



Des innovations couplées pour réduire l'utilisation de produits phytosanitaires en production maraîchère. Analyse transversale de 4 territoires en France métropolitaine et aux Antilles

Mireille NAVARRETE¹, Marion CASAGRANDE^{1,2} (co-premières autrices), Valérie ANGEON¹, Marie CHAVE³, Arnaud DUFILS¹, Amélie LEFEVRE⁴, Claire LESUR-DUMOULIN⁴, Laurent PARROT⁵, Romain ROCHE¹, Serge SIMON⁵

¹ INRAE, Unité Écodéveloppement 0767, 228, route de l'Aérodrome, CS 40509, 84914 Avignon Cedex 9, France

² INRAE, Unité Mixte de Recherche Agronomie, 22 Place de l'Agronomie, 91123 Palaiseau Cedex, France

³ INRAE, Unité de Recherche ASTRO AgroSystèmes TROPICAUX, 97170 Petit-Bourg, Guadeloupe, France

⁴ INRAE, Unité expérimentale sur les systèmes maraîchers agroécologiques, Mas Blanc, 66200 Alénia, France

⁵ CIRAD, UPR Hortsys, F-97285 Le Lamentin, Martinique, France

Correspondance : mireille.navarrete@inrae.fr

Résumé :

Alors que les citoyens et les Etats appellent à une forte réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires pour préserver la santé humaine et l'environnement, la transition des exploitations maraîchères vers des systèmes de culture agroécologiques se fait difficilement, du fait de freins à l'échelle des systèmes agri-alimentaires, voire de verrouillages, autour de l'usage des produits phytosanitaires. Pour massifier et accélérer la transition agroécologique des exploitations, nous mobilisons le concept d'innovation couplée, qui désigne la coordination de processus d'innovation de différentes natures (techniques, organisationnelles, réglementaires, institutionnelles, sociales). Nous présentons des démarches de recherches participatives conduites sur 4 territoires, deux situés dans le Sud de la France métropolitaine et deux aux Antilles, où des chercheurs ont organisé et animé des ateliers pour concevoir des innovations couplées avec les principaux acteurs susceptibles de déverrouiller les situations. Après avoir décrit les prototypes d'innovation couplée dans chaque territoire, nous en proposons une analyse transversale : ainsi, l'analyse montre que les innovations techniques des 4 territoires ne pourront se développer à large échelle que si elles sont couplées à d'autres innovations, qui nécessitent des coordinations entre acteurs du système agri-alimentaire pour fournir des intrants agroécologiques ou des équipements, ou encore valoriser commercialement les légumes résultant de ces innovations techniques. Nos travaux illustrent l'intérêt à la fois de favoriser une innovation située, qui tienne compte des conditions d'émergence propres à chaque territoire, mais aussi de produire des démarches de recherches interdisciplinaires et transdisciplinaires génériques pour accompagner leur émergence.

Mots-clés : innovation couplée ; système agri-alimentaire ; système sociotechnique ; verrouillage, acteurs; légume

Abstract: Coupled innovations to reduce pesticide use in market gardening. Cross- analysis of 4 cases studies in mainland France and the West Indies.

At a time when citizens and governments are calling for a sharp reduction in pesticide use, to protect human health and the environment, the transition of market garden farms to agro-ecological cropping systems is proving difficult, due to barriers on the scale of agri-food systems, or even socio-technical lock-in situations. To massify and accelerate the agro-ecological transition of farms, we mobilize the concept of coupled innovation, i.e. the coordination of innovation processes of different natures (technical,



organizational, regulatory, institutional, and social). We present participatory research approaches carried out in 4 territories in France and the French West Indies, where researchers organized and facilitated workshops to design innovations with key actors likely to unlock the socio-technical systems. After describing the prototypes of coupled innovation designed in each territory, we propose a cross-cutting analysis. Our study illustrates the importance of fostering situated innovation, taking into account the conditions of emergence specific to each territory, but also of producing generic interdisciplinary and transdisciplinary research approaches to support their emergence.

Keywords: coupled innovation; agri-food system; sociotechnical system; actors; vegetable

1. Introduction

Le niveau élevé d'usage des produits phytosanitaires (PPS) en agriculture est considéré comme problématique par les citoyens et les Etats en raison de son impact négatif à la fois sur la santé humaine et sur l'environnement. Pourtant, en Europe, les politiques publiques qui visent un objectif ambitieux de réduction d'utilisation des pesticides (Green Deal en Europe, plan Ecophyto en France) peinent à obtenir des résultats tangibles et sont même remises en cause par le monde agricole dans l'actuelle crise agricole européenne. En production maraîchère, l'usage des PPS à l'hectare reste en moyenne élevé (Agréste, 2023). L'agroécologie (AE) peut réduire le recours aux PPS en s'appuyant sur les régulations biologiques et écologiques (Wezel et al., 2014) par exemple par la diversification végétale (mélange de différentes cultures et/ou de variétés, allongement et diversification des rotations culturales, installation d'infrastructures AE, etc.) (Tibi et al., 2022) ou en activant la vie des sols par des apports de matières organiques (Vida et al., 2020).

En maraîchage, la diversification des cultures, l'utilisation de plantes de service et d'auxiliaires biologiques ou encore l'apport de matières organiques ont été expérimentés avec succès, seuls ou en combinaison, en station et dans des réseaux de fermes Ecophyto¹. Or l'adoption de ces innovations techniques par les maraîchers reste faible au regard des enjeux sociétaux et environnementaux. Une des raisons est le phénomène de verrouillage sociotechnique autour d'un modèle agricole hérité des années 50-60, qui s'est construit sur la culture d'un nombre réduit d'espèces et de variétés à fort potentiel et sur un usage intensif d'engrais chimiques et de PPS dans les exploitations. Ce modèle agricole a façonné les organisations agricoles et les institutions, d'un point de vue technique, social, économique, organisationnel, et freine aujourd'hui l'adoption de pratiques AE (Wilson & Tisdell, 2001 ; Vanloqueren et Baret, 2008). En production maraîchère, trois éléments jouent dans ce verrouillage de façon originale : (i) des successions culturales très intensives laissant peu de temps pour recourir à des pratiques AE pendant les intercultures (ex : couverts végétaux, solarisation des sols) ; (ii) des coûts de production élevés (main d'œuvre en particulier) alors même que les systèmes de culture AE augmentent le temps de travail et la charge mentale ; (iii) des contraintes commerciales fortes pour des qualités standards (dates de récolte, esthétique), alors que les systèmes de culture AE entraînent des changements sur les qualités produites. Ainsi, dans les grandes exploitations commerciales engagées dans des circuits de commercialisation longs, Boulestreau et al. (2021) montrent que l'adoption de rotations diversifiées pour gérer les nématodes dans le sol est freinée en amont de la filière par le manque d'espèces pièges ou résistantes aux nématodes et le manque de connaissances pour les cultiver, et en aval par des difficultés de commercialisation de ces espèces.

Aussi, nous faisons l'hypothèse que les innovations techniques AE ne pourront se développer à large échelle que si d'autres innovations permettent de dépasser les verrous actuels. D'après Gliessman

¹ Rencontres PICleg/DEPHY EXPE 2023 <https://www.picleg.fr/evenements/rencontres-annuelles-du-gis-picleg/rencontres-annuelles-2023-du-gis-picleg>



(2016), la transition agroécologique nécessite de reconcevoir les systèmes alimentaires dans leur ensemble, en s'appuyant sur des processus transdisciplinaires et participatifs.

Le processus d'innovation couplée désigne la coordination de processus d'innovation de différentes natures (technique, organisationnelle, réglementaire, institutionnelle, sociale), qui sont portés par des acteurs différents et généralement appréhendés indépendamment les uns des autres (Meynard et al. 2017 - Brun et al. 2021 ; Boulestreau et al. 2023). Le couplage de plusieurs innovations vise à résoudre un problème complexe multi-échelle (spatiale, temporelle, organisationnelle) et multi-acteurs, à lever des verrous de nature systémique en explorant des alternatives aux systèmes en place (Meynard et al. 2017 ; Boulestreau et al. 2023). L'innovation couplée repose notamment sur de nouvelles modalités de coopération entre les acteurs (Angeon et al., 2024 ; Parrot et Joltreau, 2024 ; Parrot et Varenne, 2023). Dans cet article, nous présentons des démarches de recherches participatives conduites sur 4 territoires en France hexagonale et aux Antilles, où des chercheurs ont organisé et animé des ateliers de conception d'innovation avec les principaux acteurs des systèmes agri-alimentaires impliqués dans le verrouillage sociotechnique et susceptibles de contribuer à déverrouiller la situation. Le système agri-alimentaire désigne "le système socio-technique qui englobe non seulement les filières de production, de transformation, de distribution, mais aussi la sélection variétale, la recherche, le conseil technique, les politiques publiques et les instances de régulation (régulation des semences et de la qualité des produits notamment)" (Lamine et al., 2010). Après avoir décrit les prototypes d'innovation couplée dans chaque territoire, nous en proposons une analyse transversale que nous discutons.

2. Démarche

L'étude a été réalisée dans le cadre du projet INTERLUDE - Innovations territoriales pour la réduction des produits phytopharmaceutiques en production légumière durable entre 2020 et 2024.

2.1 Terrains d'étude

Les quatre territoires choisis (deux dans le Sud de la France métropolitaine et deux aux Antilles) portent un enjeu fort de réduction des PPS ou de maintien des systèmes à bas niveau de PPS, chacun ayant un problème spécifique à résoudre décrit ci-dessous.

Cas d'étude en Provence : Le bassin maraîcher autour d'Avignon est historiquement un bassin d'expédition de légumes vers les grandes villes françaises, très spécialisé sur un petit nombre d'espèces, ce qui a généré le développement important de bioagresseurs dans le sol, notamment des nématodes à galles. Le problème à résoudre est de rendre possible la gestion AE de la santé des sols pour réduire l'usage des PPS contre les bioagresseurs telluriques et/ou pour permettre le maintien du maraîchage malgré le retrait d'homologation de la plupart des nématicides. Une des voies investiguées est l'apport massif de matières organiques biologiquement actives pour développer l'activité biologique des sols, et en conséquence réguler le développement des bioagresseurs telluriques.

Cas d'étude en Roussillon : Le bassin maraîcher de la plaine du Roussillon, autour de Perpignan, est marqué par une tradition d'expédition en dehors du territoire de volumes importants d'une faible gamme de légumes. Les cultures d'automne et d'hiver, et en particulier les salades, sont celles ayant le plus fort recours aux PPS (forte sensibilité de ces légumes aux pathogènes et ravageurs, dommages et pertes directement générés sur le produit récolté - les feuilles, forte spécialisation des exploitations). Le problème à résoudre est d'améliorer la valorisation commerciale des cultures de salades tout en réduisant le recours aux PPS. Deux voies pour la conception d'innovation ont été explorées : (1) améliorer la valorisation commerciale des cultures de salades tout en réduisant le recours aux PPS ; (2) modifier l'organisation de la production de salades dans le territoire afin d'atténuer les pressions biotiques dues à la spécialisation trop marquée de certaines exploitations agricoles.



Cas d'étude en Guadeloupe : Le contexte agro-climatique de la Guadeloupe, milieu tropical humide, est très favorable au développement des maladies et des ravageurs tant pour les productions légumières destinées au marché local que pour la production de melon d'export. Par ailleurs, la filière maraîchère manque de structuration. Le problème à résoudre est de favoriser les réorganisations des acteurs des filières amont et aval pour permettre le développement et l'adoption de stratégies de biosolutions (biocontrôle et biostimulants) permettant de réduire l'usage de PPS.

Cas d'étude en Martinique : Sur le bassin versant du Galion, les systèmes maraîchers se développent sur la partie amont et pentue, dans des petites exploitations non mécanisées. Le problème à résoudre concerne la gestion de l'enherbement, essentiellement menée de façon manuelle, donc très intensive en main d'œuvre. Pour préserver la qualité des eaux du bassin versant, l'enjeu est de maintenir un faible recours aux herbicides tout en réduisant la pénibilité du travail manuel. Pour cela, la voie explorée est le paillage du sol avec différents sous-produits des filières dominantes sur le bassin versant (canne, banane) ou de la végétation naturelle (bois raméal fragmenté).

2.2 Démarche de conception d'innovations

La démarche combine des activités de compréhension du problème à résoudre par enquête auprès de différents acteurs du système agri-alimentaire (2.2.1), puis d'exploration et d'évaluation de prototypes d'innovation lors d'ateliers multi-acteurs (2.2.2). La trame méthodologique est commune aux 4 cas d'étude mais les outils et modes de recueil des données sont adaptés aux spécificités de chaque situation.

2.2.1 Un diagnostic des freins et leviers pour réduire l'usage des PPS à l'échelle de chaque territoire

Il s'agit de comprendre les pratiques et les stratégies des acteurs concernés par le problème à résoudre et d'identifier les freins et les leviers pour le résoudre, à l'échelle du territoire et/ou de la filière. Au-delà des fonctionnements individuels, il s'agit donc de comprendre comment les réseaux d'acteurs et leurs interactions sur le territoire impactent favorablement ou défavorablement la réduction de l'usage des PPS. Nous avons utilisé la démarche de diagnostic des freins et leviers sociotechniques au processus d'innovation (Casagrande et al. 2023) en Provence, Roussillon et Guadeloupe et le diagnostic agraire (Cochet, 2011) en Martinique. Ces diagnostics ont cadré le processus de conception, en repérant les freins à lever et de possibles axes de déverrouillage, ainsi que les acteurs à mobiliser dans la démarche de co-conception².

2.2.2 Une démarche de co-conception de prototypes d'innovation couplée à l'échelle du territoire

Des ateliers multi-acteurs ont eu lieu en 2022-2023 pour concevoir des prototypes d'innovation couplée. Dans un premier temps, acteurs et chercheurs ont partagé leurs connaissances sur des objets techniques (ex : apport de matières organiques brutes dans le sol). Des experts (souvent chercheurs) ont explicité les processus biotechniques autour de ces objets pour préciser dans quelles conditions cela permet de réduire l'usage des PPS (ex : les facteurs qui jouent sur les régulations écologiques lors de l'apport de matières organiques). Les participants ont échangé leurs connaissances des freins et leviers à la réduction des PPS. Il s'agissait ensuite de faire émerger collectivement des prototypes d'innovations. Comme l'innovation couplée concerne potentiellement une gamme large d'activités au sein du système agri-alimentaire, les facilitateurs doivent faire interagir des acteurs variés, qui se connaissent peu ou portent des positions antagonistes, par exemple des agriculteurs et des responsables de rayons de supermarchés (Cardona et al., 2024). Ils ont donc mobilisé des techniques d'animation agiles et des artefacts visuels pour favoriser l'expression de chaque participant et la créativité collective. Il est souvent difficile d'aboutir en fin d'atelier à un prototype finalisé d'innovation couplée, coordonnant des processus

² Résultats non décrits dans l'article, Cf différentes ressources en Provence (Michel, 2021), en Roussillon (Bousquet, 2021 ; Darets, 2023), en Guadeloupe (Desombre 2022 ; Chave et al. 2023) et en Martinique (Signarbieux, 2022 ; Parrot et Varenne, 2023).



portés par des acteurs aux différents maillons du système agri-alimentaire. Les ébauches ont donc été retravaillées par les chercheurs après les ateliers, pour préciser les actions et les coordinations nécessaires pour pouvoir mettre en œuvre le prototype d'innovation couplée (cf 2.3.1). Certains de ces prototypes ont fait l'objet d'évaluation multi-critères (performance, faisabilité) à dire d'experts pendant les ateliers et/ou par enquêtes post-atelier pour tester leur adéquation avec les visions et objectifs des différents acteurs. Mais l'évaluation multi-échelle et multi-dimensionnelle des innovations est un front de recherche qui reste encore à explorer (Brun et al., 2021).

2.3 Cadre d'analyse des prototypes conçus dans les 4 cas d'étude

Dans cet article, nous décrivons les prototypes d'innovation couplée conçus en atelier selon le même formalisme (2.3.1). Puis, nous faisons une analyse transversale des 4 territoires (2.3.2) afin de capter la diversité des prototypes et de dégager des enseignements plus génériques.

2.3.1 Représentation de l'innovation couplée

Dans notre étude, les innovations techniques sont des pratiques ou systèmes de culture AE qui permettent une réduction de l'usage des PPS, et dont l'échelle d'application est la parcelle ou l'exploitation agricole. La mise en œuvre de ces innovations techniques nécessite souvent des innovations organisationnelles, sociales, économiques, commerciales à l'échelle de l'exploitation agricole (en vert sur la Fig. 1) (e.g. des débouchés pour de nouvelles espèces légumières). Mais cela nécessite aussi de nouvelles coordinations entre acteurs du système agri-alimentaire (e.g. entre maraîchers et acteurs de l'aval) (en bleu). Une innovation couplée (cadre orange) est donc la combinaison cohérente d'innovations à l'échelle de l'exploitation agricole avec des modes de coordination entre différents acteurs.

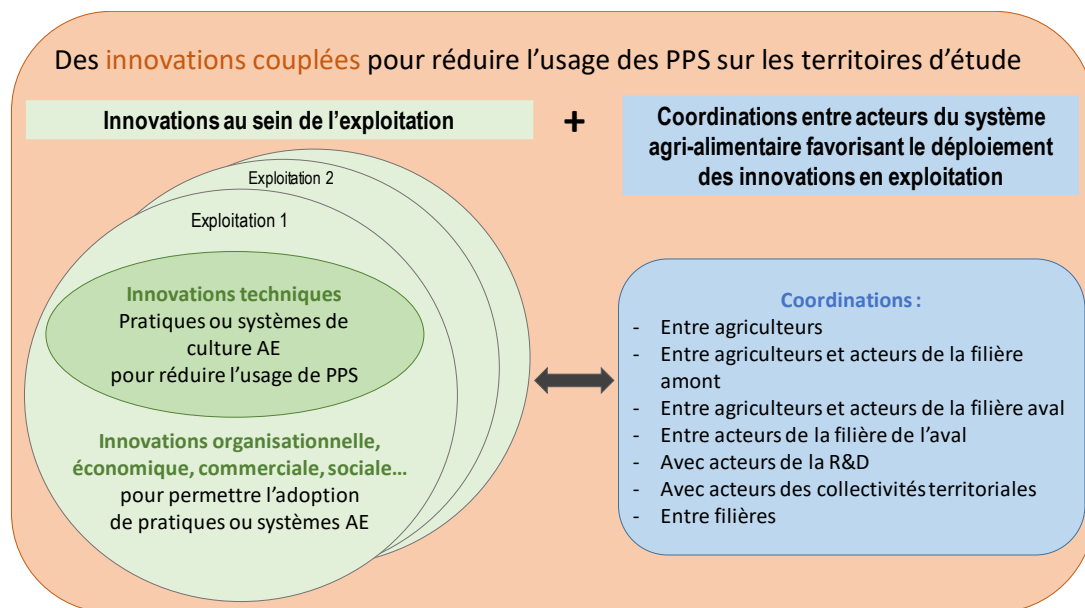


Figure 1 : Représentation conceptuelle de l'innovation couplée pour la réduction de l'usage des PPS

2.3.2 Analyse transversale des prototypes conçus dans les 4 cas d'étude

Les prototypes d'innovation couplée sont analysés selon deux dimensions (Fig. 2a, 2b, 2c, 2d). La première caractérise le degré de changement requis par les innovations techniques selon un gradient inspiré des travaux de Hill et Mac Rae (1995), avec deux modalités extrêmes que sont la substitution de PPS et la reconception des systèmes de culture et/ou du fonctionnement des exploitations pour permettre leur réduction. La deuxième dimension, inspirée des travaux de Sylvander et al. (2006), porte sur les coordinations nécessaires entre acteurs pour la mise en œuvre des innovations techniques, selon 3 modalités. La gouvernance individuelle fait référence à des innovations basées sur une logique d'acteur unique et autonome dans sa stratégie (e.g. le maraîcher, sur son exploitation agricole). La gouvernance



corporatiste renvoie à des coordinations entre pairs (e.g. entre maraîchers). La gouvernance sectorielle ou territoriale correspond à des coordinations entre différents types d'acteurs du système agri-alimentaire (e.g. entre maraîchers et fournisseurs d'intrants).

3. Résultats

Nous présentons dans cette section plusieurs prototypes d'innovation couplée conçus dans chaque cas d'étude en montrant comment la coordination de plusieurs processus d'innovation a été mobilisée.

3.1 En Provence, une organisation des acteurs de l'amont de la filière pour permettre un apport massif de matières organiques en paillage du sol

L'atelier d'exploration de solutions a rassemblé des maraîchers, le gestionnaire d'une station de collecte de déchets verts d'une communauté d'agglomération, des conseillers techniques (de chambres d'agriculture ou privés, en bio et conventionnel), des maitres-composteurs, un expert de l'activité biologique des sols d'un laboratoire d'analyse privé, et des chercheurs agronomes et pathologistes. Pour réguler les maladies et bioagresseurs telluriques, la matière organique biologiquement active peut être apportée au stade 'produit brut' ou après compostage, en paillage superficiel du sol ou par enfouissement, chaque méthode présentant des avantages et des risques agronomiques. En effet, les écologues du sol ont montré que le microbiote du sol ainsi réactivé permet par compétition une régulation des bioagresseurs telluriques (Vida et al., 2020), y compris pour les nématodes à galles. Ces régulations contribuent à réduire le recours aux produits phytosanitaires, même si c'est de façon variable d'une situation à l'autre (Silva et Canellas, 2022). L'apport massif de matière organique au sol fournit également de meilleures conditions de croissance aux plantes, en améliorant la fertilité et la rétention en eau du sol.

C'est le paillage du sol avec du broyat de déchets verts non composté qui a été choisi par les participants de l'atelier, le produit venant d'une station de collecte de déchets verts locale. Cette innovation technique nécessite des adaptations dans l'organisation de l'exploitation (e.g. ajustement entre les dates d'apport du broyat par le transporteur et les dates de plantation des cultures, équipement d'épandage), sans toutefois aller jusqu'à une reconception profonde des systèmes (Fig. 2a). Deux prototypes d'innovation couplée ont été explorés. **Le prototype P1 est destiné à des maraîchers ayant déjà expérimenté cette pratique** et souhaitant la pérennisation de l'accès à la ressource et son amélioration qualitative. **Le prototype P2 est destiné à des maraîchers novices dans l'utilisation de ce broyat** et non équipés en matériel, impliquant à la fois une augmentation des volumes de broyats disponibles sur le territoire et un accompagnement technique plus soutenu. Seul le second prototype, le plus complexe, est détaillé ici ; il requiert l'ajout de nouvelles actions à l'organisation existante des acteurs.

Une première série d'actions concerne la coordination entre maraîchers et fournisseurs de la ressource (gouvernance territoriale, Fig. 2a). Pour permettre une augmentation du nombre de maraîchers bénéficiaires, l'actuelle station de collecte de déchets verts, alimentée par les particuliers et les services municipaux des espaces verts, devrait être complétée par une station secondaire alimentée par des élagueurs et acteurs privés de l'entretien des espaces verts. Un site internet devrait être créé pour gérer l'offre et la demande en broyats afin de simplifier les commandes et la planification des livraisons et fluidifier les échanges entre le gestionnaire de la station, le transporteur et les agriculteurs. Ce site serait administré par le gestionnaire de la station et financé par la communauté d'agglomération. Les communes devraient être sensibilisées à l'élaboration d'un plan de gestion des déchets verts et à l'enjeu de pérennisation de la ressource pour l'agriculture (en renonçant à la méthanisation). Une partie de l'augmentation des frais de fonctionnement de la station serait prise en charge par les professionnels des espaces verts, en contrepartie du dépôt gratuit de leurs déchets verts. Les maraîchers seraient accompagnés par un acteur du conseil agricole, pour adapter leurs itinéraires techniques et leurs calendriers de cultures à l'utilisation du broyat en paillage, afin d'optimiser la pratique pour contrôler les bioagresseurs telluriques.



D'autre part, une coordination entre maraîchers est nécessaire (gouvernance entre pairs, Fig. 2a). En effet, les maraîchers novices ne disposant pas, a priori, d'équipement d'épandage du broyat, il faudrait créer une CUMA qui pourrait être animée par un acteur du conseil. Cet acteur serait financé par le collectif de maraîchers, qui en contrepartie bénéficierait durablement de la gratuité de la ressource organique. En cas de saturation de la station de collecte avec les déchets verts broyés, faute de demande des agriculteurs à certaines périodes de l'année, un espace de stockage provisoire serait créé sur quelques exploitations ayant des surfaces disponibles, et auprès desquels les autres maraîchers pourraient se fournir ultérieurement. Des temps d'échange seraient initiés entre maraîchers expérimentés et novices, pour faire bénéficier les seconds de l'expérience des premiers ; ils seraient animés par des conseillers techniques. Les maraîchers expérimentés bénéficieraient en retour d'une meilleure structuration de la filière et donc d'une pérennisation de la ressource.

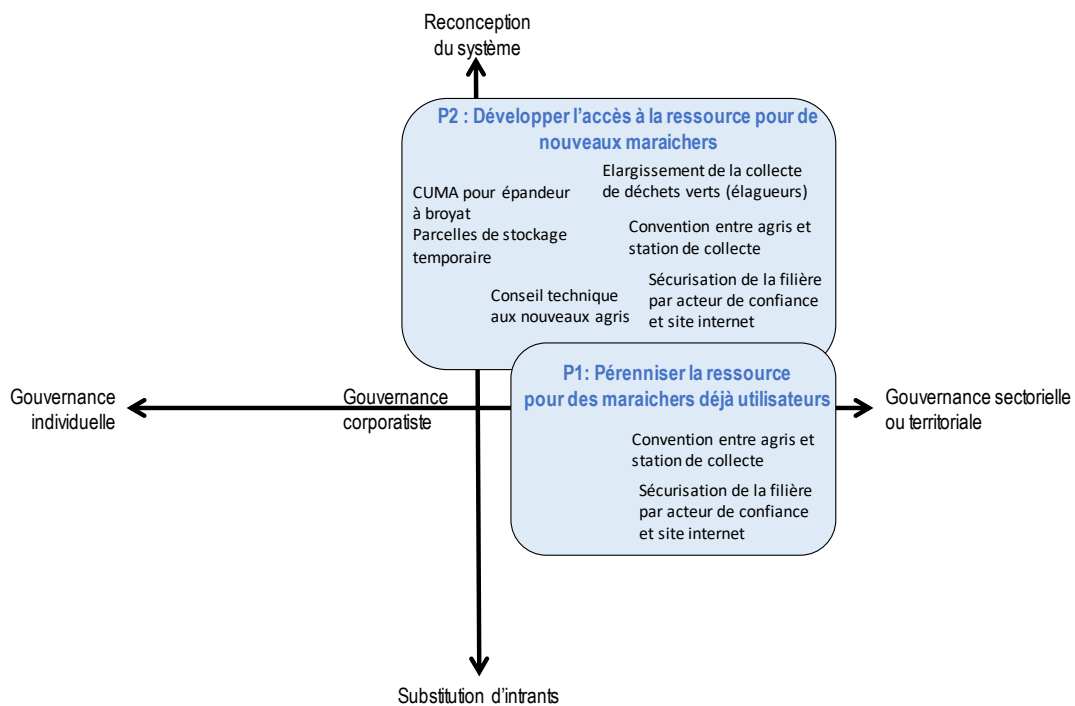


Figure 2a : Deux prototypes d'innovation couplée pour l'apport massif de matières organiques biologiquement actives en Provence

3.2 En Roussillon, la construction d'une filière innovante pour produire et commercialiser des salades sans résidu de pesticides

En Roussillon, deux prototypes ont été explorés pour la réduction du recours aux PPS sur les cultures de salades : **la construction d'une filière "salades sans résidu de PPS" (R1) et la création d'un environnement de production permettant de diminuer, ou a minima maîtriser, les pressions des bioagresseurs des salades à l'échelle territoriale (R2).**

L'innovation technique étudiée est un itinéraire technique qui vise à obtenir une production satisfaisante en volume et qualité en évitant de rendre les salades "appétentes" aux bioagresseurs pour diminuer le recours aux PPS et en particulier les PPS susceptibles de générer des résidus sur le produit récolté. C'est donc un ensemble cohérent de choix techniques tout au long du cycle cultural : (1) en amont de la culture, une préparation de la parcelle limitant les populations de bioagresseurs du sol (e.g. solarisation du sol) ; (2) en pépinière, la production de plants sains, robustes et résistants ; (3) en cours de culture, des pratiques visant à éviter des conditions favorables aux bioagresseurs (densité de plantation réduite, irrigation au goutte-à-goutte, aération des tunnels, pilotage fin de la fertilisation et de l'irrigation) ; (4) en cours de culture, le recours aux macro-organismes ou produits de biocontrôle en priorité et combiné de



manière cohérente avec les applications de PPS jugées strictement nécessaires et positionnées à des moments limitant le risque de résidus ; (5) enfin, une récolte précoce de salades pour éviter le risque de maladies fongiques, lorsque les plants de salade se touchent les uns les autres.

Lors d'ateliers associant des chercheurs, le service technique de la chambre d'agriculture 66, des expérimentateurs, des metteurs en marché et des maraîchers, les participants ont proposé des coordinations entre acteurs du territoire pour pouvoir mettre en œuvre cette approche technique tout en limitant les risques commerciaux et économiques induits. Ces changements se situent dans la filière en amont et en aval de la production des salades (R1 sur Fig 2b) et à l'échelle du territoire (R2 sur Fig 2b).

L'enjeu associé à cette innovation combinatoire technique "salades sans résidu de PPS" est de conserver voire d'améliorer la marge brute de cette culture, ce qui implique que d'autres acteurs modifient leur fonctionnement. Aussi, dans le prototype R1, les participants ont proposé que les maraîchers se coordonnent pour faire des achats groupés, par exemple d'auxiliaires de biocontrôle (gouvernance entre pairs), et que les pépiniéristes fournissent des plants robustes et sains, avec des variétés résistantes. Une gouvernance sectorielle est proposée pour améliorer la commercialisation des salades. L'enjeu est de réduire le pourcentage de salades non commercialisables : les producteurs, les premiers metteurs en marché et les distributeurs se coordonneraient sur un calibre de salade minimum plus faible qu'en production conventionnelle, autorisant ainsi une récolte plus précoce. Cela impliquerait que les distributeurs sensibilisent les consommateurs à l'idée qu'une salade sans résidu de PPS a un poids plus faible. La production de salade sans résidu de PPS est plus risquée que la production conventionnelle : en effet, il est possible que le producteur doive renoncer à produire sans résidus de PPS s'il juge que la situation sanitaire exige d'utiliser des PPS à des périodes susceptibles d'engendrer des résidus à la récolte. Dans ce cas, les opérateurs de la filière devraient s'accorder pour que le différentiel de prix soit limité, car les coûts de production engagés initialement restent supérieurs. De nouvelles connaissances (e.g. pour piloter finement la culture) ou de nouveaux intrants (e.g. nouvelles solutions de biocontrôle) devraient être mis au point par la R&D. Enfin, les pouvoirs publics devraient accompagner financièrement la démarche par des subventions à l'achat de matériel performant (e.g. irrigation au goutte-à-goutte, sondes tensiométriques pour l'irrigation).

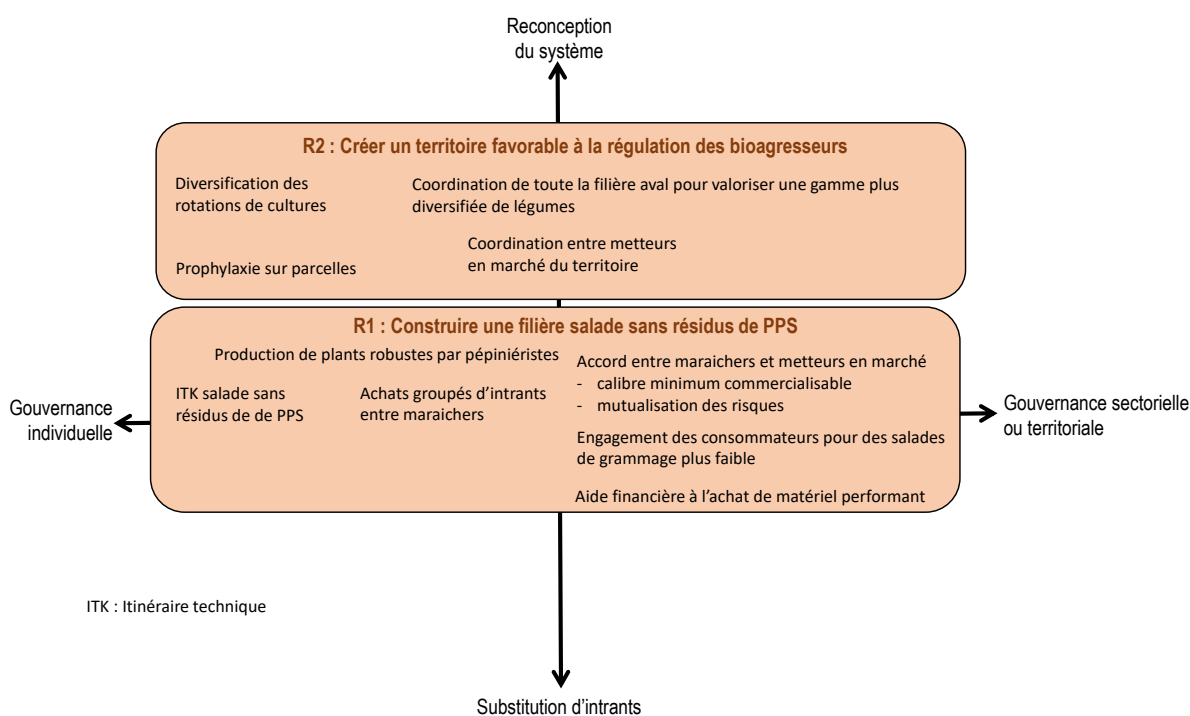


Figure 2b : Les prototypes d'innovation couplée pour produire et commercialiser une salade sans résidu de PPS en Roussillon



Le prototype R2 vise à créer un environnement de production, à l'échelle du territoire, qui soit favorable à la régulation des bioagresseurs des salades et en particulier les bioagresseurs telluriques. Pour atteindre cet objectif, certains acteurs jugent qu'une bonne maîtrise des techniques de prophylaxie et de désinfection des sols est suffisante. Pour d'autres acteurs, il est nécessaire d'augmenter le délai de retour entre deux cultures de salade sur une même parcelle, et ce d'autant plus que la fusariose de la laitue est un pathogène émergent dans ce territoire. Ces acteurs proposent de réorganiser la production de salades dans le territoire en favorisant des successions plus diversifiées sur les parcelles pour l'instant spécialisées en salade, et en favorisant la valorisation des cultures d'automne-hiver autres que les salades. Ces réorganisations reposent sur de nouvelles coordinations entre agriculteurs, entre metteurs en marché (gouvernance corporatiste) mais aussi entre ces deux types d'acteurs (gouvernance sectorielle) qui visent (i) à maîtriser les coûts engendrés par la production et la mise en marché d'une gamme plus étendue de légumes et (ii) positionner commercialement les acteurs du territoire sur d'autres légumes que les salades. Ces coordinations engagent donc à la fois les acteurs individuellement, mais aussi collectivement, elles relèvent de la reconception.

1.1 3.3 En Guadeloupe, des dynamiques multi-acteurs pour favoriser le développement de biosolutions

Les ateliers ont rassemblé des acteurs de la recherche et des instituts techniques, des fournisseurs d'intrants et des maraîchers responsables d'organisations professionnelles, pour permettre le développement et l'adoption de systèmes de culture qui mobilisent des stratégies de biocontrôle et des biostimulants (Chave et al., 2023). Dans un premier temps, deux systèmes de culture intégrant des biosolutions ont été conçus : l'innovation technique concerne un système diversifié en maraîchage destiné à la consommation locale et un système spécialisé en melons à destination des Grandes et Moyennes Surfaces ou de l'export. Lors des ateliers, les acteurs ont été répartis en 2 sous-groupes correspondant chacun à un système. Une première séquence a consisté à mobiliser le maximum de solutions de biocontrôle et de biostimulants pour modifier les itinéraires techniques et réduire l'utilisation des PPS, en indiquant, pour chaque proposition, les freins et les leviers associés. Puis les sous-groupes ont conçu des prototypes d'innovation couplée en s'appuyant sur un outil de visualisation graphique (« Tous dans le même bateau »). Ces prototypes ont été complétés et réorganisés après les ateliers par l'équipe de recherche, en remobilisant les résultats du diagnostic sociotechnique et des ressources complémentaires. Quatre prototypes ont ainsi émergé (Fig. 2c). **Les prototypes G1 et G2 concernent principalement les systèmes maraîchers diversifiés ; ils reposent sur des modes de gouvernance très centrés sur les agriculteurs**, qui agissent seuls sur leurs exploitations respectives ou entre pairs (gouvernance corporatiste), éventuellement soutenus par le conseil technique des acteurs de la R&D (gouvernance sectorielle). Ils se distinguent par leur positionnement sur l'axe vertical, le premier relevant de la substitution de PPS tandis que le second relève de la reconception des systèmes de culture (Chave et al. 2023). Les prototypes d'innovations G3 et G4 sont décrits plus en détail car ils engagent des coordinations à l'échelle du système agri-alimentaire (gouvernance territoriale) et de la filière (gouvernance sectorielle). **Le prototype G3, qui vise une meilleure coordination du système agri-alimentaire** relève donc d'une gouvernance multi-acteurs. L'innovation technique consiste en la reconception de nouveaux systèmes de culture qui nécessitent d'aborder des problématiques plus larges telles que l'accès au foncier et à l'irrigation, cités par les différents acteurs mobilisés lors des ateliers comme des freins majeurs. Lever ces freins est un préalable à la reconception de systèmes de culture avec une utilisation réduite de PPS et requiert que les agriculteurs et les acteurs sociopolitiques (la SAFER, la DAAF et la Région par exemple) se coordonnent pour réorganiser le système agri-alimentaire (réorganisation des terres, subventions, etc.). Les acteurs mobilisés lors des ateliers ont également souligné la nécessité pour les maraîchers de se coordonner avec les acteurs de l'aval afin de mieux valoriser les produits issus de systèmes de culture avec une utilisation réduite de PPS. **Le prototype G4 vise à étendre la gamme des biosolutions commercialisées en Guadeloupe** pour couvrir une gamme d'usages adaptés aux conditions tropicales, en créant un véritable marché local des solutions de



biocontrôle se substituant aux PPS, l'enjeu étant qu'il devienne compétitif au regard du marché international des PPS. Ce prototype G4 concerne les 2 types de systèmes de culture. Des coordinations entre agriculteurs, recherche et développement, fournisseurs d'intrants locaux (coopérative, groupement de production, entreprise individuelle, etc.) et services de l'Etat devraient être développées. Les services de l'Etat sont attendus dans ce prototype G4 pour accompagner la démarche d'homologation de ces nouvelles substances d'origine biologique et locales par les acteurs privés.

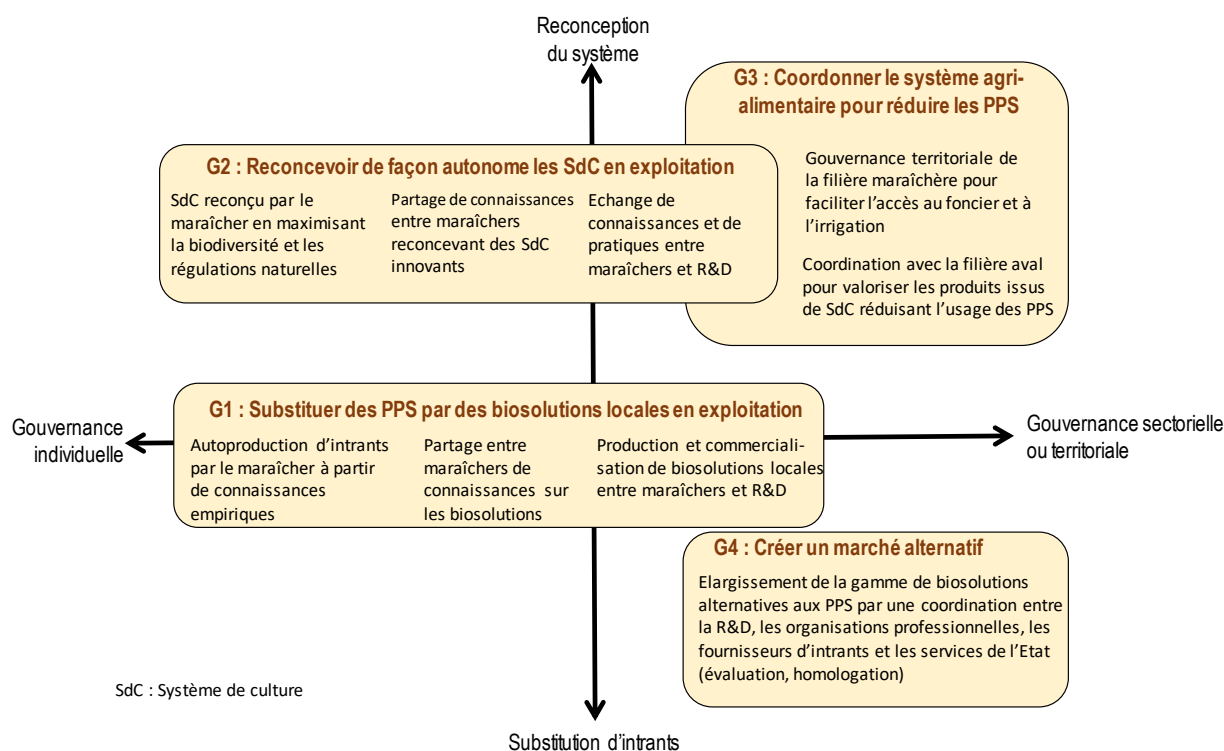


Figure 2c : Les prototypes d'innovation couplée pour développer des biosolutions en Guadeloupe

1.2 3.4 En Martinique, des organisations intra et inter-filières pour développer l'utilisation de paillages pour gérer l'enherbement

Les prototypes d'innovation couplée, identifiés lors d'échanges individuels avec les acteurs de la filière maraîchère, reposent sur le repérage de ressources internes au bassin versant du Galion, sur lequel cohabitent diverses filières, et sur l'organisation de l'approvisionnement entre filières. Les filières dominantes (banane et canne à sucre) génèrent pendant leur culture ou lors de leur valorisation des matériaux pouvant servir à pailler les sols maraîchers : effeuillage précoce des bananiers (méthode alternative de lutte contre la cercosporiose) et parage des tiges de canne à sucre à la récolte (produits généralement abandonnés au champ) ; bagasse, sous-produit résultant du broyage des cannes lors de l'extraction du jus. Outre ces sous-produits des principales filières, une autre source de paillage est le Bois Raméal Fragmenté (BRF), car la production végétale naturelle est importante en climat tropical. Deux gisements ont été explorés : (i) les espaces communs (e.g. entretien des bords de routes) ou les entreprises d'espaces verts, (ii) les exploitations lors de l'entretien des haies. L'étude de faisabilité des différentes options et des réorganisations nécessaires ont fait émerger 3 prototypes d'innovation couplée (Fig. 2d). Ils résultent d'arbitrages entre (i) des ressources limitées face à la demande et avec, pour certaines, des risques de pollution des sols maraîchers par la chlordécone, (ii) les coûts d'opportunité qui s'offrent aux acteurs, (iii) les économies d'échelle et (iv) la maîtrise technique.

Le prototype M1 repose sur le transfert des feuilles de bananiers ou de canne à sucre vers les sols maraîchers. Mais comme la problématique de gestion non chimique de l'enherbement concerne toutes les filières, les producteurs de banane et de canne à sucre souhaitent conserver leurs ressources



en feuilles pour pailler leurs propres parcelles. Ainsi le potentiel de transfert entre exploitations initialement imaginé s'avère réduit, seul reste envisageable l'échange entre parcelles d'une même exploitation, pour celles qui cultivent simultanément maraîchage et cultures d'export. **Le prototype M2 porte sur l'exploitation de la bagasse, sous-produit de l'industrie sucrière.** Il est lui aussi en conflit d'usage car sur le bassin versant du Galion, la bagasse de l'usine sucrière est en totalité brûlée dans l'usine voisine de production électrique, qui rémunère mieux le produit que pour un usage agricole. Toutefois, une part de la canne à sucre est utilisée pour fabriquer du rhum, dans des distilleries qui n'utilisent qu'une partie de la bagasse pour leurs chaudières. Mais les maraîchers craignent une pollution de la bagasse par la chlordécone. En effet suite à la révélation de la pollution des sols par cet ancien insecticide, toute introduction de matière sur une exploitation agricole indemne est jugée suspecte. Même si la contamination de la bagasse est faible (Cabidoche et Lesueur Jannoyer, 2011) le risque de contamination des sols ne peut être totalement exclu.

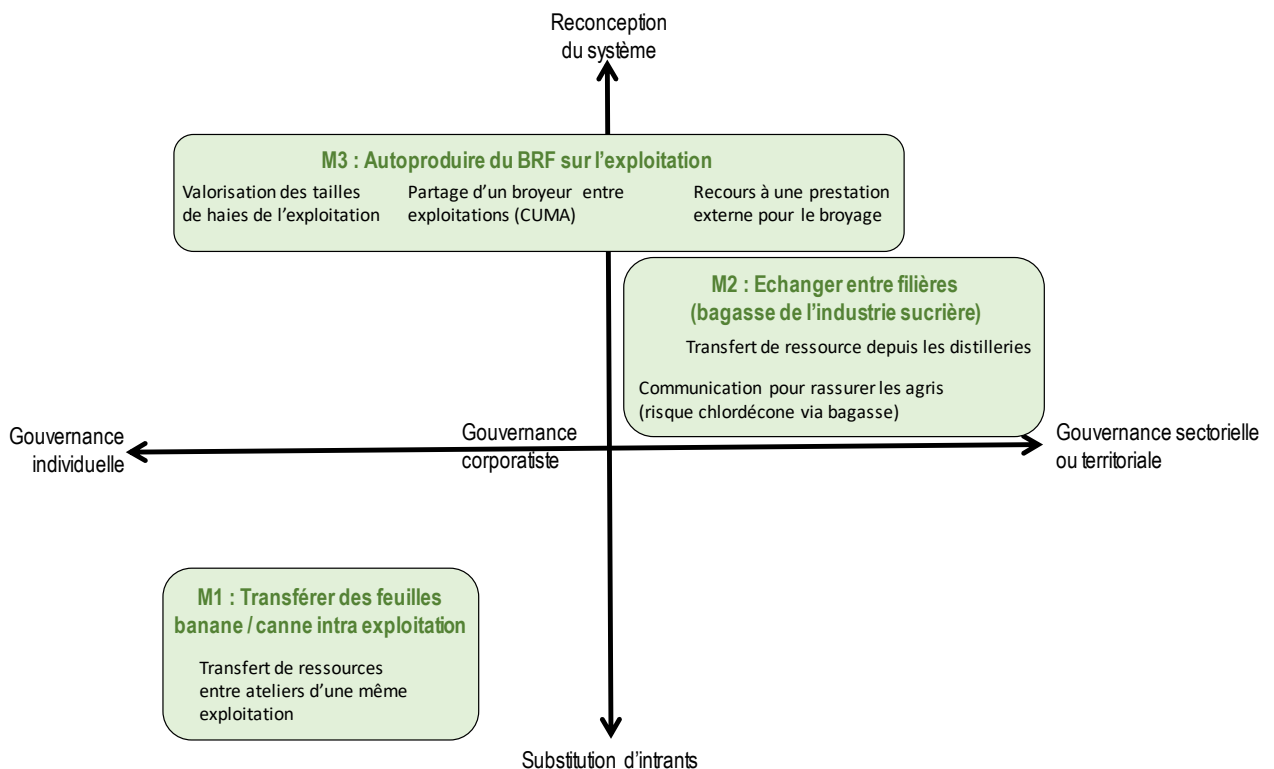


Figure 2d : Les prototypes d'innovation couplée pour gérer l'enherbement en Martinique

Le prototype M3 repose sur l'utilisation du BRF, ce qui supposerait de construire une organisation de collecte et de transport des matières végétales vers les parcelles maraîchères. De plus, l'utilisation de la ressource externe étant là encore freinée par la crainte de pollution à la chlordécone, le prototype privilégie l'élaboration de BRF sur les exploitations maraîchères elles-mêmes (tailles d'entretien des haies). Comme un broyeur performant représente un investissement difficilement rentable pour une exploitation maraîchère, de taille souvent modeste, la prestation externe ou l'achat en commun entre agriculteurs ont été envisagés. Dans le premier cas, la maîtrise technique serait assurée par un prestataire externe, mais le coût du service serait élevé pour les maraîchers (à ce jour un seul loueur de broyeur est présent en Martinique). En cas d'achat en commun, le coût par agriculteur serait plus faible, mais les maraîchers n'auraient pas forcément la maîtrise technique de l'appareil (usage, entretien, etc.). De plus, l'inorganisation de la filière maraîchère risque de freiner la mise en place d'une CUMA (Parrot et Varenne, 2023).



4. Analyse transversale et discussion

L'ensemble des prototypes d'innovation couplée conçus avec les acteurs dans les 4 cas d'étude occupent les 4 quadrants des figures 2. **Sur l'axe vertical, les innovations techniques** interviennent en substitution de PPS (e.g. biosolutions pour G4, paillage avec feuilles intra exploitation pour M1) ou nécessitent de la reconception plus ou moins forte des systèmes de culture actuels (e.g. diversification des rotations pour R2 ; apports de matières organiques dans des exploitations n'en utilisant pas encore pour P2). Il s'agit d'innovations techniques exploratoires dans le sens où il reste encore des incertitudes sur les modes opératoires (e.g. paillage avec broyats de déchets verts, P1 et P2) et certaines sont complexes à mettre en œuvre (e.g. pour atteindre la salade zéro résidu de PPS, R1). **Sur l'axe horizontal**, les prototypes d'innovation couplée mobilisent des **coordinations plus ou moins intenses** en nombre de types d'acteurs et nombre d'individus concernés, ce qui souligne la dimension systémique des innovations nécessaires pour dépasser les freins à l'échelle du système agri-alimentaire. A l'exception du prototype M1, la gouvernance individuelle, intra-exploitation, est toujours associée à d'autres modes de gouvernance : (i) entre pairs (e.g. partage d'un broyeur pour M3, d'un épandeur et de parcelles pour P2, de connaissances pour G2), (ii) à l'échelle du territoire (e.g. développement d'un marché de biosolutions locales intra-Antilles) ; (iii) de la filière (e.g. coordination entre maraîchers et metteurs en marché pour R1) et même (iv) en inter-filières (e.g. entre maraîchers et acteurs des filières banane et canne à sucre pour M2). Ces coordinations s'opèrent prioritairement au sein même du territoire, notamment lorsqu'elles mobilisent des échanges physiques entre agriculteurs. C'est le cas pour des ressources difficilement transportables pour des questions de coût (e.g. déchets verts, sous-produits d'autres filières) ou parce que les ressources sont inféodées à un territoire (e.g. auxiliaires insulaires). Ces coordinations peuvent aussi s'opérer à une échelle géographique plus large, par exemple pour la commercialisation des légumes via les circuits longs, pour la production de connaissances par les instituts techniques et la recherche ou pour gérer des questions de réglementation à une échelle nationale.

Ainsi, les prototypes couvrent toutes les dimensions de la définition de l'innovation couplée (Meynard et al. 2017 ; Boulestreau et al. 2023) : combinaison entre des innovations techniques (pratiques ou systèmes de cultures AE), des innovations organisationnelles (e.g. pour transférer des bioressources d'un lieu à l'autre), réglementaires (e.g. homologation de nouveaux auxiliaires), institutionnelles (e.g. construction d'une station de collecte de déchets verts à l'initiative d'une collectivité territoriale) et sociales (car il s'agit de coordonner les stratégies d'acteurs n'ayant pas les mêmes objectifs, perceptions ni contraintes). Bien que les ateliers aient favorisé l'émergence d'interactions entre acteurs, les difficultés de structuration de filière ne doivent pas être sous-estimées. Elles ont été identifiées dans les 4 territoires, en Provence (Boulestreau et al. 2023), en Roussillon, en Martinique (Parrot et Varenne, 2023 ; Parrot et Joltreau, 2024) et en Guadeloupe (Chave et al., 2023). Dans chacun des cas, nous avons identifié des acteurs-clés pour porter le déploiement des innovations couplées. Omon et al., 2019 ont montré le rôle structurant des acteurs de la R&D et du conseil pour accompagner la transition agroécologique et coordonner les acteurs. De plus, l'accompagnement technique est lui-même bousculé par les pratiques AE, qui nécessitent de l'observation (e.g. états de la plante, populations de bioagresseurs), de l'anticipation et de l'adaptation (e.g. dynamique de contrôle des bioagresseurs avec des pratiques AE) . Les acteurs du conseil sont également attendus comme fédérateurs des collectifs (ex : en Guadeloupe, Chave et al 2023 ; en Martinique par la diffusion d'informations sur la contamination par la chlordecone ; en Provence pour le partage de la ressource des déchets verts). Ces acteurs, au-delà de leur propre domaine d'expertise, apparaissent comme des tiers de confiance, qui s'assurent d'une forme d'équité et de partage des risques et des bénéfices dans les échanges entre acteurs.

Si la définition de l'innovation couplée est inspirée de travaux en sciences humaines et sociale, elle a été conceptualisée par des agronomes, et l'entrée se fait par l'innovation technique en exploitation agricole. Ne sont donc pas étudiés de façon exhaustive ni les stratégies et les innovations des autres acteurs, ni les dimensions sociales, économiques, organisationnelles dans leur globalité, mais seulement les éléments qui permettent de lever les freins aux innovations techniques qui sont objet d'étude. D'après



Gliessman (2016) la transition agroécologique des systèmes agri-alimentaires passe par des changements à 5 niveaux. Nous avons exploré des changements qui dépendent des agriculteurs (niveaux 1 à 3 : de l'efficacité à la reconception) et des changements qui impliquent de rétablir des connexions entre production et consommation (niveau 4), et plus généralement qui concernent des flux de matières et d'informations entre acteurs des filières. Néanmoins, nous n'avons pas creusé de transformations sociétales qui s'appuieraient explicitement sur l'équité, la démocratie et la justice et remettraient en question la relation de l'homme à la planète (niveau 5). D'autres travaux sur l'action collective adoptent d'emblée une perspective plus économique ou sociale. Ainsi, dans les cas d'étude Guadeloupe et Roussillon, Strand (2022) a montré que la capacité des acteurs intermédiaires de la commercialisation à valoriser les attributs environnementaux des produits repose sur des dynamiques de proximité forte qu'ils créent et mobilisent au sein des circuits d'approvisionnement au sein desquels ils interviennent. En Martinique, les travaux de Parrot et Varenne (2023) suggèrent que des stratégies de diversification productives, commerciales, et collectives peuvent paradoxalement affaiblir les relations de confiance, notamment si ces stratégies de diversification ne sont pas couplées à des relations contractuelles. Hannachi et Martiner (2019) insistent sur la nécessité de construire de nouvelles organisations et de transformer les activités pour aller vers des territoires agricoles plus résilients, en imaginant de nouveaux outils de décision collectifs. Dans notre étude, des approfondissements seraient nécessaires pour préciser notamment les conditions de mutualisation des risques, élément central pour que les maraîchers acceptent les investissements financiers et cognitifs associés au déploiement de nouvelles pratiques AE. Dans ce projet, les consommateurs n'ont pas été étudiés directement et des approfondissements seraient nécessaires pour évaluer leur consentement à payer pour des produits de qualité et préservant l'environnement. De plus, les innovations couplées s'insèrent dans des territoires sujets à l'évolution des sociétés et des dynamiques d'acteurs, ce qui nécessite de repositionner les innovations couplées dans des approches dynamiques, sans quoi l'évolution du contexte pourrait aboutir à de nouveaux verrouillages socio-techniques (Parrot et Joltreau, 2024 ; Parrot et Varenne, 2023).

Les résultats de cette étude, comme toute recherche participative, sont très dépendants de la sélection et de la mobilisation des autres acteurs partenaires. Même si ce choix est raisonné sur des bases les plus explicites possibles, des éléments non contrôlés peuvent biaiser les résultats. Par exemple, la faible disponibilité de certains acteurs, leur plus ou moins grande facilité à s'impliquer dans un processus de recherche peuvent être à l'origine de distorsions, qui ont été relevées par Cardona et al. (2024) : des acteurs sortent du dispositif d'étude en cours de projet pour des raisons indépendantes du projet lui-même, des actions proposées par des acteurs lors du diagnostic ne sont finalement pas reprises ni même discutées en atelier (Chave et al. 2023). C'est une des raisons pour laquelle les chercheurs ont fait le choix de poursuivre la conception post-atelier, en explorant de façon plus systématique toutes les options possibles et en reconstituant, à partir des idées émises par les acteurs, des prototypes d'innovations couplées. Deux étapes d'évaluation sont alors indispensables. La première est l'évaluation par les acteurs de ces reconstructions de chercheurs, qui a été initiée en fin de projet. Comme pour la conception de systèmes de culture innovants, elle permet de préciser les modalités de certaines actions, et parfois d'identifier de nouveaux phénomènes de verrouillage, en combinant plusieurs cycles de conception/évaluation (Craheix et al., 2015) et de s'assurer de la faisabilité des prototypes. Une piste pour qualifier et comparer les prototypes conçus serait d'utiliser l'outil ACT³ proposé par Biovision pour déterminer dans quelle mesure ils soutiennent les différentes dimensions du changement agroécologique au sens de Gliessman (2016). La seconde est l'évaluation quantitative ex ante des effets du prototype d'innovation couplée. Mais l'échelle en jeu (territoire) et le caractère multi-acteur et multi-dimensionnel de ces innovations pose de nombreuses questions méthodologiques. Notons tout d'abord que s'agissant d'innovations, on a toutes les chances de sortir des domaines de validité des modèles déjà existants, ceux-ci nécessitant généralement une certaine praxis et des données déjà accumulées pour être conçus et paramétrés. Ces limites peuvent être en partie levées, dans la mesure où certaines innovations

³ <https://www.agroecology-pool.org/methodology/>



envisagées reposent sur des processus déjà connus et pour certains largement investigués, mais c'est alors leurs combinaisons et leur application à un contexte territorial précis qui peuvent poser problème. Ajoutons à cela des effets souvent beaucoup plus subtils des techniques AE envisagées en substitution par rapport aux PPS, et une grande dépendance aux conditions de milieu et d'application, de sorte que les effets à évaluer sont souvent dans la marge d'erreur des outils d'évaluation. Il y a là un champ à explorer qui n'a été abordé que très à la marge dans le projet INTERLUDE, celui-ci n'ayant pas été orienté à l'origine dans la perspective d'un recueil de données permettant de faire fonctionner de tels modèles, quand bien même ceux-ci existeraient.

5. Conclusion

Cette étude confirme la richesse du concept d'innovation couplée, insistant sur le fait que ces innovations techniques ne peuvent se développer à large échelle que si elles sont couplées à d'autres innovations que l'on peut décrire comme des modes de coordination entre acteurs. Dans cette étude, nous avons proposé une représentation originale, combinaison cohérente d'innovations à l'échelle de l'exploitation agricole avec des coordinations avec d'autres acteurs du système agri-alimentaire. Ces coordinations visaient à fournir des intrants ou des équipements, à valoriser commercialement les légumes produits en AE, à produire de nouvelles connaissances sur des techniques encore insuffisamment maîtrisées, à fournir de l'appui pour piloter un itinéraire technique complexe ou pour coordonner des acteurs, ou encore à faire évoluer les réglementations. Nos recherches ont conduit à une diversité d'innovations couplées, qui sont situées, et donc a priori adaptées à chaque territoire d'étude. Les spécificités du terrain (caractéristiques des systèmes techniques, des exploitations agricoles et des organisations sociales, conditions pédoclimatiques, paysages réglementaires, etc.) conditionnent fortement les conditions d'émergence de ce type d'innovations. Pour autant, l'analyse transversale des cas d'étude a permis de produire des connaissances génériques, par exemple sur la nécessité de coordonner une diversité d'acteurs du système agri-alimentaire pour que les agriculteurs arrivent mettre en œuvre des systèmes de culture agroécologiques.

La conception d'innovations couplées suppose de mobiliser différents types d'activités et modalités de recueil des données, en individuel ou en collectif : diagnostic sociotechnique des freins à l'adoption d'innovations techniques par enquête ; ateliers multi-acteurs de conception d'innovations ; retravail par les chercheurs post atelier. Pour comprendre et accompagner un problème complexe, on passe ainsi d'éléments de diagnostic sur l'existant à des éléments prospectifs, et d'une phase de décomposition du problème complexe en éléments étudiables à une phase de recombinaison sous forme d'innovations couplées qui sont une réponse systémique à une question également systémique et complexe. Les projets de recherche participatifs, en donnant à voir aux acteurs des systèmes agri-alimentaires de possibles ajustements entre leurs stratégies pendant le temps du projet, leur fournissent des clés (outils, idées d'innovations, etc.) susceptibles de favoriser l'émergence d'innovations au-delà de la vie du projet. Leur participation active aux ateliers en témoigne, même si l'enjeu de passage de prototypes d'innovations à une réelle mise en œuvre sur le terrain ne doit pas être sous-estimé.



Déclaration sur la disponibilité des données et des modèles

Les données qui étayent les résultats évoqués dans cet article sont accessibles sur demande auprès de l'auteur de correspondance de l'article, sous réserve du respect du RGPD auquel le projet INTERLUDE est soumis.

Déclaration relative à l'Intelligence artificielle générative et aux technologies assistées par l'Intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

Les auteurs n'ont pas utilisé de technologies assistées par intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

Contributions des auteurs

M. Navarrete et M. Casagrande : rédaction du manuscrit, co-portage du projet INTERLUDE, conceptualisation de l'innovation couplée en maraîchage

A. Dufils, C. Lesur-Dumoulin, M. Chave et L. Parrot : pilotage des études dans les 4 territoires (respectivement : Provence, Roussillon, Guadeloupe et Martinique), analyse des données et formalisation des résultats de chaque territoire

V. Angeon, A. Lefèvre, R. Roche et S. Simon : participation aux ateliers multi-acteurs, aide à la formalisation des innovations couplées et relecture du manuscrit

Déclaration d'intérêt

Les auteurs déclarent ne pas travailler, ne pas conseiller, ne pas posséder de parts, ne pas recevoir de fonds d'une organisation qui pourrait tirer profit de cet article, et ne déclarent aucune autre affiliation que celles citées en début d'article.

Remerciements

Les auteurs et autrices remercient les acteurs des territoires et les étudiants qui ont participé à cette étude : E. Bousquet, S. Darets, J. Desombre, L. Eypert, E. Michel, O. Signarbieux, M. Strand.

Déclaration de soutien financier

Le projet INTERLUDE a bénéficié du soutien financier de l'OFB dans le cadre de l'APR Leviers territoriaux pour réduire l'utilisation et les risques liés aux produits phytopharmaceutiques lancé dans le cadre du plan Écophyto II+ et co-piloté par les ministères de la transition écologique, de l'agriculture et de l'alimentation, des solidarités et de la santé et de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation.

Références bibliographiques

Agreste 2023. Pratiques phytosanitaires en production légumière en 2018. IFT et nombre de traitements – Correctif, Juin 2023 No 9.

Angeon V., Casagrande M., Navarrete M., Sabatier R., 2024. A conceptual framework linking ecosystem services, socio-ecological systems and socio-technical systems to understand the relational and spatial dynamics of the reduction of pesticide use in agrifood systems. *Agricultural Systems* 213, 103810.

Boulestreau Y., Casagrande M., Navarrete M., 2021. Analyzing barriers and levers for practice change: a new framework applied to vegetables' soil pest management. *Agronomy for Sustainable Development* 41, 44:18.

Boulestreau Y., Casagrande M., Navarrete M., 2023. A method to design coupled innovations for the agroecological transition. Implementation for soil health management in Provençal sheltered vegetable systems. *Agricultural Systems* 212,103752.

Bousquet E., 2021. Situations de recours aux produits phytopharmaceutiques hors produits de biocontrôle dans leurs différents usages en cultures légumières dans les Pyrénées-Orientales et repérage des freins à leur réduction. Synthèse du mémoire de stage.

Brun J., Jeuffroy M.H., Pénicaut C., Cerf M., Meynard J.M., 2021. Designing a research agenda for coupled innovation towards sustainable agrifood systems. *Agricultural Systems* 191, 103143.

Cabidoche Y.M. et Lesueur Jannoyer M., 2011. Pollution durable des sols par la chlordécone aux Antilles : comment la gérer ? *Innovations Agronomiques* 16, 117-133.



- Cardona A., Angeon V., Bellon S., Casagrande M., Dufils A., Lopez-Merino P., Navarrete M., Ollivier G., Penvern S., 2024. Is transdisciplinarity an achievable ideal? Lessons from our experience. *Agroecology and sustainable food systems* 48, 610-640.
- Casagrande M., Belmin R., Boulestreau Y., Le Bail M., Navarrete M., Meynard J.M., 2023. Guide méthodologique pour le diagnostic des freins et leviers sociotechniques aux processus d'innovation dans des systèmes agri-alimentaires. INRAE.
- Chave M., Angeon V., Casagrande M., 2023. Biosolutions : dépasser le paradigme de la substitution pour une production maraîchère écologisée en Guadeloupe. *Innovations Agronomiques* 92.
- Cochet H., 2011. *L'agriculture comparée*. Éditions Quæ, Indisciplines, Paris, France.
- Craheix D., Bergez J.E., Angevin F., Bockstaller C., Bohanec M., Colomb B., Doré T., Fortino G., Guichard L., Pelzer E., Messean A., Reau R., Sadok W., 2015. Guidelines to Design Models Assessing Agricultural Sustainability, Based upon Feedbacks from the DEXi Decision Support System. *Agronomy for Sustainable Development* 35, 1431-1447.
- Darets S., 2023. Co-conception de scénarios territoriaux permettant de réduire le recours aux produits phytosanitaires au sein de la filière maraîchère des Pyrénées-Orientales. Mémoire d'ingénieur AgroParisTech.
- Desombre J., 2022. Biocontrôle et biostimulation comme alternatives aux produits phytopharmaceutiques en maraîchage aux Antilles, Rapport de stage de césure, ENSAT, Toulouse, France.
- Gliessman S., 2016. Transforming food systems with agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40(3), 187–189
- Hannachi M., Martinet V., 2019. Vers une co-conception de paysages pour la santé des plantes et avec des acteurs du territoire. In *Paysage, biodiversité fonctionnelle et santé des plantes*, Educagri Éditions, 181-201
- Hill S.B., MacRae R.J., 1995. Conceptual framework for the transition from conventional to sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, 7, 81–87.
- Lamine C., Meynard J.M., Bui S., Messéan A., 2010. Réductions d'intrants : des changements techniques, et après ? Effets de verrouillage et voies d'évolution à l'échelle du système agri-alimentaire. *Innovations Agronomiques* 8, 121-134
- 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.
- Michel E., 2021. A sociotechnical analysis in market gardening systems. Understanding the barriers and levers to agroecological soil management in Provence. Master thesis Isara/Norwegian University of Life Sciences, Lyon, France.
- Omon B., Cerf M., Auricoste C., Olry P., Petit M.S., Duhamel S., 2019. CHANGER-Échanger entre conseillers sur les situations de travail pour accompagner les agriculteurs dans leurs transitions vers l'agroécologie. *Innovations Agronomiques* 367-383.
- Parrot L., Joltreau T., 2024. Tous les chemins mènent-ils au rhum ? Le rôle de l'alliance sur la performance des coalitions d'acteurs dans les filières canne à sucre et maraîchage en Martinique. *Economie Rurale* 389(3), 81-98.
- Parrot L., Varenne M., 2023. Confiance, vulnérabilité et résilience : le paradoxe des stratégies de diversification maraîchères en Martinique. *Mondes en Développement* 204, 131-48
- Signarbieux O., 2022. Développement agricole sur le bassin versant du Galion en Martinique : Une histoire de la captation de la valeur ajoutée par des tiers au détriment des petits, mémoire AgroParisTech, Paris, France.
- Silva R.M., Canellas L.P., 2022. Organic matter in the pest and plant disease control: a meta-analysis. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 9:70
- Strand M., 2022. Proximity and PPP-dependency. The role of intermediary actors' mobilisation of proximity dynamics in reducing the dependency of Plant Protection Products in local vegetable distribution channels in the two French territories of Martinique and Pyrénées-Orientales, Mémoire de fin d'études. Institut Agro, France.
- Sylvander B., Bellon S., Benoît M., 2006. Facing the organic reality: the diversity of development models and their consequences on research policies. *Organic Congress Organic Farming and European Rural Development* 4.



Tibi A. (coord.), Martinet V. (coord.), Vialatte A. (coord.), Alignier A., Angeon V., Bohan D.A., Bougherara D., Cordeau S., Courtois P., Deguine J.P., Enjalbert J., Fabre F., Fréville H., Gâteau R., Grimonprez B., Gross N., Hannachi M., Launay M., Lelièvre V., Lemarié S., Martel G., Navarrete M., Plantegenest M., Ravigné V., Rusch A., Suffert F., Thoyer S., 2022. Protéger les cultures en augmentant la diversité végétale des espaces agricoles. Synthèse du rapport d'ESCO. INRAE (France)

Vanloqueren G, Baret P. (2008) How agricultural research systems shape a technological regime that develops genetic engineering but locks out agroecological innovations. *Research Policy* 38, 971–983.

Vida C., de Vicente A., Cazorla F.M., 2020. The role of organic amendments to soil for crop protection: Induction of suppression of soilborne pathogens. *Annals of Applied Biology* 176, 1-15.

Wezel A., Casagrande M., Celette F., Vian J.F., Ferrer A., Peigné J., 2014. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 34, 1-20.

Wilson C., Tisdell C., 2001. Why farmers continue to use pesticides despite environmental, health and sustainability costs. *Ecological Economic*



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

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