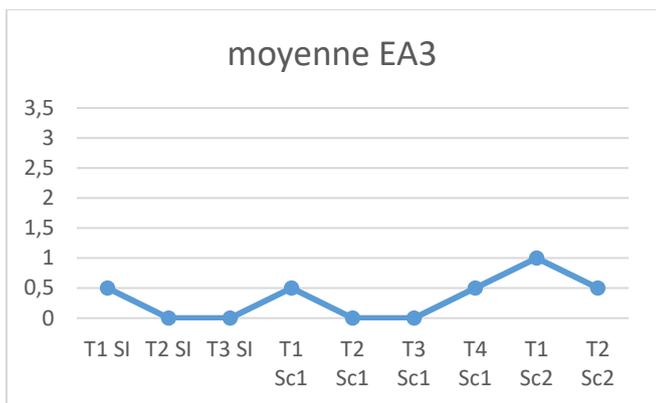
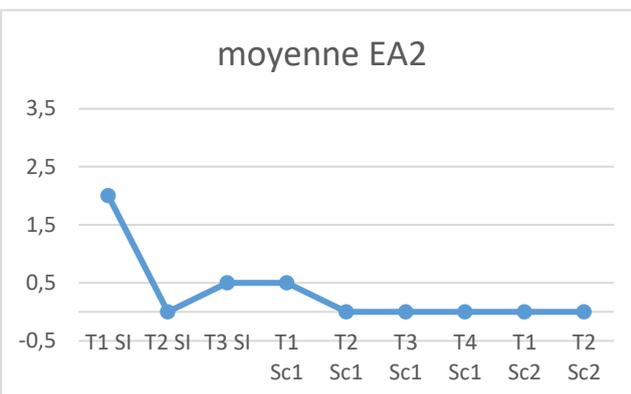
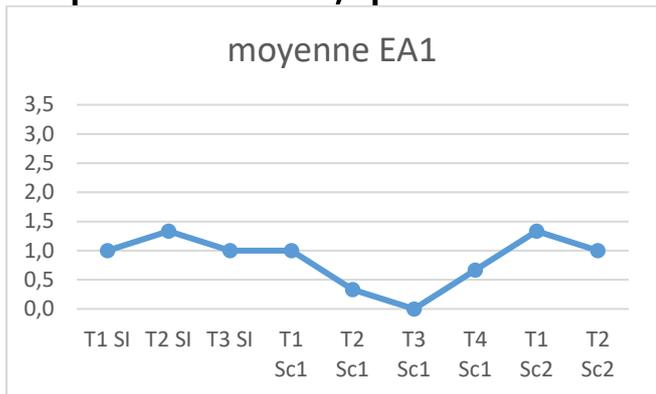
Accès à:

- Augmentation de la performance de l'Exploitation agricole >10 (labellisation)

Conditions: Gratuit

- Charte: **1 herbicide / Exploitation Agricole / an**

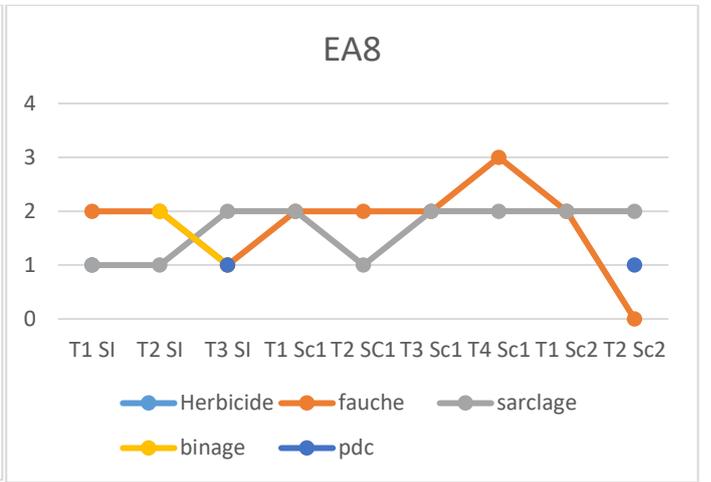
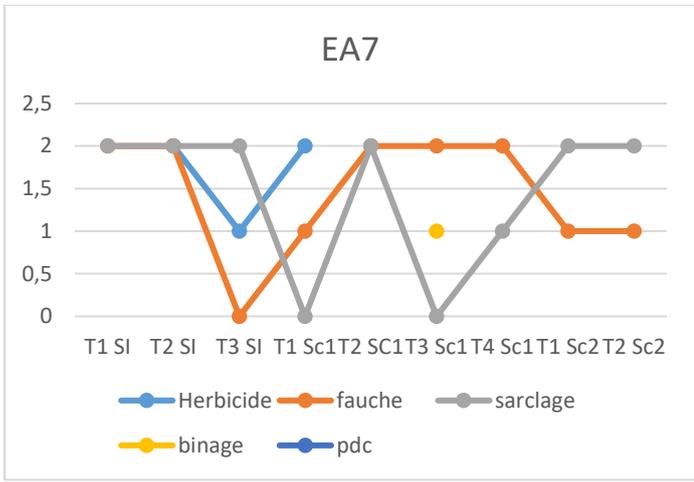
Annexe 11 : enherbement moyen dans les exploitations, par trimestre



Annexe 12 : Pratiques de gestion de l'enherbement des exploitations, par trimestre

pdic = Plante de couverture





Annexe 13: Situation de départ des exploitations agricoles du jeu sérieux

Trimestre précédent: Octobre - Décembre

Trimestre suivant: Janvier - Mars

Tours: 0



EA1 - Perf: 7 P1 Actuel P1 Futur 		EA3 - Perf: 7 P6 Actuel P6 Futur 		EA5 - Perf: 7 P10 Actuel P10 Futur 		EA7 - Perf: 7 P14 Actuel P14 Futur 	
P2 Actuel P2 Futur 		P7 Actuel P7 Futur 		P11 Actuel P11 Futur 		P15 Actuel P15 Futur 	
P3 Actuel P3 Futur 		EA4 - Perf: 7 P8 Actuel P8 Futur 		EA6 - Perf: 7 P12 Actuel P12 Futur 		EA8 - Perf: 7 P16 Actuel P16 Futur 	
EA2 - Perf: 7 P4 Actuel P4 Futur 		P9 Actuel P9 Futur 		P13 Actuel P13 Futur 		P17 Actuel P17 Futur 	
P5 Actuel P5 Futur 						P18 Actuel P18 Futur 	

Liste des tableaux et des figures

Figure 1: représentation schématique de l'occupation du sol agricole au cours de l'histoire Martiniquaise: (a) du 17 ^e siècle à 1820, (b) de 1820 à 1920, (c) de 1920 à nos jours	16
Figure 2: cartographie de l'occupation agricole en Martinique, au regard de l'urbanisation et de la contamination des sols à la chlordécone (source : DAAF, (Barbazan, 2003), BRGM/RP-66297-FR)	19
Figure 3: systèmes de culture classiques des deux principales monocultures (Banane Export et canne, à partir de (Mottes, 2013))	21
Figure 4: cycles de culture de quelques productions présentes dans les systèmes plus ou moins associés d'agriculture de diversification	22
Figure 5: Qualité chimique des cours d'eau de Martinique (ODE 2016)	24
Figure 6: nombre de détection des substances actives pesticides dans les rivières de Martinique, de 2011 à 2016 (source: ODE 2017).....	25
Figure 7: QSA Herbicide vendues en Martinique entre 2011 et 2015 (Source : BNVD de note de suivi DAAF, 2015).....	26
Figure 8: effet potentiel des pratiques agricoles sur le transfert des pesticides hors de la parcelle (source : (Mottes, 2013) complétée par Charles Mottes)	28
Figure 9: représentation schématique de l'effet de la distance sur les dynamiques de transfert dans le module bassin versant du modèle WATPPASS (Charles Mottes 2018)	30
Figure 10: représentation schématique du système territoire dans sa triple dimension tel que défini par (Benoit et al., 2012; Di Meo and Buléon, 2005; Laganier et al., 2002; Moine, 2006) : géré par des acteurs en relations (orange), sur un espace aménagé (noir), et qui est l'objet de représentation de la part des acteurs du territoire et des acteurs extérieurs (violet). Ce système impacte l'aménagement de l'espace physique, ce qui peut avoir des répercussions environnementales, comme ici la pollution de la rivière à l'exutoire (rouge) (source : Pauline Della Rossa).	33
Figure 11: schéma du système complexe étudié dans la thèse	39
Figure 12: système sociotechnique (Loorbach, 2007), d'après Geels and Kemp 2000	40
Figure 13: présentation d'un modèle de jeu sérieux pouvant répondre à l'élaboration de solutions pour une gestion commune d'une ressource naturelle	47
Figure 14: trois méthodes qui s'alimentent dans une démarche de conception d'innovation agricoles territoriales	53
Figure 15: carte du bassin versant du Galion. Les traits noirs distinguent les trois grandes zones pédoclimatiques.....	57

Figure 16: cycle de gestion de l'enherbement en banane export, d'après les données de (Brykalski, 2015). Les nuages indiquent la saison des pluies. Le gradient de vers indique le degré d'ouverture du couvert végétal de complètement ouvert (blanc) à couvert fermé (vert foncé).	60
Figure 17: cycle de gestion de l'enherbement en canne (gros planteurs), d'après les données de (Brykalski, 2015). Les nuages indiquent la saison des pluies. Le gradient de vers indique le degré d'ouverture du couvert végétal de complètement ouvert (blanc) à couvert fermé (vert foncé).	61
Figure 18: cycle de gestion de l'enherbement en canne (petits planteurs), d'après les données de (Brykalski, 2015). Les nuages indiquent la saison des pluies. Le gradient de vers indique le degré d'ouverture du couvert végétal de complètement ouvert (blanc) à couvert fermé (vert foncé).	62
Figure 19: cycle de gestion de l'enherbement en banane plantain, d'après les données de (Brykalski, 2015). Les nuages indiquent la saison des pluies. Le gradient de vers indique le degré d'ouverture du couvert végétal de complètement ouvert (blanc) à couvert fermé (vert foncé).	63
Figure 20: cycle de gestion de l'enherbement en diversification, d'après les données de (Brykalski, 2015). Les nuages indiquent la saison des pluies. Le gradient de vers indique le degré d'ouverture du couvert végétal de complètement ouvert (blanc) à couvert fermé (vert foncé).	64
Figure 21: fréquences de détection des molécules à l'exutoire du bassin versant du Galion selon les données de l'ODE entre 2008 et 2011. (Raimbault, 2014)	67
Figure 22: chronologie du processus de conception mis en œuvre dans la thèse. Les cadres gris expriment les différentes étapes, les cadres jaunes expriment les résultats opérationnels de chaque étape. Les flèches indiquent l'ordre chronologique des phases. A droite se situe la barre chronologique (flèche noire) avec les dates clés des qui ont jalonné le processus de conception. La flèche verte indique la durée de fabrication du jeu sérieux. Les ronds bleus indiquent à quelle partie du chapitre 2 se réfère ces étapes / à quel chapitre résultat se réfère ces étapes.	69
Figure 23: Diagramme C-K adapté de (Agogué et al., 2013).....	74
Figure 24 : interprétation personnelle de l'évolution de l'espace commun de connaissance K grâce à la méthode KC. A gauche nous sommes en situation de brainstorming où la base de connaissances commune est formée uniquement des connaissances partagées initialement par les participants, où les connaissances propres à l'individu demandent plus ou moins d'effort de la part de l'individu pour lui faire intégrer l'espace de connaissance commun selon la distance cognitive à cet espace (flèche verte quand la distance est parcourable, ou rouge quand la distance est trop grande), tandis qu'avec une démarche KC à droite, l'espace des connaissances s'agrandit et permet aux individus de partager plus facilement leurs connaissances propres, et permet également de pointer les manques de connaissances du collectif, que la méthode cherche à combler. Cette méthode permet ainsi d'augmenter les connaissances individuelles (sur le schéma les connaissances d'un individu sont celle de son espace personnel auquel on ajoute celles du collectif. Ainsi, on passe de 8 connaissances pour un individu en brainstorming à 18 connaissances pour un individu en conception innovante).	75
Figure 25: position du chapitre 3 dans le processus expérimental de la thèse	83

Figure 26: the quality of the river is affected by herbicides practices over the watershed. Pollution diffuses leads us to highlight lock-in effects for ecological transition, at the scale of a territory. We want to know if objectives of supply chains meet the objectives of territories for innovation design in weed management.....	88
Figure 27: Diagram of our regime's actors according to their scale of action (farm, watershed, Martinique, Continental France), and to their meta-coordination in the dominant regime from (Geels 2004).....	90
Figure 28: Farmers' uses of herbicides in Galion watershed, by cropping systems (9 banana export farms, 7 sugarcane farms, 7 diversification farms).Averages show that Banana Export cropping system uses more herbicides than others. Diversification contain a large variety of production systems and so of weeds management practices.	95
Figure 29: Diagram of obstacles induced by the sugarcane (green outline) and banana (yellow outline) innovation regimes. Herbicide use is maintained by some aspects of each regime (grey outline). Those induce innovation lock-in for weed management (orange outline).....	106
Figure 30: positionnement du chapitre 4 dans le processus expérimental de la thèse.....	121
Figure 31: schéma qui explicite la succession des étapes du processus de conception explicitée dans la partie 2 (reprend la partie en pointillé de la fig 1). Les cadres gris indiquent l'étape de conception, les cadres jaunes indiquent les résultats de l'étape de conception correspondante. Les flèches en pointillés amènent vers l'évolution du référentiel C-K qui permet de visualiser l'évolution de notre objet à concevoir C0 au cours du processus de conception. Les cadres rouges indiquent l'évolution du référentiel C-K à chaque étape. A chaque étape est indiqué le numéro de la partie correspondante du chapitre, et à chaque référentiel C-K le numéro de figure correspondante dans le chapitre.	123
Figure 32: référentiel C-K avec effet de fixation	124
Figure 33: arbre des concepts explorés par les acteurs de l'innovation en gestion de l'enherbement en banane, effet de fixation entouré en rouge	129
Figure 34: arbre des concepts explorés par les acteurs de l'innovation en gestion de l'enherbement en canne, effet de fixation entouré en rouge	130
Figure 35: arbre des concepts explorés par les acteurs de l'innovation en gestion de l'enherbement en agriculture de diversification, effet de fixation entouré en rouge.....	131
Figure 36: espace K des connaissances des acteurs de l'innovation en gestion de l'enherbement en canne, banane et diversification en Martinique, pour une réduction de la présence d'herbicide dans les rivières. Les ronds bleus sont des indicateurs pour la lecture du texte.....	137
Figure 37: référentiel C-K. Les flèches oranges indiquent les connaissances qui ont permis de construire le concept relié. Les concepts encadrés en rouge représentent la voie d'exploration choisie pour le processus de conception de la thèse.	140
Figure 38: schéma remplaçant les thématiques des présentations de l'atelier K en fonction du système étudié dans la thèse.....	142

Figure 39: Référentiel C-K à l'issue de l'atelier K. Les cadres gris clair sont des concepts connus et des connaissances stabilisées, les cadres gris foncés sont des concepts atteignables et des connaissances qui demandent encore de la recherche, les cadres noirs sont des concepts en rupture et des manques de connaissance. Les flèches oranges indiquent les connaissances qui ont permis de construire le concept relié. Les concepts encadrés en rouge représentent la voie d'exploration choisie pour le processus de conception de la thèse. Les flèches en pointillés montrent que les thèmes choisis pour la phase C nous orientent vers un approfondissement de la voie d'exploration que nous avons choisie..... 151

Figure 40: Référentiel C-K à l'issue des ateliers C d'exploration. Les cadres gris clair sont des concepts connus et des connaissances stabilisées, les cadres gris foncés sont des concepts atteignables et des connaissances qui demandent encore de la recherche, les cadres noirs sont des concepts en rupture et des manques de connaissance. Les flèches oranges indiquent les connaissances qui ont permis de construire le concept relié. Les concepts encadrés en rouge représentent la voie d'exploration choisie pour le processus de conception de la thèse. Les cadres jaunes représentent les innovations qui ont permis de partitionner les concepts 161

Figure 41: concepts des innovations existantes chez certains participants, et leurs versions innovantes issues des ateliers C (cadre orange)..... 162

Figure 42: concepts des innovations existantes étudiées à l'échelle parcellaire par certains participants, et leurs versions innovantes issues des ateliers C (cadre orange)..... 163

Figure 43: positionnement du chapitre 5 dans le processus expérimental de la thèse..... 168

Figure 44: Arbre C où sont positionnées les innovations intégrées dans le jeu sérieux (en jaune)..... 171

Figure 45: diagramme des interactions entre acteurs et ressources de notre système étudié. Les acteurs sont en rose et les ressources en vert foncé (les ressources en vert clair indiquent différents états d'une même ressource, pouvant avoir lieu simultanément, par exemple une parcelle peut contenir une culture de rente et une plante de couverture). Les flèches indiquent les interactions avec les verbes d'actions qui précisent chaque flèche (par exemple le prestataire fournit de l'herbicide). Les flèches sur une flèche indiquent une action de transformation (par exemple c'est la main d'œuvre qui applique l'herbicide pour qu'il détruise l'herbe). Les flèches oranges montrent les dynamiques naturelles (l'herbe va concurrencer la culture de rente ou l'encourager dans le cas d'associations judicieuses). 173

Figure 46: cahier des charges de la modélisation des interactions écologiques dans le jeu sérieux. La figure se lit en suivant une phrase, par exemple l'agriculteur doit avoir accès aux informations sur la croissance des plantes à la parcelle. Pour cela, le modèle doit représenter l'état de l'enherbement sur la parcelle ET l'état de la culture de rente sur la parcelle. 175

Figure 47: exemple de l'affichage d'une parcelle sur le module agronomique..... 176

Figure 48 (a et b): résultat de la concentration d'herbicides dans la rivière émis par le module transfert des herbicides. Sur la figure, les différentes couleurs correspondent aux contributions de chacune des 8 exploitations du jeu. Dans l'ordre, l'EA1 (jaune) se situe en bas de la courbe et l'EA8 (vert foncé) en haut de la courbe..... 177

Figure 49: photos de l'atelier jeu sérieux mené sur le bassin versant du Galion. A gauche se situe la projection du modèle informatique (ici module agronomique) et le choix d'innovations des participants. A droite se situe les participants, réunis autour du plateau de jeu représentant le bassin versant 179

Figure 50: les 8 joueurs-agriculteurs sont positionnés autour du plateau de jeu « Bassin Versant », et possède chacun un plateau de jeu « Exploitation Agricole » avec leurs ressources, qu'ils allouent dans la gestion de l'enherbement. Ils voient tous le modèle agronomique, les résultats du modèle de transfert quand le gestionnaire souhaite les partager, et ont accès aux discussions engagées par le gestionnaire sur les innovations organisationnelles..... 180

Figure 51: déroulé chronologique de la session de jeu. Les trimestres sont notés de la façon suivante pour la présentation des résultats : SI pour situation initiale, TX pour le numéro du trimestre, A1 pour la première année (ou première session de jeu avec innovations), A2 pour la deuxième année (ou deuxième session de jeu avec innovations). Ainsi A2 T1 signifie le premier trimestre de l'année 2. 181

Figure 52: résultat du modèle de transfert montré aux joueurs à la fin de la Situation Initiale. Le graphique du haut montre la pollution herbicide. Le graphique du bas montre la pollution par son métabolite. Les zones grisées montrent les semaines déjà jouées..... 184

Figure 53: répartition des innovations organisationnelles sur le territoire du jeu-bassin versant, à l'issue de l'année A1. Les parcelles notées d'un H représentent des surfaces en prairies qui n'appartiennent pas aux joueurs-agriculteurs. L'échelle sur la droite montre la distance à la rivière..... 187

Figure 54: graphique de pollution de l'eau de rivière du jeu à l'issue de l'année A1. Le graphique au – dessus représente les débits de la rivière. Le graphique du milieu représente la pollution herbicide. Le graphique au-dessous représente la pollution par son métabolite. 188

Figure 55: graphique de l'évolution des stades d'enherbement des parcelles du bassin au cours de l'année A1, en fonction du nombre de parcelle en ordonnées (par exemple, en A1 T1 on observe 7 parcelles en stade d'enherbement 1 sur la totalité des exploitations du jeu)..... 189

Figure 56: évolution des pratiques de gestion de l'enherbement par les joueurs-agriculteurs au cours de l'année A1 (pdc signifie plantes de couverture, pdc effective signifie que la pdc est au minimum au stade 1 de croissance)..... 190

Figure 57: schéma représentant la répartition des innovations dans les exploitations du jeu-bassin versant à l'issue de l'année A2. Les parcelles notées d'un H représentent des surfaces en prairies qui n'appartiennent pas aux joueurs-agriculteurs. L'échelle sur la droite montre la distance à la rivière. 193

Figure 58: impact des usages herbicides sur la rivière à l'issue des deux trimestres de l'année A2. Le graphique au-dessus représente les débits de la rivière. Le graphique du milieu représente la concentration herbicide dans la rivière. Le graphique du bas représente la concentration de métabolite dans la rivière. 194

Figure 59 : graphique de l'évolution des stade d'enherbement des parcelles du bassin au cours de l'année A2, en fonction du nombre de parcelles en ordonnées (par exemple, en A2 T1 on observe 7 parcelles en stade d'enherbement 1 sur la totalité des exploitations du jeu)..... 195

Figure 60 : évolution des pratiques de gestion de l'enherbement par les joueurs-agriculteurs au cours de l'année A1 (pdc signifie plantes de couverture, pdc effective signifie que la pdc est au minimum au stade 1 de croissance)	196
Figure 61: contribution des exploitations à la pollution de la rivière à l'issue de l'année A1 avec le code couleur des exploitations. Le graphique au-dessus représente la pollution herbicide. Le graphique au-dessous représente la pollution de son métabolite. L'année A1 commence à la 36 ^e semaine.....	201
Figure 62 : contribution des exploitations à la pollution de la rivière à l'issue de l'année A2 avec le code couleur des exploitations. Le graphique au-dessus représente la pollution herbicide. Le graphique au-dessous représente la pollution de son métabolite. L'année A2 commence à la 36 ^e semaine.....	203
Figure 63 a et b : état de la pollution de l'eau par le collectif d'exploitations EA1, 3, 5 et 7. La figure de gauche (a) pour les itinéraires techniques appliqués pendant l'année A1. LA figure de droite (b) pour l'inversion des itinéraires techniques entre l'EA3 et l'EA5 pendant l'année A1.....	206
Figure 64: impact sur la rivière du collectif dans le cas d'une utilisation simultanée de l'herbicide autorisé, entre juillet et septembre, des exploitations 2, 4, 6 et 8.	209
Figure 65: résultat de la qualité de l'eau (a) à l'issue de la SI+A2 (la ligne violette montre le début de l'année 2), (b) lors de la simulation d'une utilisation simultanée d'herbicide conformément à la législation du joueur-gestionnaire, entre juillet et septembre, pour l'ensemble des exploitations du jeu.	212
Tableau 1: les différents types d'agriculture en Martinique et leurs caractéristiques principales	20
Tableau 2: Usage des 11 herbicides les plus vendus en Martinique, d'après la BNVD 2016 (Préfecture de Martinique, 2016)	26
Tableau 3: présentation des acteurs composant l'équipe de conception.....	73
Tableau 4: liste des acteurs interrogés pour l'analyse du régime sociotechnique de l'utilisation d'herbicide sur la bassin versant du Galion.....	84
Table 5: Conceptual analysis framework	89
Table 6: Major Websites for the documents available online	93
Tableau 7: summary of the three case studies (banana, sugar cane and diversification supply chains) according to their elements of the sociotechnical regime i.e. actors, artefacts and rules	94
Tableau 8: grille d'analyse des entretiens du diagnostic sociotechnique, pour l'élaboration du référentiel C-K.....	124
Tableau 9: grille d'analyse des données observées pendant la phase K	126
Tableau 10: grille d'analyse des données observées pendant la phase C.....	127
Tableau 11: résumé quantifié des échanges qui ont eu lieu entre les acteurs au cours de l'atelier K..	143
Tableau 12: présentation des innovations issues des ateliers C selon la description du principe de l'innovation, les acteurs concernés, les effets directs et indirects sur l'usage herbicide	155

Tableau 13: caractéristiques des innovations telles qu'elles ont été implémentées dans le jeu	178
Tableau 14: présentation des caractéristiques des exploitations agricoles dans le jeu	181
Tableau 15: résumé des usages herbicides au regard des utilisations des ressources de l'exploitation et des stades d'enherbement atteints des joueurs des EA lors de la phase de Situation Initiale (SI)	183
Tableau 16: résumé des usages herbicides au regard des utilisations des ressources de l'exploitation et des stades d'enherbement atteints des joueurs des EA lors de la phase de l'année 1 (A1)	185
Tableau 17: résumé des actions entrepris par les joueurs-agriculteurs, en fonction de leur utilisation d'herbicide, de l'utilisation de leurs ressources, des états d'enherbement, et des innovations choisies au cours de l'année 2 (A2)	191
Tableau 18: les stratégies individuelles des exploitations agricoles du jeu pendant l'année A1.....	198
Tableau 19: ST1 au regard des critères d'évaluation autres que la pollution herbicide de la rivière ..	207
Tableau 20: ST2 au regard des critères d'évaluation autres que la pollution herbicide de la rivière ..	209
Tableau 21: ST3 au regard des critères d'évaluation autres que la pollution herbicide de la rivière ..	212
Tableau 22: résumé des leviers pour aider les ST à la réduction d'herbicide, en fonction des ST principalement concernées	214
Annexe 1 : tableau de bord.....	269
Annexe 2 : Evaluation atelier	275
Annexe 3: composition des groupes d'acteurs pendant les différents ateliers de conception	278
Annexe 4 : caractérisation des innovations des filières agricoles pour la construction du référentiel C-K	279
Annexe 5 : exemple du compte-rendu de deux présentations d'experts pendant l'atelier K, distribué aux participants	281
Annexe 6 : présentation du module agronomique	296
Annexe 7 : panneau informatif sur le fonctionnement du module transfert	300
Annexe 8 : fiche exploitation EA1 de coût des actions de gestion de l'enherbement.....	301
Annexe 9 : Fiche Technique.....	302
Annexe 10 : exemple d'un panneau d'innovation présenté pendant le jeu	303
Annexe 11 : enherbement moyen dans les exploitations, par trimestre	304
Annexe 12 : Pratiques de gestion de l'enherbement des exploitations, par trimestre	305
Annexe 13: Situation de départ des exploitations agricoles du jeu sérieux.....	307

Titre : Conception collective d'organisations territoriales innovantes pour une évolution coordonnée de systèmes de production agricoles. Cas d'une réduction de la pollution herbicide d'une rivière en Martinique

Mots clés : agronomie des territoires, conception collective, herbicide, bassin versant, conception innovante

Résumé : Dans le contexte des Antilles, entre climat très favorable aux adventices et monocultures très dépendantes des intrants, la pression herbicide est importante. En Martinique la pollution par ces molécules, via des mécanismes de transfert fortement spatialisés à l'échelle des bassins versants, dégrade la qualité de l'eau des rivières. Dans ce contexte, la thèse propose, en s'appuyant sur la construction d'une méthode de conception collective originale, des organisations territoriales innovantes pour générer des changements coordonnés dans des systèmes de production agricoles visant à réduire durablement la concentration d'herbicides dans les rivières.

La démarche est mise en œuvre sur un bassin versant particulièrement concerné par la pollution herbicide et combine : un diagnostic du système sociotechnique, une phase d'atelier de conception innovante inspirée de la théorie C-K et une phase visant à évaluer les concepts innovants en simulant leur mise en œuvre dans un jeu sérieux. Les innovations portent tant sur la répartition spatiale de techniques innovantes sur le territoire du bassin versant que sur les dispositifs, aménagements, organisations à créer pour assurer leur succès et leur durabilité. La thèse s'inscrit à la fois dans une agronomie des territoires et dans une agronomie de la conception innovante.

Title : Collective conception of innovative territorial to implement coordinated changes in agricultural production systems. The case of the reduction of herbicides in a river of Martinique

Keywords : landscape agronomy, collective design, herbicide, watershed, innovative design

Abstract : In the West Indies, the climate is favorable for the growth of weeds and monocultures need chemical inputs, which increases the pesticide pressure. In Martinique, pollution by chemical molecules, via spatialized transfer mechanisms at the watershed scale, degrades the quality of river water. In this context, the thesis proposes an original collective design method to design innovative territorial organizations that coordinate changes in agricultural production systems, which reduce the concentration of herbicide in rivers.

The approach is applied to a watershed polluted by herbicides and combines: a socio-technical system diagnosis, a phase of innovative design workshops inspired by the CK theory and a phase of evaluation of innovative concepts by simulation in a role-playing game. Innovations involve a spatial distribution of innovative techniques on the territory of the watershed and devices, facilities, organizations to ensure their success and sustainability. The thesis is in the fields of Landscape Agronomy and Innovative Design Agronomy.