



«

Appel à projets de recherche innovation ou de recherche action

**« Leviers territoriaux pour réduire l'utilisation et les risques liés aux produits
phytopharmaceutiques »**

**INTERLUDE - INnovations TERRitoriales pour la Réduction des
produits phytopharmaceutiques en production LégUmière Durable**

**Livrable L2.b. Description des outils d'évaluation
mobilisés et/ou construits**

Auteurs : Laurent Parrot et Romain Roche

Avec l'appui de Marion Casagrande, Blandine Rosies et Rodolphe Sabatier sur le
recensement des outils et la grille d'évaluation

Dernier enregistrement le 29/02/2024 16:10:00

Table des matières

1. Introduction	3
2. Inventaire des outils utilisés par les partenaires du projet ou potentiellement utilisables dans INTERLUDE	5
3. Les indicateurs retenus dans le cadre du projet INTERLUDE (source MiseEnFormev2)	7
4. Mobilisation des indicateurs	10
5. Cas 1 : Gestion agroécologique de la santé des sols en Provence	11
6. Cas 3 : Gestion de l'enherbement dans un bassin versant de Martinique.....	15
7. Annexe 1. Cas 1 : PACA	21
8. Annexe 2. Cas 1 : Martinique	24

1. Introduction

L'évaluation constitue un enjeu majeur dans le contexte actuel de préoccupation croissante pour la durabilité et la protection de l'environnement. Cependant, malgré l'existence d'une gamme d'outils initialement recensés pour faciliter ce processus, peu d'entre eux sont effectivement impliqués dans la démarche d'évaluation. Cette observation soulève des interrogations et invite à explorer les diverses raisons sous-jacentes à ce constat.

Manque de sensibilité aux techniques avancées

L'un des obstacles majeurs réside dans le manque de sensibilité de certains outils par rapport aux techniques parfois relativement pointues ou complexes (comme dans le cas de des connaissances sur les milieux naturels en agroécologie) mises en œuvre dans le domaine de l'évaluation. En effet, des outils semblent être conçus sans une compréhension approfondie des nuances et des subtilités inhérentes aux méthodes avancées utilisées dans ce contexte. Par exemple, la sous-estimation de la complexité des analyses requises pour évaluer la présence de pesticides dans l'environnement et leur répartition à différentes échelles spatiales.

Les enjeux des échelles territoriales

Une autre faiblesse observée dans de nombreux outils est la négligence de l'échelle territoriale, soit qu'elle n'est que rarement prise en compte, soit qu'elle ne fait pas le lien avec les pesticides. L'évaluation dans le contexte des pesticides, doit souvent tenir compte des variations géographiques et des caractéristiques spécifiques des territoires étudiés. Ignorer ces aspects peut entraîner une évaluation biaisée et peu représentative de la réalité locale.

Complexité de mise en œuvre

Certains outils d'évaluation sont relativement complexes à mettre en œuvre. Ces outils, conçus par des chercheurs pour des chercheurs, voire des conseillers agricoles, peuvent se révéler complexes pour ceux qui ne sont pas directement impliqués dans les thématiques à l'origine de leur conception. La mise en place de ces outils nécessite souvent une expertise spécifique, excluant ainsi de nombreux acteurs potentiels du processus d'évaluation et en particulier les agriculteurs. A l'inverse, si des outils d'évaluation se révèlent trop simplistes,

trop éloignées des règles de gestion des exploitations agricoles et de l'agriculteurs, ils ne seront guère d'une grande utilité. Une conception conjointe entre les concepteurs, les porteurs sur le terrain et les utilisateurs finaux, demeure nécessaire pour maximiser les chances d'appropriation des outils d'évaluation.

Influences réglementaires et donc d'interprétation, sur les indicateurs de mesure

La réglementation peut influencer sur les indicateurs par le jeu des seuils. Par exemple, Si la dose autorisée pour un pesticide de synthèse était de 1 litre en 2012, et qu'un agriculteur en 2012 appliquait 0,5 litre, son IFT était de 0,5. Mais la dose autorisée du produit a baissé de moitié, ce qui est le cas aujourd'hui pour de nombreux produits. Ainsi en appliquant 0,5 litre du même produit cinq ans plus tard, l'IFT de l'agriculteur passe alors à 1. De la même manière, des produits moins nocifs mais moins efficaces que certains pesticides de synthèse nécessitent plus d'applications, ce qui augmente le nombre de doses unités (NODU).

Orientation des Cas d'Étude

L'orientation des cas d'étude constitue également un facteur limitant dans l'efficacité des outils d'évaluation. En effet, les différents cas d'étude peuvent ne pas être particulièrement orientés vers le recueil de données pertinentes pour envisager l'application de ces outils d'évaluation. Cela crée un écart entre la conception des outils et les besoins réels des utilisateurs finaux, entravant ainsi leur utilisation concrète dans des contextes pratiques.

En somme, une attention particulière devrait être accordée à l'adaptabilité, à la convivialité et à la pertinence contextuelle lors de la conception de futurs outils d'évaluation, afin de les rendre accessibles et utiles pour un public diversifié.

Ceci étant, des éléments ont été mobilisés aux différentes étapes des cas d'étude, comme nous le verrons dans la description de deux d'entre eux, mais de façon moins systématique et transversale qu'on aurait pu l'espérer.

Enfin, point qui n'était pas forcément attendu dans le projet, la mise en œuvre et le déploiement des cas d'étude ont parfois permis de proposer des pistes d'amélioration ou d'évolution des outils mobilisés.

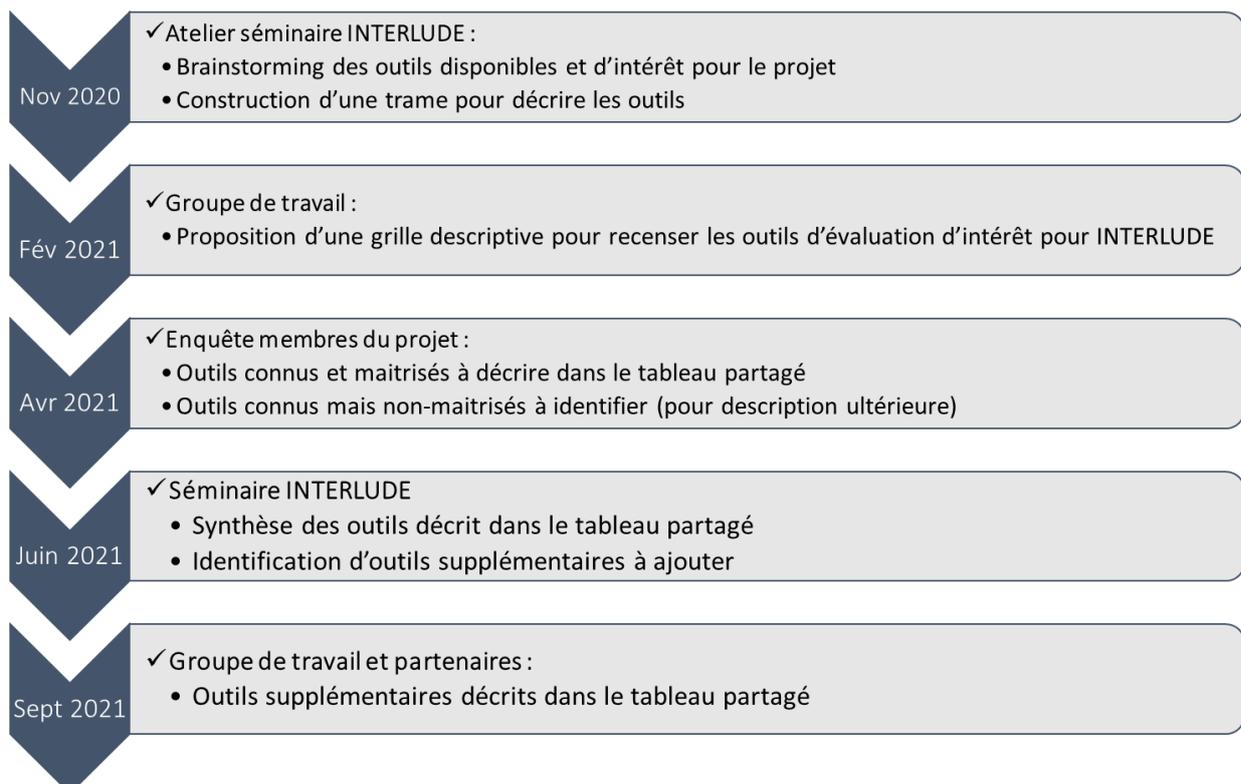
2. Inventaire des outils utilisés par les partenaires du projet ou potentiellement utilisables dans INTERLUDE

La démarche de sélection des indicateurs et des outils d'évaluation a fait l'objet d'une démarche participative entre les mois de novembre 2020 et le mois de septembre 2021. Par exemple, nous avons suggéré de construire une grille pour chaque cas d'étude en amont des ateliers de co-conception.

En début d'atelier, les participants sélectionnent (et hiérarchisent) les indicateurs de la grille qu'ils souhaitent évaluer en lien avec les objectifs identifiés.

En fin d'atelier, les participants vérifient que les objectifs sont atteints, en se référant aux indicateurs choisis. Ils peuvent s'appuyer sur des outils d'évaluation et/ou des évaluations à dire d'experts pour estimer la valeur des indicateurs. La grille pourra également être utilisée entre des ateliers.

➤ Recensement d'outils d'évaluation existants, pertinent pour le projet INTERLUDE



Dans le cadre du projet, plusieurs outils ont ainsi été identifiés :

Des modèles dynamiques :

- Modèle R-Nem (qui permet d'évaluer les effets de pratiques culturales et de rotations sur le développement des nématodes à galle) (INRAE UMR ISA, CS1)
<https://f-ghestem.shinyapps.io/MO-et-rotation-serveur/>
- Rotat, Farm Step (modèles de génération et d'optimisation des rotations, CS2)
- OCELET (modèle des dynamiques spatiales et paysagères) (CIRAD / La Réunion, CS3)

Des outils d'évaluation multicritères :

- DEXIpm fv (INRAE UE Gotheron)
- DEXi Nématodes (INRAE UR Ecodéveloppement)
- IDEA v4
- DISC (outils de co-conception)
- Modèles R. Paut sur la diversification (INRAE UR Ecodéveloppement) : Arbitrage production/risques

Objets intermédiaires de discussion pour les ateliers de reconception :

- Adaptation de l'outil Mission Ecophyt'eau à la filière légumes
- Frise d'itinéraires techniques (outil Excel, INRAE UE Alenya)
- Outil compagnon numérique / Pépinière dans la cadre du projet MESCLUN
- Suite d'outils "ROTAT" (FarmIMAGE ; FarmSTEP) (/évaluation multicritères) Wageningen / INRAE UE Alenya
- Grille d'évaluation de stratégies territoriales pour la gestion agroécologique de la santé des sols (/évaluation multicritères) (INRAE UR Ecodéveloppement, Thèse Y. Boulestreau)
- Démarche COMMOD

Jeux sérieux:

- Jeu de rôle pour partager les verrouillages sociotechniques avec les acteurs, adapté au cas des nématodes à galle (CS1) ; outil diffusé : La clé du sol (INRAE UR Ecodéveloppement, Thèse Y. Boulestreau)
<https://ecodeveloppement.paca.hub.inrae.fr/nos-productions/nos-jeux-serieux/la-cle-du-sol>
- Ruralis : jeu infrastructures agro-écologiques
- COPALCAM: jeu de rôle pour comprendre la filière huile de palme au Cameroun
<https://inspire4sd.com/resources/our-games/copalcam/>
- Jeu de territoire (INRAE UMR Territoire)

Des outils d'aide à la décision :

- AGRIPLAN, un outil d'aide à la décision à l'échelle de l'exploitation agricole qui présente la particularité de dimensionner le niveau de production en fonction de la demande des marchés et sous un régime de contrainte de temps et de disponibilité en travail.
- COHORT, un outil d'aide à la décision à l'échelle de l'exploitation agricole qui décompose la production en différents ateliers.
- AFA (Analyse des Filières Agricoles), un logiciel d'audit comptable et financier qui permet d'établir les comptes individuels et consolidés à l'échelle d'une filière. Des extensions permettent d'estimer la contribution d'une filière à l'échelle nationale.

3. Les indicateurs retenus dans le cadre du projet INTERLUDE (source MiseEnFormev2)

Les outils d'aide à la décision s'appuient sur des indicateurs. Par définition, un indicateur est un appareil, instrument servant à fournir des indications, des renseignements sur la valeur d'une grandeur.

Les indicateurs peuvent être primaires (ex : SAU), ou construits à partir de la combinaison de plusieurs indicateurs primaires (ex : le rendement ou la productivité de la terre).

Le projet INTERLUDE s'est appuyé sur des indicateurs ou des modèles préexistants qui ont été adaptés dans la phase initiale du projet, tel que le modèle RNem pour le cas d'étude PACA. Une grille a été créée lors du projet pour fournir une base d'indicateurs mobilisables (source MiseEnFormev2).

La grille d'indicateurs dans le cadre du projet se présente sous forme d'une liste de dimensions et de critères (Tableau 1).

TABLEAU 1. PRINCIPES D'UTILISATION DE LA GRILLE (SOURCE MISEENFORMEV2).

Supra-Dimension	Dimension	Définition
Agronomique	Gestion de l'agrosystème	Pratiques et pilotage du système agricole
Structuration de la filière	Adéquation aux besoins de la filière	Effet des scénarios sur les filières
Coordinations	Structure des réseaux	Structure des réseaux d'acteurs (diversité et nombres d'acteurs)
	Interactions et fonctionnement des réseaux	Modalité d'interactions entre les acteurs du territoire
Global	Déploiement du scénario sur le territoire (spatial)	Surface concernées par le scénario, ampleur spatiale des changements
	Satisfaction	Perception des acteurs sur le scénario
	Faisabilité	Point de vue des acteurs sur la faisabilité du scénario
Santé des écosystèmes / humaine	Réduction des PPP (intensité locale)	Mesures directes de l'effet sur la réduction de l'usage des PPP
Savoirs	Amélioration de connaissances	Effet du scénario sur l'amélioration des connaissances des acteurs

Des exemples d'indicateurs sont associés aux différentes dimensions et critères.

Ces indicateurs sont considérés comme une liste d'exemples permettant d'inspirer chaque cas d'étude sur des dimensions qui peuvent être pertinentes. Cette démarche a permis de construire une grille d'analyse spécifique/adaptée à chaque cas d'étude, intégrant les indicateurs pertinents pour le cas (issus du tableau proposé ou d'autres indicateurs) (voir section suivante : 4.Mobilisation des indicateurs).

TABLEAU 2. GRILLE D'ÉVALUATION DES PROPRIÉTÉS DES SCÉNARIOS CO-CONÇUS

Critère/Indicateur exemple	Supra-dimension	Dimensions (V2)
Part du temps de travail pour désherbage	Agronomique	Gestion de l'agrosystème
Diversité des matériaux (pour le paillage)	Agronomique	Gestion de l'agrosystème
Sources de matières (nature et quantités)	Agronomique	Gestion de l'agrosystème
Effet de l'introduction des MO sur les propriétés agronomiques du système	Agronomique	Gestion de l'agrosystème
Qualité des MO épandue	Agronomique	Gestion de l'agrosystème
Effet biologique des MO épandue sur les bioagresseurs telluriques	Agronomique	Gestion de l'agrosystème
Amélioration et maintien de la santé des sols	Agronomique	Gestion de l'agrosystème
Indicateurs au champ autres que la diminution des IFT définis par les agriculteurs	Agronomique	Gestion de l'agrosystème
Indicateurs de rendement	Agronomique	Gestion de l'agrosystème
Valeur ajoutée	Agronomique	Gestion de l'agrosystème
Investissement équipements nécessaires	Agronomique	Gestion de l'agrosystème
Analyse coût bénéfice de la pratique (paillage, MO, diversification)	Agronomique	Gestion de l'agrosystème
Surcout pour les agriculteurs	Agronomique	Gestion de l'agrosystème

Temps de travail	Agronomique	Gestion de l'agrosystème
Rentabilité du système intégrant les MO	Agronomique	Gestion de l'agrosystème
Rentabilité de la culture ou de la rotation	Agronomique	Gestion de l'agrosystème
Nombre d'acteurs qui interagissent, fréquence des relations	Coordinations	Structure des réseaux
Nombre de réseaux, nbre d'acteurs qui ont rejoint un collectif (réseau, projet)	Coordinations	Structure des réseaux
Construction de nouveaux projets, réflexion	Coordinations	Interactions et fo des réseaux
Entrée en discussion d'acteurs grâce aux ateliers	Coordinations	Interactions et fo des réseaux
Conceptualisation voire mise en œuvre d'une nouvelle filière de MO	Coordinations	Interactions et fo des réseaux
Apparition du nouveaux acteurs amont/aval	Coordinations	Interactions et fo des réseaux
Diversification / régression des acteurs existants	Coordinations	Interactions et fo des réseaux
Nombre d'agriculteurs adoptant la pratique (diversification)	Coordinations	Structure des réseaux
Type d'agriculteurs adoptant la pratique (diversification)	Coordinations	Structure des réseaux
Projet formalisé dans les MAE ou autres	Global	Déploiement du scénario sur le territoire (spatial)
Niveau de satisfaction des maraichers	Global	Satisfaction
Niveau de satisfaction des autres acteurs impliqués	Global	Satisfaction
Faisabilité des scénarios pour chaque acteur impliqué	Global	Faisabilité
Niveau de facilité de la mise en œuvre du scénario	Global	Faisabilité
Superficie des surfaces paillées	Global	Déploiement du scénario sur le territoire (spatial)
Nombre d'interactions 971/972 (biocontrôle et biostimulants)	Global	Déploiement du scénario sur le territoire (spatial)
Producteurs pratiquant des échanges de matériaux pour le paillage	Coordinations	Interactions et fonctionnement des réseaux
nbre de produits de biocontrôle disponibles et le nombre de produits achetés (importés ou locaux)	Santé écosyst. / hum.	Réduction des PPP (intensité locale)
IFT	Santé écosyst. / hum.	Réduction des PPP (intensité locale)
QSA	Santé écosyst. / hum.	Réduction des PPP (intensité locale)
NODU	Santé écosyst. / hum.	Réduction des PPP (intensité locale)
Production et la vente de produits de biocontrôle	Santé écosyst. / hum.	Réduction des PPP (intensité locale)
Indicateurs non-quantitatif (tendance, types/catégories de phyto)	Santé écosyst. / hum.	Réduction des PPP (intensité locale)
Baisse des besoins en PPP	Santé écosyst. / hum.	Réduction des PPP (intensité locale)
Nbre d'agriculteurs capables d'évaluer eux-mêmes les auxiliaires naturellement présents sur leurs parcelles	Savoirs	Amélioration de connaissances
Disponibilité de pratiques et de références pour la production et l'utilisation de biostimulants par les agriculteurs	Savoirs	Amélioration de connaissances
Volume d'espèces et disponibilité	Structuration filière	Adéquation aux besoins de la filière
Manque de production d'une espèce phare sur tout le territoire (contre-effet long terme, concerne tous les acteurs)	Structuration filière	Adéquation aux besoins de la filière
Surface concernée par les scénarios produits	Structuration filière	Adéquation aux besoins de la filière
Nombre de plateforme de compostage collectives créés	Structuration filière	Adéquation aux besoins de la filière
Nombre d'agriculteurs / Proportion ayant accès à la ressource de MO désirée	Structuration filière	Adéquation aux besoins de la filière

Volume de production de culture de diversification écoulee sur le territoire par rapport à la surface plantée	Structuration filière	Adéquation aux besoins de la filière
Liste des objections, des freins au développement d'une filière (paillage)	Structuration filière	Adéquation aux besoins de la filière
Surcout pour les autres acteurs impliqués	Structuration filière	Adéquation aux besoins de la filière
Analyse coût bénéfiques	Structuration filière	Adéquation aux besoins de la filière

L'intégralité des indicateurs n'a naturellement pas été mobilisée par les porteurs de cas d'étude. En revanche, leur affichage a permis de décomposer les problématiques abordées sous la forme d'indicateurs de mesure.

Par ailleurs, les indicateurs pourraient aussi couvrir la fonction de mesure d'impact (ASIRPA pour l'INRAE, Impress pour le CIRAD) dans des démarches *in itinere* ou *ex-post*.

4. Mobilisation des indicateurs

La déclinaison des outils et surtout des indicateurs a ensuite été adaptée pour deux cas d'étude pour lesquels les outils et les indicateurs se sont révélés pertinents. Pour rappel, il était demandé pour chaque cas d'étude les éléments suivants :

1. Le ou les pesticides de synthèse ciblés (herbicides de synthèse, fongicides, ...) ;
2. Les alternatives correspondantes envisagées (ex : paillage, broyats...) : nature, fonctions, avantages / inconvénients ;
3. Les indicateurs, les outils et les méthodes associés à l'évaluation des alternatives envisagées :
 - a. Potentiellement mobilisables ;
 - b. et ensuite, effectivement mobilisées, (dans le cadre du projet, ou d'autres projets) ;
4. Le niveau de contribution potentielle et/ou effective des indicateurs, outils et méthodes envisagées à la réduction de l'usage des PPP ciblés :
 - a. de façon directe (IFT, QSA, NODU,...)
 - b. et indirecte le cas échéant (certification, ...).

Les résultats obtenus sont déclinés ci-après pour les études de cas PACA et Martinique gestion de l'enherbement.

5. Cas 1 : Gestion agroécologique de la santé des sols en Provence

L'étude est centrée sur les bio-agresseurs telluriques en maraîchage. Cela concerne aussi bien les maladies fongiques, lesquelles sont très diverses et souvent assez spécifiques des espèces, voire des variétés, que les nématodes à galle qui présentent beaucoup moins d'espèces eux-mêmes, mais ont la propriété de pouvoir s'attaquer à un grand nombre d'espèces végétales. La lutte est difficile et coûteuse aussi bien économiquement que pour l'environnement, du fait 1) des nombreuses formes de résistance de ces ravageurs, et 2) de l'aspect « massique » du compartiment sol qui est un compartiment de stockage peu accessible. Il y a donc possibilité d'arrière-effets des conditions d'une culture sur la suivante et nécessité de raisonner la lutte sur plusieurs cycles.

Un focus particulier sera effectué sur les nématodes à galle qui posent de loin les problèmes les plus aigus.

TABLEAU 3. CAS 1 : GESTION AGROECOLOGIQUE DE LA SANTE DES SOLS EN PROVENCE.

PPPs ciblés	Les produits concernés que l'on cherche à réduire sont à la fois les fongicides et surtout les méthodes de traitement des sols, qu'elles soient chimiques (nématocides) ou physiques (injection de vapeur).
Les alternatives correspondantes envisagées : nature, fonctions, avantages / inconvénients	1°) Le broyat de déchets verts issu de la collecte des résidus de taille et tonte des espaces verts des voiries et parcs publics. Avantages = Ces déchets sont riches en composés carbonés à longues chaînes (lignines et celluloses) qui présentent des propriétés intéressantes pour améliorer les propriétés physiques des sols agricoles, mais qui peuvent aussi influencer très positivement sur leur santé Inconvénients = la taille relativement modeste des exploitations agricoles en maraîchage et leur faible équipement en machines ne permettent pas forcément une valorisation aisée. 2°) Diversification des cultures : de nombreux ravageurs telluriques étant spécifiques d'une espèce particulière, le plus on s'éloigne en pratique d'une monoculture, le plus on a de chances de briser les cycles de ces ravageurs et de réduire leurs possibilités d'infestation. Avantage = réduction des infestations Inconvénients = bouleverse les relations de l'ensemble de la chaîne de production et de fabrication de valeurs
Les indicateurs, outils et méthodes associés à l'évaluation des alternatives envisagées	1) Un modèle extrêmement spécifique (RNem) simulant les cycles de développement des nématodes à galle sur une culture de tomate, et en fonction de la durée de culture, d'éventuels gènes de résistance et d'apports de matière organique, 2) Un modèle très général d'évaluation de la durabilité globale d'une exploitation agricole en maraîchage (DEXi PM FV).
Contribution potentielle et/ou effective des indicateurs, outils et méthodes	Pas d'évaluation directe des réductions d'emploi de pesticide à ce stade, même si le gisement de progrès est bien présent. En raison sans doute de sa globalité et de son grand nombre de paramètres, le modèle ne s'est pas révélé suffisamment sensible pour mettre en évidence des changements de durabilité globale en fonction des scénarios envisagés.

Deux méthodes de lutte alternatives ou complémentaires ont été successivement explorées : l'utilisation de broyats de déchets verts et la diversification des cultures.

Le **broyat de déchets verts** est issu de la collecte des résidus de taille et tonte des espaces verts des voiries et parcs publics. La collecte est en général centralisée sur une plateforme où sont réalisés dans un premier temps un broyage et un criblage dans l'optique de réduire les volumes et faciliter la manutention. L'importance des volumes impose une élimination régulière qui par défaut se trouve être une usine d'incinération relativement distante de l'aire de collecte, ce qui génère des coûts importants.

Ces déchets sont riches en composés carbonés à longues chaînes (lignines et celluloses) qui présentent des propriétés intéressantes pour améliorer les propriétés physiques des sols agricoles, mais qui peuvent aussi influencer très positivement sur leur santé : 1) soit par une

action directe sur les ravageurs par le dégagement de composés fongicides et / ou nématicides, ou 2) soit de manière indirecte en fournissant un substrat peu apte à une colonisation par les ravageurs, et / ou en favorisant les micro-organismes antagonistes de ces ravageurs.

Les forts volumes en jeu font aussi qu'ils se prêtent particulièrement à une exploitation locale sur les terres agricoles adjacentes à l'aire de collecte, offrant ainsi la possibilité d'un partenariat gagnant / gagnant. Par contre, la taille relativement modeste des exploitations agricoles en maraîchage et leur faible équipement en machines ne permettent pas forcément une valorisation aisée.

Notre objectif aura donc été de favoriser la mise en réseaux des différents acteurs impliqués et la circulation de l'information sous toutes ses formes. L'initiative conduite au sein du projet ne concerne qu'une cinquantaine d'agriculteurs, mais les freins et leviers mis en évidence et en œuvre peuvent facilement concerner et être transposés à d'autres plateformes de collecte.

L'autre alternative explorée a été la **diversification des cultures** : en effet, de nombreux ravageurs telluriques étant spécifiques d'une espèce particulière, le plus on s'éloigne en pratique d'une monoculture, le plus on a de chances de briser les cycles de ces ravageurs et de réduire leurs possibilités d'infestation. Même dans le cas extrêmement poly-spécifique des nématodes à galle, on peut trouver des espèces non ou faiblement hôtes.

Par contre, introduire de nouvelles cultures au sein d'une exploitation agricole ou modifier leur répartition est susceptible de bouleverser les relations de l'ensemble de la chaîne de production et de fabrication de valeurs. Ainsi, économiquement, augmenter le nombre de spéculations tend à aller à l'encontre de la loi des économies d'échelle. Par ailleurs, c'est toute la filière qui doit s'adapter, de la fourniture des intrants et du conseil, jusqu'à l'organisation des metteurs en marché. De nombreux freins de diverses natures doivent donc être levés pour la mise en place de tels scénarios, et il n'existe pas vraiment de modèles permettant de les quantifier ou de les évaluer. Nous verrons cependant que des allers-retours sont possibles sur des points plus particuliers.

Deux modèles différents ont été mobilisés à l'appui de ce cas d'étude : 1) d'une part un modèle extrêmement spécifique simulant les cycles de développement des nématodes à galle sur une culture de tomate et l'évolution de l'inoculum dans le sol, en fonction de la durée des

cultures, de la présence d'éventuels gènes de résistance et de l'apports de matière organique (Cf annexe 1), et 2) d'autre part un modèle très général d'évaluation de la durabilité globale d'une exploitation agricole en maraîchage.

Le déploiement, dans le projet INTERLUDE, du **modèle RNem** préexistant été l'occasion de mettre en évidence et corriger quelques bugs informatiques et d'améliorer certaines fonctionnalités. Un cahier des charges pour une évolution progressive vers une version 2 a été rédigé et intégré à un projet d'offre de stage, en vue d'intégrer les acquis et retours d'expérience des différents essais d'utilisation de l'outil en appui aux ateliers de co-conception.

Les améliorations principales devraient porter à la fois sur les caractéristiques ergonomiques, avec la possibilité de porter 2 courbes de simulation sur un même graphique pour faciliter les comparaisons et de stocker les jeux de valeur des paramètres en cas de modification, et la fonctionnalité des simulations, avec la possibilité de différencier des cycles de culture intra-annuels avec chacun leur jeu de paramètres et de prendre explicitement en compte l'effet inhibiteur de développement des températures hivernales plus froides.

Les sorties du modèle ont été utilisées lors d'un des ateliers multi-acteurs pour la conception de scénarios, et ont permis de montrer aux acteurs certaines connaissances scientifiques sur les effets des pratiques sur le développement des nématodes a galles.

Le **modèle DEXi PM FV** est un modèle d'évaluation multi-critères de la durabilité d'un système de culture. Il repose sur trois piliers mis sur un même pied d'égalité : la durabilité économique, la durabilité sociale et la durabilité environnementale et un arbre hiérarchique d'agrégation des critères de base au nombre de 110, pour former l'évaluation finale.

Malheureusement, en raison sans doute de sa globalité et de son grand nombre de paramètres, le modèle ne s'est pas révélé suffisamment sensible pour mettre en évidence des changements de durabilité globale en fonction des scénarios envisagés.

En ce qui concerne la contribution à la réduction des pesticides :

- Pas d'évaluation directe des réductions d'emploi de pesticide à ce stade, même si le gisement de progrès est bien présent.

- Incertitude fondamentale des acteurs de la décision publique qui ne faisait pas partie de notre champ d'étude et dont les décisions peuvent peser lourdement pour contraindre ou infléchir toute une filière.
- Grand nombre de dimensions interagissant avec chacune leur degré de contraintes et d'autonomie rend difficile la prospective et l'évaluation des scénarios proposés.
- Aspect réflexif sur les outils existant est néanmoins intéressant ; en effet les modèles permettent l'extension des résultats obtenus à un plus grand nombre de conditions et situations et de les démultiplier sous forme statistique.
- Evaluer des travaux à l'échelle du territoire nécessitera sans doute le développement d'outils qui leur soient spécifiques.

6. Cas 3 : Gestion de l'enherbement dans un bassin versant de Martinique

Le paillage est une pratique potentielle pour réduire l'enherbement : un quart (24%) des agriculteurs en Martinique (et en Guadeloupe, différence non significative) adopte le paillage organique comme pratique agroécologique.

Dans notre cas, les indicateurs pertinents se sont révélés être : le temps de travail, la rémunération, la complexité/difficulté des alternatives proposées, la pénibilité (temps et type d'action), l'adoptabilité des alternatives, et la rentabilité des solutions proposées.

TABLEAU 4. CAS ENHERBEMENT MARAICHAGE MARTINIQUE

PPPs ciblés	En réalité aucun herbicide puisque les maraîchers n'utilisent pas d'herbicide sur leurs planches de cultures. Leur demande concerne plutôt la réduction du temps consacré aux désherbages manuels et de la pénibilité de ces opérations. Les pratiques alternatives (notamment les paillages) préviennent le retour aux herbicides pour nettoyer les jachères lors de leur remise en culture.
Les alternatives correspondantes envisagées : nature, fonctions, avantages / inconvénients	1°) Principalement les paillages organiques (BRF et paillis végétaux), les paillages recyclés (papier, cartons) et les paillages moins agroécologiques (toile tissée, bâche d'occultation). Avantages = fortement limiter le développement des mauvaises herbes et donc de réduire le nombre d'interventions Inconvénients = des frais de mises en œuvre (broyage, transport, achat d'intrants et temps de mise en place, cela peut aussi favoriser des ravageurs secondaires (gastéropodes et rongeurs) mais le risque est minime et maîtrisable 2°) D'autres pratiques sont des pratiques culturales (faux-semis, association de cultures, interculture entretenue). Avantage = retarde l'enherbement (effet plus fugace que le paillage) Inconvénients = nécessite surtout du temps de travail
Les indicateurs, outils et méthodes associés à l'évaluation des alternatives envisagées	Indicateurs de mesure directe : non pertinent. Indicateurs indirects : temps de travail, rémunération, complexité/difficulté, pénibilité (temps et type d'action), adoptabilité, rentabilité Outils et méthodes : expérimentation in situ et en conditions contrôlées, retour des producteurs, analyse coût-bénéfice ; Essais en cours.
Contribution potentielle et/ou effective des indicateurs, outils et méthodes	Aucun IFT sur parcelle constaté. Par contre, effet sur les bordures et les haies. Pas de certification AB

Les indicateurs de mesure directe n'ont pas pu être employés car même si 62% des maraîchers de Martinique déclarent utiliser des herbicides de synthèse, aucun producteur n'en utilisait dans le cadre des essais réalisés dans le cadre du projet.

En revanche, concernant la gestion de l'enherbement par des méthodes non chimiques, plusieurs indicateurs se sont révélés décisifs :

Le temps de travail dont les mesures précises par chronométrage sont difficiles à mettre en place et à suivre.

Il est très important pour le désherbage manuel d'autant plus que souvent les interventions se font tardivement avec un enherbement installé. La petite mécanisation (houe maraîchère ou utilisation de bineuse montée sur une débroussailleuse) permet de réduire le temps de travail mais en dégradant la qualité (parfois besoin d'un désherbage complémentaire sur la ligne). D'autres pratiques comme les paillages induisent surtout un transfert de période

d'intervention : le temps de mise en œuvre avant la culture se substitue aux interventions pendant la culture.

La rémunération du temps de travail devient alors un élément décisif pour l'évaluation de la performance économique des pratiques agroécologiques alternatives. Au moins trois méthodes différentes pour le calcul du coût du travail sont possibles. La première consiste à retenir le coût horaire du SMIC (11,52 euros bruts). La seconde méthode consiste à retenir le coût d'opportunité du travail, c'est-à-dire du coût du travail de la meilleure alternative disponible à l'agriculteur (par exemple, un emploi rémunéré à 15 euros de l'heure avec un autre emploi). Enfin, la 3^e méthode consiste à considérer le travail familial avec un coût estimé soit au coût horaire, au coût d'opportunité, soit à coût zéro. A l'exception du travail familial non rémunéré, dans tous les cas, les pratiques agroécologiques ne sont pas rentables.

La pénibilité du travail agricole est un troisième indicateur encore difficile à mesurer mais demeure la première ou la deuxième préoccupation des agriculteurs pour l'adoption d'une pratique. Ce facteur varie beaucoup selon la posture physique induite par les pratiques. Dans les retours d'expérimentation en exploitation, les producteurs ont confirmé que la pose d'un paillage était moins pénible que d'être courbé à arracher des mauvaises herbes.

La complexité/difficulté des alternatives proposées intègre plusieurs facteurs :

Le paillage, comme de nombreuses pratiques agroécologiques, entre dans la catégorie des innovations préventives, c'est-à-dire, dont les résultats ne sont pas directement observables. Cela complique donc le processus d'adoption de la part des agriculteurs.

- **Technicité des pratiques :** choix des matériaux de paillage (bagasse, BRF, paillis...) quantité à épandre (selon l'épaisseur et la surface à couvrir), gestion des effets secondaires (risque de faim d'azote lors de la dégradation du paillage), durabilité de la gestion de l'enherbement...

A l'échelle insulaire et territoriale, les ressources importantes font l'objet d'une demande élevée pour d'autres usages qu'un usage agricole.

- **La disponibilité des ressources :**
 - **Identification des gisements :**

- Sucrerie / bagasse,
 - Bords de route ou haies de l'exploitation / BRF)
 - Parcelles de canne et de banane / feuilles sèches ou coupées
 - Quantification des gisements
- L'accès et la qualité des ressources
- Usages concurrents :
 - Production d'énergie et élevage / Bagasse
 - Remise au SMTVD / BRF
 - Conservation sur les parcelles pour gérer enherbement / feuilles de canne et de banane
 - Besoin en transport (par le producteur ou un prestataire)
 - Contamination potentielle par la chlordécone

Les résultats de nos analyses des gisements ont montré que les flux privilégiés se situent au sein même des exploitations agricoles, avec peu ou pas d'exportation de biomasse.

L'adoptabilité

Les variables déterminant les taux d'adoption ex post dans la littérature se déclinent en 5 points. Les attributs perçus par les agriculteurs des innovations reviennent à qualifier leur usage dans le contexte de l'exploitation agricole :

1. leur avantage relatif par rapport aux pratiques antérieures,
2. leur compatibilité avec leur système d'exploitation actuel (système de culture, système de production),
3. la complexité de leur mise en œuvre,
4. la testabilité des résultats,
5. et l'observabilité des résultats.

A ce stade, et sur la base des attributs des innovations agroécologiques, nous avons identifié en milieu réel plusieurs pratiques de gestion de l'enherbement mobilisées dans le bassin versant du Galion (voir annexe).

La rentabilité

La mesure de la rentabilité des activités maraîchère par exploitation a été abordée sous l'angle intermédiaire de la valeur ajoutée brute. Elle se base sur deux indicateurs identifiés dans le cadre du projet :

- Coût de la pratique innovante / pratique usuelle
- Gain potentiel de production lié à la pratique (augmentation rendement et/ou diminution des pertes).

7. Conclusion

La boîte à outils et les indicateurs sous-jacents ont proposé, aux différents cas d'étude du projet, un très large choix pour envisager les enjeux de la mesure et de la quantification.

Comme cela a été souligné dans l'introduction, une attention particulière devrait être accordée à l'adaptabilité, à la convivialité et à la pertinence contextuelle lors de la conception de futurs outils d'évaluation, afin de les rendre accessibles et utiles pour un public diversifié : entre disciplines scientifiques, entre professionnels et scientifiques ; et, surtout, pour les bénéficiaires directs, c'est-à-dire les agriculteurs.

Des éléments ont été mobilisés aux différentes étapes des deux cas d'étude en région PACA et en Martinique pour la gestion de l'enherbement, mais de façon moins systématique et transversale qu'on aurait pu l'espérer. Ce résultat est normal compte tenu de la dimension des systèmes explorés (filiales, bassins versants, croisement bassins versant et filiales) ce qui démultiplie le nombre d'outils et d'indicateurs à mobiliser.

Au-delà des défis posés par les indicateurs, les points suivants ont permis de réfléchir sur la portée et les limites des indicateurs :

D'abord, des indicateurs comme ceux concernant l'éducation (formation académique, formation professionnelle, expérience professionnelle, etc.) sont liées à des théories. Dans le cas des indicateurs liés à l'éducation par exemple, il s'agit de la théorie du capital humain. Dans le cas des indicateurs liés à l'appartenance à des réseaux (membre d'un groupement de producteur, d'une association, etc.), il s'agit de la théorie du capital social. Or, certaines

théories, comme les régimes sociotechniques, ne clarifient pas le rôle et les interconnexions entre les différentes catégories d'indicateurs à la fois dans leur dimension statique (quels indicateurs pour qualifier la structure des régimes ?) et leur dimension dynamique (quels indicateurs pour qualifier des évolutions de régimes dans le temps). Un travail sur la mise en cohérence entre des théories et les indicateurs sous-jacents, mériterait d'être conduit.

Ensuite, une double difficulté réside dans 1) la difficulté à évaluer la performance à l'échelle d'un système parcellaire en agroécologie et 2) la mise en échelle spatiale des indicateurs.

Dans le premier cas, la mesure du rendement est complexe en milieu réel à cause de la complexité des systèmes de production et de la multiplicité des espèces cultivées, notamment en maraîchage. Or la mesure du rendement permet de renseigner les politiques sectorielles en matière de production agricole et donc de sécurité alimentaire. La mesure du rendement permet également de renseigner la rentabilité (d'une parcelle, d'une culture, d'une rotation de culture) car la mesure du rendement est une composante de la mesure de la rentabilité. Or l'indicateur composite de rentabilité permet de renseigner les politiques agricoles en matière de revenu et donc de conditions de vie des ménages ruraux.

Les indicateurs sont donc insérés dans des dimensions géographiques, interdisciplinaires et en appui direct à des politiques publiques. Ils interagissent entre eux. Si leur mobilisation est difficile à mettre en œuvre, ce sont pourtant des leviers indispensables à l'établissement de synergies interdisciplinaires.

8. Annexe 1. Cas 1 : PACA

Le modèle RNem comprend deux options dédiées : une à l'emploi de Matière organique et l'autre à l'introduction d'une résistance variétale dans la rotation. Même s'il n'y a pas de diversification d'espèce explicite par rapport à la tomate, l'accès libre aux paramètres du modèle permet de simuler d'autres cultures en faisant varier les paramètres de durée de cycle et de sensibilité. On peut aussi faire varier le taux d'inoculum initial et sa survie dans le sol pendant la période hivernale.

a) Simulation de l'effet d'apports massifs de broyat de déchets verts

Les résultats issus d'une simulation RNem avec apport massif de matière organique (MO) dans une situation déjà infestée de nématodes et sans combinaison avec d'autres techniques de lutte (graphes de la figure 1) montrent que cette technique ne suffit pas pour protéger à elle seule une monoculture de cycles longs (180 jours) de tomate : le rendement, même s'il est légèrement plus élevé que celui du témoin sans MO est bien trop impacté pour être économiquement intéressant.

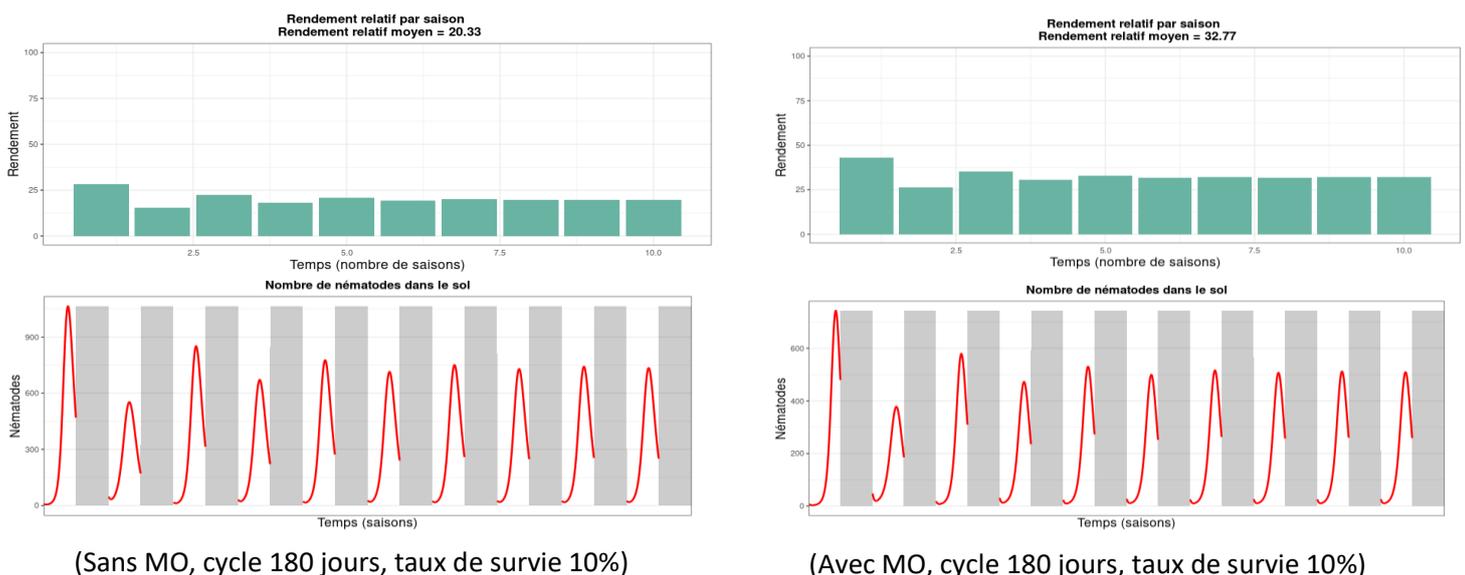


Figure 1 : simulation d'un cycle annuel long de tomate répété sur 10 ans avec (graphes de droite) et sans apport de MO (graphes de gauche). Les rendements relatifs à une culture sans nématodes sont représentés dans les figures supérieures et les dynamiques des populations de nématodes dans celles du bas

Par contre, cet apport de MO pourrait protéger totalement une succession annuelle de cultures sensibles au cycle deux fois plus court en situations peu infestées (données non montrées) ou assez efficacement en situations très infestées (Cf figure 2) ou une culture plus longue en combinaison avec une autre technique de lutte alternative, comme par exemple l'intercalation d'une culture piège ou non-hôte permettant de réduire encore plus la survie hivernale (données non montrées).

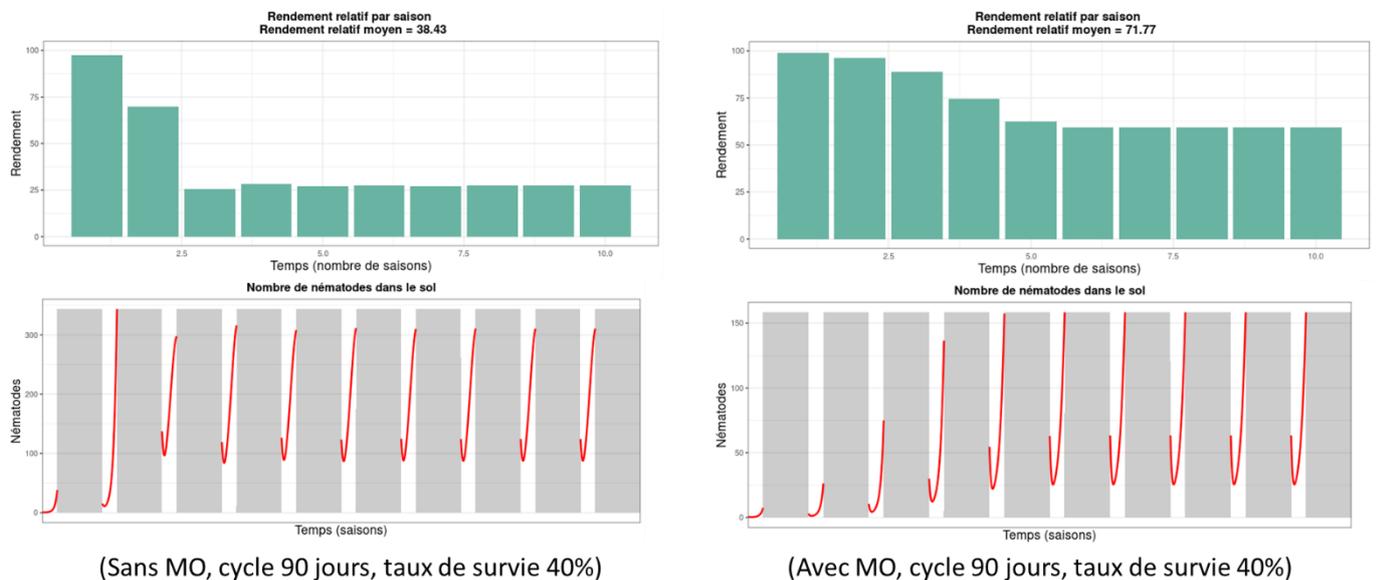


Figure 2 : simulation d'une monoculture de cycles courts d'une culture sensible avec et sans MO. Les légendes et conventions graphiques sont les mêmes que pour la figure 1.

b) Simulation de l'effet d'une diversification des cultures

La diversification des cultures peut intervenir de plusieurs manières différentes : soit par introduction d'un nouvel idéotype différent à l'intérieur d'une même espèce, par exemple par l'introduction de gènes de résistance à tel ou tel ravageur, soit par l'introduction de nouvelles espèces dans la succession, qu'elles soient à vocation commerciale ou purement pour lutter contre les ravageurs.

Dans tous les cas, le modèle RNem a permis de soutenir l'idée qu'il faut toujours combiner plusieurs leviers ensemble pour une protection suffisante et durable, même dans le cas relativement favorable où l'on a pu développer un gène de résistance : l'association avec une culture non-hôte implantée suffisamment tôt à l'automne permet de prolonger de plusieurs

années la protection totale conférée par le gène de résistance et même après de limiter les dégâts (Cf figure 3).

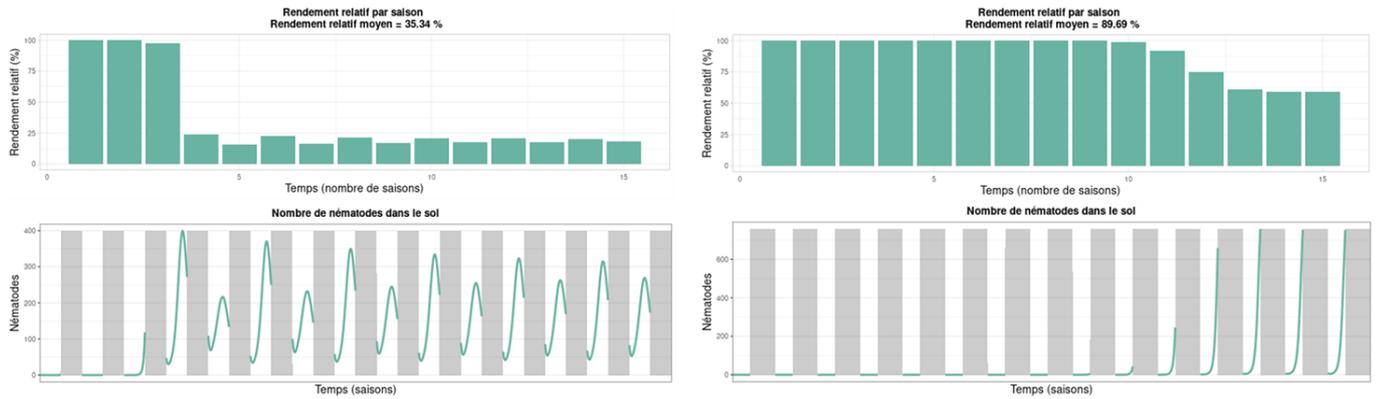


Figure 3 : contournement d'une résistance par une population de nématodes dans le cas où aucune autre technique alternative de lutte n'est combinée (graphes de gauche) et dans le cas où l'on associe un cycle raccourci d'un mois pour la tomate et une culture non-hôte implantée suffisamment tôt à l'automne.

9. Annexe 2. Cas 3 : Martinique

Dans le cas de la gestion l'enherbement, une double approche a été adoptée : un diagnostic sociotechnique qui a permis de relever les défis posés par la pénibilité du travail, et une étude des disponibilités en biomasse pour favoriser le paillage sur les exploitations agricoles.

La question de l'enherbement, quel que soit le type d'exploitation agricole concerné, est une contrainte fondamentale dans la gestion des cultures agricoles.

En Martinique particulièrement, la pression de l'enherbement est prégnante de par le climat tropical qui favorise la prolifération des adventistes. Les modalités de gestion de l'enherbement sont différentes en termes de technique, de moyens et de résultats.

Partant du constat que dans les systèmes maraîchers-vivriers le sarclage manuel est privilégié pour réduire cet enherbement, comment estimer, prendre en compte et ensuite réduire la pénibilité liée à cette technique ? Qu'en est-il des potentielles techniques de gestion de l'enherbement au regard de la pénibilité et du temps passé ? Au-delà des différentes logiques agronomiques de gestion de l'enherbement, le producteur-trice va aussi prendre en compte le travail fourni. On parle à la fois de confort et de revenu économique.

Les indicateurs retenus ici sont la **valeur ajoutée brute (VAB)** et la mesure subjective de la **pénibilité** du travail.

Nous avons ainsi identifié 5 grands systèmes de production en maraîchage-vivrier qui ont été définis au cours d'un diagnostic agraire réalisé sur le bassin versant du Galion dans le cadre du projet.

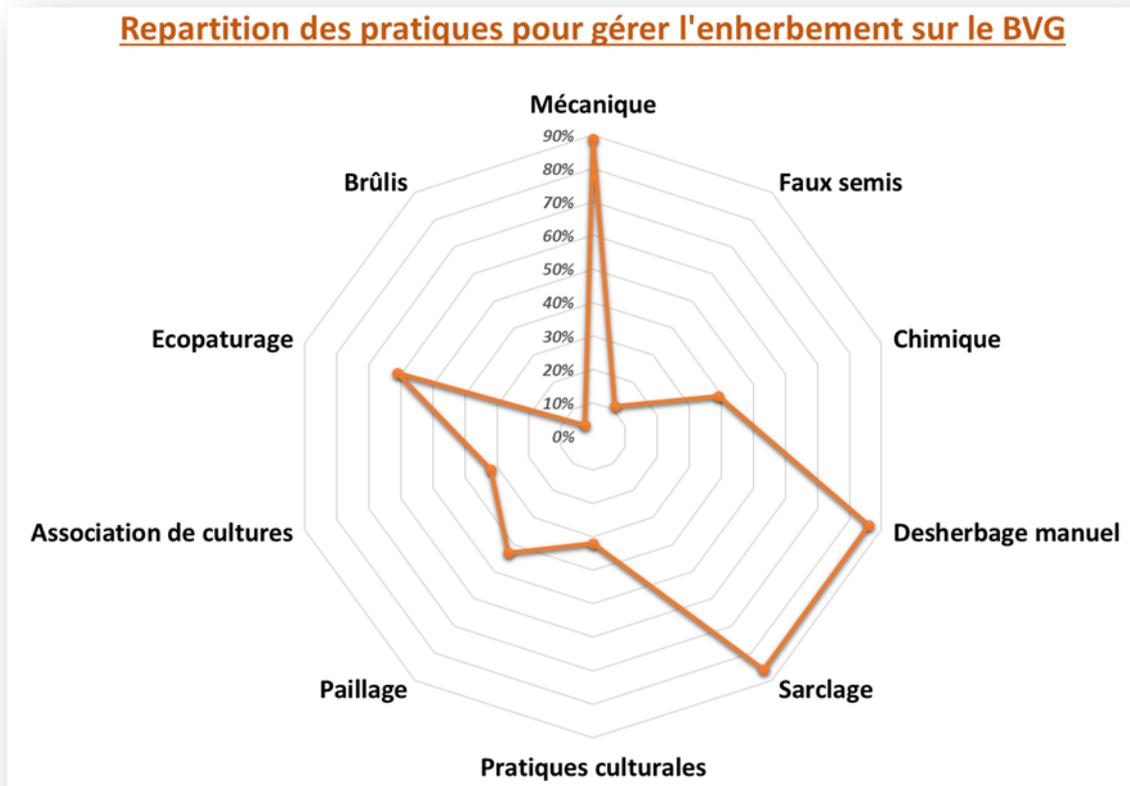
TABLEAU 5. TYPOLOGIE POUR LE MARAICHAGE-VIVRIER AU SEIN DU BASSIN VERSANT DU GALION

> 50 ans	manuel - vivrier	ME1-a : Moyenne exploitation, déclarée, avec un revenu complémentaire issu de l'élevage ou de l'agrumiculture en prestations pour un travail du sol
		ME1-b : Petite à moyenne exploitation qui fait appel aux prestations pour le travail du sol, en questionnement sur le devenir de l'exploitation
	ME2-a : Moyenne exploitation mécanisée pour sa propre utilisation, avec une diversité de cultures vendant majoritairement au marché	
< 50 ans - pluriactif	ME3-a : Petite exploitation majoritairement maraîchère sur une petite surface travaillant manuellement avec de l'aide temporaire et un débouché sur le marché ou GMS	
	ME3-b : Petite exploitation mécanisée, pluri-actif, avec une pluralité de débouchés	
ME4 : Jardin créole, pour l'autoconsommation non professionnel, à 1actif travaillant dans l'agro-exportation		
Produits marché de niche	ME5-a : Exploitation maraîchère avec une production à forte valeur ajoutée, en travail du sol manuel	
	ME5-b : Production en arboriculture à vocation touristique	

Source : Oriane Signarbieux (2022).

Et pour chacune de ces catégories d'exploitations agricole, nous avons identifié la répartition globale des techniques de désherbage .

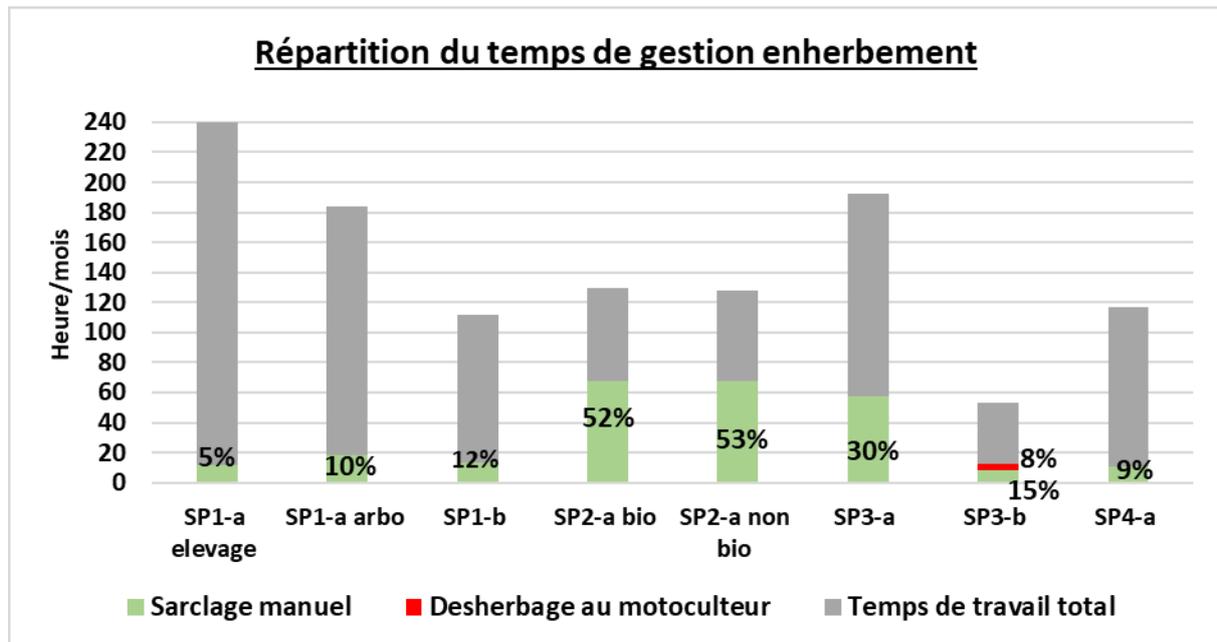
FIGURE 1. REPARTITION DES PRATIQUES POUR GERER L'ENHERBEMENT DANS LA BASSIN VERSANT DU GALION EN MARTINIQUE



Source : Oriane Signarbieux (2022).

Le sarclage et le désherbage manuel sont techniques de gestion de l'enherbement les plus populaires mais aussi les plus consommatrice en temps de travail. La figure montre l'importance du sarclage manuel selon les systèmes de productions. Les SP2 et SP3-a passent environ la moitié de leur temps de travail à sarcler. L'investissement pour un motoculteur pourrait se faire pour ces systèmes. Mais cela implique de vérifier les indicateurs suivants : la topographie (le terrain n'est pas en pente) et la disponibilité en main d'œuvre qualifiée.

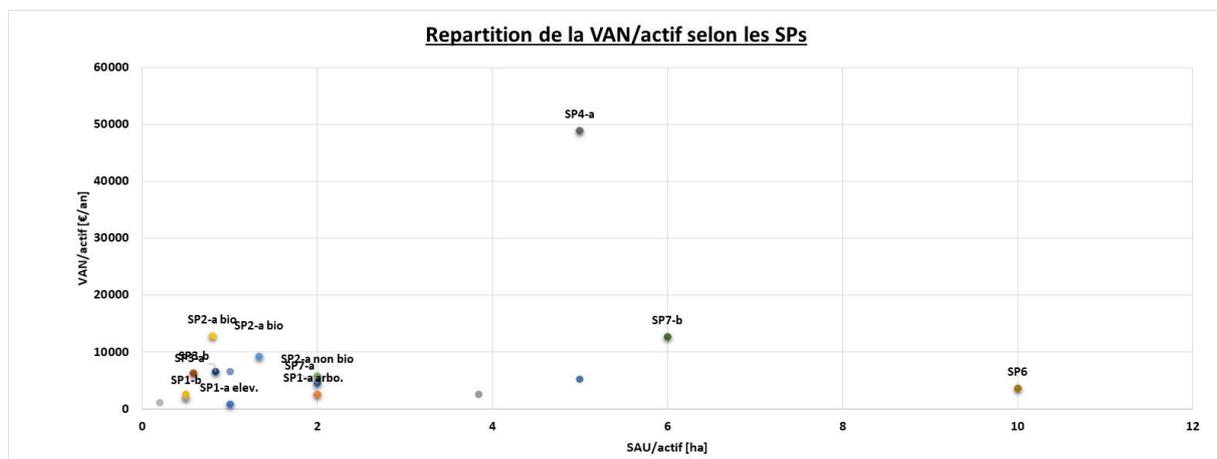
FIGURE 2. REPARTITION DU TEMPS DE TRAVAIL POUR LA GESTION DE L'ENHERBEMENT DANS LE BASSIN VERSANT DU GALION EN MARTINIQUE



Source : Oriane Signarbieux (2022).

Toute choses égales par ailleurs (i.e., hors subventions), à superficie égales, les systèmes maraîchers créent le plus de valeur ajoutée comparés aux systèmes canniers. A contrario, si les subventions sont incluses, les exploitations cannières se rémunèrent autant ou plus que les systèmes maraîchers. Et on remarque que si la surface est trop faible, comme c'est le cas pour 2ha, même subventionné, le système cannier est moins rémunérateur qu'une même surface en maraîchage.

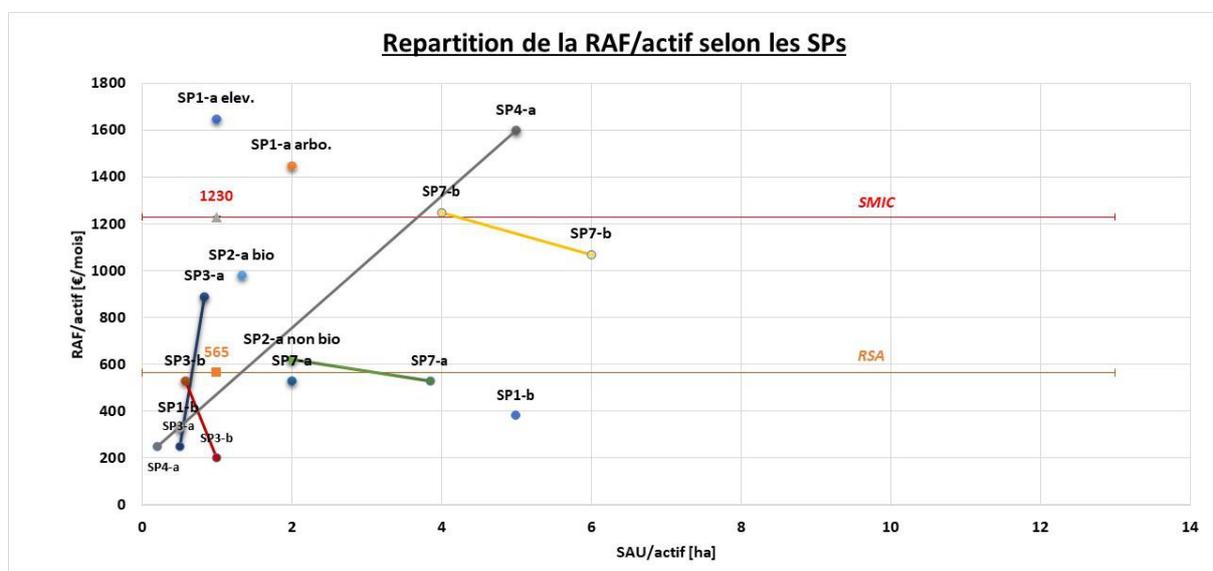
FIGURE 3. GRAPHIQUE REPRESENTANT LA REPARTITION DE LA VAN/ACTIF (ORIANNE SIGNARBIEUX, 2021)



Source : Oriane Signarbieux (2022).

L'indicateur de Revenu Agricole Familial/actif est ensuite analysé (Figure 4). Une évaluation de la reproductibilité des systèmes de production est alors possible, c'est-à-dire une estimation de leur résilience, de leur développement éventuel, ou de leur probable disparition à court terme. Pour se maintenir sur le long terme, un système de production doit régénérer les potentialités du milieu qu'il exploite. Il serait intéressant de mettre en évidence la part de subventions dans ce revenu familial pour estimer si le système peut se maintenir seulement grâce aux aides. On pourrait aussi représenter le revenu d'activité, qui prend en compte la rémunération issue d'autres activités pour les pluri-actif. Cela serait intéressant dans cette zone où plusieurs systèmes de production sont pluriactifs (comme le SP3-b).

FIGURE 4. GRAPHIQUE REPRESENTANT LA REPARTITION DE LA RAF/ACTIF (ORIANNE SIGNARBIEUX, 2021)



Source : Oriane Signarbieux (2022).

Enfin, la figure ci-dessus montre la dimension politique des indicateurs au regard des normes sociales pour l'évaluation des minima sociaux. Nous avons ainsi représenté les seuils pour le RSA et le SMIC.