



**HAL**  
open science

# Capitalisation de connaissances opérationnelles utiles pour concevoir des systèmes agroécologiques, à partir d'expérimentations en conditions de production

Roxane Schott

## ► To cite this version:

Roxane Schott. Capitalisation de connaissances opérationnelles utiles pour concevoir des systèmes agroécologiques, à partir d'expérimentations en conditions de production : Le cas de l'utilisation des plantes de services pour la santé des plantes en horticulture. *Agronomie*. 2021. hal-03947283

**HAL Id: hal-03947283**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03947283>**

Submitted on 19 Jan 2023

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

**AGROCAMPUS OUEST**

CFR Angers  CFR Rennes

Unité expérimentale INRAE  
Maraichage d'Alénya

<p>Année universitaire : <b>2020 - 2021</b></p> <p>Spécialité : <b>Agronome</b></p> <p>Spécialisation (et option éventuelle) :</p> <p><b>Sciences et ingénierie du végétal, Agrosystèmes : conception et évaluation</b></p>	<p><b>Mémoire de fin d'études</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> d'ingénieur d'AGROCAMPUS OUEST (École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage), école interne de L'institut Agro (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de master d'AGROCAMPUS OUEST (École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage), école interne de L'institut Agro (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de Montpellier SupAgro (étudiant arrivé en M2)</p> <p><input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)</p>
---	--

**Capitalisation de connaissances opérationnelles utiles  
pour concevoir des systèmes agroécologiques, à partir  
d'expérimentations en conditions de production :  
Le cas de l'utilisation des plantes de services pour la  
santé des plantes en horticulture**

Par : Roxane SCHOTT

**Soutenu à Rennes**  
**le 15/09/2021**

**Devant le jury composé de :**

Président : M. Carof

Maître de stage : A. Lefèvre, M. Chave

Enseignant référent : E. Le Cadre

Autres membres du jury (Nom, Qualité) :

A. Le Ralec (Rapporteure)

*Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST*

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation

«Patrimoine-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France»







## **ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT**

Je soussignée Roxane Schott, déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce rapport ou mémoire.

Signature :

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'R. Schott'. The signature is stylized with a large, sweeping flourish at the end.



## Fiche de confidentialité et de diffusion du mémoire

### Confidentialité

Non  Oui si oui :  1 an  5 ans  10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible <sup>(1)</sup>.

Date et signature du **maître de stage** <sup>(2)</sup> : 27/08/2021

(ou de l'étudiant-entrepreneur)



**A la fin de la période de confidentialité**, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant à renseigner).

### Droits d'auteur

L'auteur<sup>(3)</sup> **Schott Roxane**

autorise la diffusion de son travail (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

Oui  Non

Si oui, il autorise

- la diffusion papier du mémoire uniquement(4)
- la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé
- la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

(Facultatif)  accepte de placer son mémoire sous licence Creative commons CC-By-Nc-Nd (voir Guide du mémoire Chap 1.4 page 6)

Date et signature de l'**auteur** : 27/08/2021



### Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

Oui  Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.

Si oui, il autorise

- la diffusion papier du mémoire uniquement(4)
- la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé
- la diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'**enseignant** :

(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité.

(2) Signature et cachet de l'organisme

(3).Auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(4) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option)) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé



## Remerciements

Je remercie très chaleureusement toute l'équipe INRAE d'Alénia, pour leur excellent accueil et tous les bons moments passés ensemble, sans oublier mes colocataires INRAE, Alexandra Candaille et Julie André.

Merci tout particulièrement à Andréa Carrera et Clarisse Guerlin, pour leur aide dans l'organisation des nombreuses missions.

Je remercie aussi Elise Gracien, pour son aide en Martinique, son sourire et sa joie de vivre.

Un grand merci à toutes les personnes que j'ai rencontrées au cours de ce stage, qui ont accepté de m'accorder de leur temps pour répondre à mes enquêtes, et avec qui chaque échange a été d'une très grande richesse.

Je remercie les membres du comité de suivi, Benjamin Perrin, Benjamin Gard, Tarek Dardouri et Sébastien Picault, pour leur intérêt pour mon travail, leur écoute et leurs conseils.

Et surtout, je tiens à remercier mes maîtres de stage, Amélie Lefèvre et Marie Chave, pour leur bienveillance, leur accompagnement et leur confiance.



## Liste des abréviations

<b>CTIFL</b>	Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes
<b>INRAE</b>	Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
<b>GRAB</b>	Groupe de Recherche en Agriculture Biologique
<b>APREL</b>	Association provençale de recherche et d'expérimentation légumière
<b>CIVAM</b>	Centres d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural
<b>CIRAD</b>	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
<b>ASTREDHOR</b>	Association Nationale des Structures d'Expérimentation et de Démonstration en Horticulture.
<b>PdS</b>	Plante de services
<b>BA</b>	Bioagresseur
<b>ACM</b>	Analyse des Correspondances Multiples
<b>MEO</b>	Mise en œuvre
<b>RGPD</b>	Règlement général sur la protection des données



## Table des tableaux

- Tableau 1. Modes d'action directe sur les bioagresseurs par l'utilisation de plantes de services
- Tableau 2. Modes d'action indirecte sur les bioagresseurs par l'utilisation de plantes de services
- Tableau 3. Types de bioagresseurs ciblés par l'utilisation de plantes de services dans les cas enquêtés (n=21)
- Tableau 4. Répartition des modalités dans l'échantillon, en fonction de la pérennité et l'agencement des plantes de services PdS (n=46)
- Tableau 5. Liste prédéfinie de freins hypothétiques questionnés pendant l'enquête, et nom de la variable correspondante dans le jeu de données
- Tableau 6. Tableau de contingence entre les variables DiffMEO en ligne et Satisfonction\_cas en colonnes, traçant le niveau de satisfaction exprimé vis à vis de la réalisation de la fonction de tous les cas pour lesquels cette donnée ne dépend pas de la modalité (n=8)
- Tableau 7. Caractéristiques des différentes modalités de réponse des variables construisant le plus les dimensions 1 et 2 de l'ACM
- Tableau 8. Description des classes par le nombre d'individus statistiques les constituant et par leur parangon
- Tableau 9. Quelques exemples de leviers pratiques suggérés par les expérimentateurs vis à vis de différents freins rencontrés

## Table des encadrés

- Encadré 1 : Définition de "bioagresseur" tellurique et aérien
- Encadré 2 : Précisions sur les plantes multi-services .
- Encadré 3 : Présentation du projet MultiServ
- Encadré 4 : Concept méthodologique : le cas enquêté
- Encadré 5. Concept méthodologique : les modalités d'utilisation des plantes de services .



## Table des figures

Figure 1. Processus de conception d'un système utilisant des plantes de services pour la santé des plantes (inspiré de Havard et al. 2017)

Figure 2. Présentation schématique de la démarche mise en œuvre.

Figure 3. Répartition des cas enquêtés par climat (n=21)

Figure 4. Proportion dans l'échantillon des niveaux d'avancement des cas enquêtés dans le processus de conception et mise en expérimentation de système utilisant des plantes de services (présenté en Figure 1).

Donnée issue de l'enquête et relative à l'appréciation de l'expérimentateur enquêté (n=21)

Figure 5. Types de production représentés dans l'échantillon de cas enquêtés (n=21)

Figure 6. Répartition des types de plantes de services dans l'échantillon des modalités enquêtées (n=46)

Figure 7. Représentation des différents agencements de cultures associées à une culture principale, selon le niveau de ségrégation spatial et temporel vis-à-vis de cette culture (Brooker et al. 2015)

Figure 8. Résumé des grands axes de questionnement dans le guide d'enquête.

Figure 9. Répartition des types de plantes de services en fonction de leurs agencements dans les modalités d'utilisation de l'échantillon (n=46).

Figure 10. Niveau de satisfaction exprimé concernant la mise en œuvre pratique de la stratégie utilisant des plantes de services, en fonction du type de plantes de services testé (n tot =39). Les valeurs indiquées correspondent aux effectifs du tableau de contingence, la surface d'une mosaïque étant proportionnelle à ces effectifs.

Figure 11. Volonté de reconception du système pour la stratégie de protection utilisant des plantes de services, exprimée lors de l'enquête (n= 21).

Figure 12. Lien entre la volonté de modification du système existant pour intégrer la stratégie utilisant des plantes de services pour la santé des plantes, et A) l'agencement des plantes de services dans le système (n=46) B) le type de plante de services utilisé (n=46). Les valeurs indiquées correspondent aux effectifs du tableau de contingence.

Figure 13. Répartition dans l'échantillon des cas enquêtés du nombre de freins déclarés comme ayant été rencontrés à la mise en place du système utilisant des plantes de services (n= 21)

Figure 14. Présence des résultats concernant la mise en œuvre pratique (MEO) du système testé dans la diffusion des connaissances produites suite à l'expérimentation, dans les cas de l'échantillon (n=18).

Figure 15. Effectif de réponse positive des expérimentateurs sur la rencontre de la difficulté pratique, pour chaque frein interne. Le pourcentage de modalités d'utilisation pour lesquelles chaque frein a été rencontré est donné au dessus des barres du graphe. (n=46).

Figure 16. Effectif de réponse positive des expérimentateurs sur la rencontre de la difficulté pratique, pour chaque frein externe. Le pourcentage de modalités d'utilisation pour lesquelles chaque frein a été rencontré est donné au dessus des barres du graphe. (n=46).

Figure 17. Décomposition de l'inertie sur les différentes dimensions de l'ACM

Figure 18. Représentation des individus dans le premier plan de l'ACM, colorés en fonction de leur modalité de réponse aux freins qui contribuent le plus à la construction des axes. Représentation des modalités au barycentre des individus constituant ces groupes, et de leurs ellipses de confiance

Figure 19. Graphe des individus de l'ACM. Les points sont les individus. A). Représentation des 10 variables actives contribuant le plus à la construction du premier plan. B). Représentation des variables supplémentaires ayant les meilleures qualités de représentation, dans le graphe des individus de l'ACM.

Figure 20. A). Gain d'inertie entre les différents niveaux de partition pour la classification ascendante hiérarchique B). Représentation d l'arbre hiérarchique issue de la classification ascendante hiérarchique C). Représentation des quatre classes d'individus dans le premier plan factoriel

Figure 21. Evaluation par les expérimentateurs de la proximité des conditions d'expérimentation à des conditions de production, en termes de conduite de la culture principale (n=21)



## Table des matières

<b>I. Introduction</b>	<b>1</b>
A. Enjeux de la santé des plantes en cultures horticoles	1
B. Mobiliser la diversité végétale cultivée pour activer des processus fonctionnels et bénéficier de services écosystémiques	2
C. Les plantes de services : un levier reposant sur une diversité de modes d'action	2
D. Questions posées par l'insertion de plantes de services dans l'agrosystème en conditions de production	3
E. Expérimentation agronomique : supports de conception de systèmes et de production de connaissances sur les processus et pratiques impliquées	4
F. Problématique	5
<b>II. Matériel et méthode</b>	<b>6</b>
A. Construction de l'échantillon de cas enquêtés	6
1. Identification des sources d'informations potentielles et échantillonnage	6
2. Présentation de l'échantillon enquêté	7
B. Méthodologie de recueil des connaissances	9
1. Elaboration du guide d'enquête et niveaux de recueil des données	9
2. Préparation, réalisation et retranscription des enquêtes	9
C. Analyse des données	10
1. Formatage des données : définition des deux niveaux d'analyse, par cas et par modalité d'utilisation des plantes de services	10
2. Traitement des données	11
<b>III. Résultats</b>	<b>12</b>
A. Apport du niveau « modalité d'utilisation » et volonté de reconception du système technique pour les plantes de services	12
1. Le niveau « modalité d'utilisation » permet de préciser les situations et les expériences intégrant des PdS	12
2. Volonté de reconception du système de culture pour intégrer la plante de services	
B. Acquisition et diffusion par les expérimentateurs de connaissances opérationnelles spécifiques à l'utilisation de plantes de services	15
C. Types de freins rencontrés en lien avec le contexte d'utilisation et leviers imaginés	16
1. Description des freins pratiques rencontrés	16
2. Freins rencontrés en lien avec des situations d'usage des plantes de services	18
<b>IV. Discussion</b>	<b>21</b>
A. Méthodologie mise en œuvre : conformité aux prérequis et homogénéité de traitement entre les individus	21
B. Discussion sur l'étude des hypothèses	22
<b>V. Conclusion</b>	<b>23</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>24</b>

**Annexe 1.** Pré-enquête téléphonique : questions posées aux expérimentateurs en lien avec les prérequis d'échantillonnage

**Annexe 2.** Localisation des cas enquêtés

**Annexe 3.** Exemple de schématisation d'un cas servant de support de discussion lors de l'enquête

**Annexe 4.** Captures d'écran du guide d'enquête

**Annexe 5.** Présentation des cas de l'échantillon selon quelques variables caractéristiques

**Annexe 6.** Présentation des variables utilisées dans l'analyse, après formatage

### « Bioagresseur »

Le terme « bioagresseur » désigne à la fois les adventices et les arthropodes, gastéropodes, nématodes, champignons, bactéries et virus telluriques ou aériens, selon le milieu dans lequel se trouve l'organisme au stade de développement où il attaque la culture (Djian-Caporalino *et al.* 2013). Lorsque le bioagresseur tellurique ou aérien est un macro-organisme animal, il est également appelé « ravageur » (Lauri *et al.* 2014).

*Encadré 1 : Définition de "bioagresseur" tellurique et aérien*

## I. Introduction

### A. Enjeux de la santé des plantes en cultures horticoles

Les productions horticoles, qui comprennent le maraîchage, l'arboriculture et les cultures ornementales, sont des cultures à haute valeur ajoutée, avec des coûts de production globalement élevés. Le revenu des agriculteurs est directement lié au volume produit, mais aussi à la qualité de la production (Laget *et al.* 2015; Launais *et al.* 2014). Pour garantir quantité et qualité, la gestion de la santé des cultures et plus particulièrement la régulation des bioagresseurs, est un enjeu central. La définition du terme « bioagresseur » est rappelée en Encadré 1. Par les dégâts qu'ils provoquent, en particulier lorsque les dommages engendrés dépassent le seuil biologique de nuisibilité, des pertes économiques importantes peuvent être subies (Savary *et al.* 2012).

L'utilisation de produits phytosanitaires pour réguler les populations de bioagresseurs est particulièrement élevée en cultures maraichères et fruitières (Expertise scientifique collective 2005). En France métropolitaine, l'IFT moyen total en 2018 est de 9 pour les productions de fraises en hors sol, et 8,8 pour les poireaux. Pour cette dernière culture, l'IFT total en 2018 se situe autour de 6,1 en Guadeloupe et Martinique (AGRESTE 2020). En 2015, l'IFT moyen était de 33 en vergers de pommiers, 20 pour les pêcheurs en 7 en bananeraies (Cretin et Triquenot 2018). En cultures ornementales, dans les 13 systèmes testés en réseau DEPHY, l'IFT hors biocontrôle de référence est d'environ 33 pour les plantes fleuries, d'environ 5,5 en pépinière et de presque 14 pour les plantes en pots (CAN DEPHY 2018). En 2015, la filière légumière rencontre des problématiques liées à des bioagresseurs maîtrisés uniquement chimiquement voire non maîtrisés tels que les pucerons ou les thrips, et d'autres non maîtrisés, tels que les nématodes à galles des racines (Galicher *et al.* 2017).

La réduction de l'usage de produits phytosanitaires en cultures horticoles répond à de nombreux enjeux. Ils concernent les risques de pollution de l'air et de l'eau avec des bassins de production concentrés, la préservation de la santé des agriculteurs et des consommateurs, mais aussi la pérennité de la protection chimique pour limiter les résistances et les impasses techniques vis-à-vis de certains bioagresseurs. La réglementation va en ce sens dans la mise en place du plan Ecophyto et Ecophyto II+. (Launais *et al.* 2014; Laget *et al.* 2015).

Pour autant, la réduction de l'usage de produits phytosanitaires en productions horticoles se heurte à des réticences dues à plusieurs facteurs. Parmi eux peuvent être citées les exigences de l'aval de la filière, et notamment des consommateurs, sur la qualité visuelle des produits avec un risque de pertes économiques importantes si des dommages sont occasionnés (Launais *et al.* 2014), la génération de coûts indirects résultant notamment d'un temps de travail accru pour mettre en œuvre des stratégies alternatives, ainsi que le besoin de nouvelles connaissances, de formation et d'expérience concernant ces stratégies (Aubertot *et al.* 2005). Des connaissances limitées sur des méthodes alternatives de protection intégrée, le manque de supports techniques et la difficulté de prise de décisions pour les agriculteurs sont en effet des freins. Les seuils économiques d'intervention sont difficiles à appréhender ou non définis, donnant une image de complexité et de risque à la réduction de l'usage de produits phytosanitaires. Cette réduction fait également face à une barrière sociale, car elle implique un changement de vision et d'attitude face à la présence de bioagresseurs dans une culture (Deguine *et al.* 2021).

Le développement de méthodes alternatives requiert par ailleurs « des connaissances bien plus grandes et spécifiques du cycle de vie d'un ravageur ou d'une maladie » (ASTREDHOR 2018) et repose sur l'étude d'un ensemble de leviers à mettre en œuvre pour réduire l'utilisation des produits phytosanitaires.

*Tableau 1. Modes d'action directe sur les bioagresseurs par l'utilisation de plantes de services (Djian-Caporalino et al. 2020)*

Mode d'action	Concept	Mécanismes de défense utilisés	Principe	Utilisation
Détecter précocement les bioagresseurs	Plantes indicatrices	Composés volatils pour les ravageurs	Utilisation d'une plante de service comme outil de surveillance	Détecter précocement les bioagresseurs avant leur attaque sur la culture de rente. Permet de déclencher des méthodes de protection
Empêcher les bioagresseurs de pénétrer sur la culture	Plantes barrières	Barrière physique	Utilisation d'une plante de service en bordure de culture ou dans la culture engendrant une obstruction physique	Réduire le niveau d'infestation des bioagresseurs en les interceptant et restreindre le mouvement des bioagresseurs aéroportés à l'intérieur de la culture
Repousser les bioagresseurs	Plantes répulsives	Barrière olfactive Composés volatils Exsudats racinaires toxiques	Utilisation d'une plante de service qui repousse le bioagresseur : le plus souvent, il s'agit d'une plante aromatique	Rendre la plante cultivée moins attractive pour le bioagresseur, en altérant son processus de reconnaissance
Diminuer le potentiel infectieux	Plantes de coupure : utilisation d'une plante de service qui permet de « casser » le cycle de reproduction du bioagresseur			
	Plantes pièges	Composés volatils Métabolites secondaires Résistance génétique	Utilisation d'une plante de service qui va attirer puis retenir le bioagresseur pour le détourner de la culture ou réduire les populations en les piégeant sans leur permettre de se reproduire	Initier un choix préférentiel ou obtenir un effet « cul-de-sac », via l'utilisation de plante piège sensible ou résistante
	Plantes assainissantes : plantes biocides et biofumigantes	Métabolites secondaires toxiques	Utilisation d'une plante de service pour les composés biochimiques qu'elles sécrètent par les racines ou issus de leur dégradation après fauchage, broyage et enfouissement	Tuer ou empêcher la reproduction des bioagresseurs, permettant ainsi de réduire l'inoculum infectieux pour la culture suivante

## **B. Mobiliser la diversité végétale cultivée pour activer des processus fonctionnels et bénéficier de services écosystémiques**

Dans une démarche de réduction de l'usage de produits phytosanitaires, un « levier » est défini comme « un moyen d'action pour limiter le développement des bioagresseurs. Il est issu de la compréhension des processus biologiques et écologiques, et prend en compte les dynamiques et les cycles de développement de chacun des maillons du système horticole. En actionnant un levier, on vise à agir, directement ou indirectement, sur les ressources dont disposent les bioagresseurs (ex. : leurs plantes hôtes), leur cortège d'ennemis naturels et (ou) leurs conditions environnementales (ex. : lumière, température, humidité), à différentes échelles (individus, communautés à l'échelle parcelle, paysage et territoire). » (Lauri *et al.* 2014). La diversification végétale cultivée est l'un des leviers stratégiques et systémiques pour agir sur les processus de régulation des populations de bioagresseurs.

Ce levier repose avant tout sur l'hypothèse que les interactions biotiques peuvent assurer des fonctions requises pour la protection des cultures dans les agrosystèmes, tout en assurant une production satisfaisante (Gaba *et al.* 2015). Dans leur modèle en cascade, Haines-Young et Potschin (2010) illustrent le lien entre la structure d'un écosystème et ses processus, et la réalisation de fonctions correspondant aux « capacités » du système, qui sont des propriétés fondamentales de celui-ci. Ces fonctions peuvent, selon l'évaluation humaine qui en est faite, aboutir à la fourniture d'un service. Selon la valeur qui est attribuée à ce service, le bénéfice est estimé comme le produit final de cette cascade. Ce bénéfice que l'Homme obtient d'un écosystème, aussi appelé « service écosystémique », peut notamment correspondre à la régulation des bioagresseurs des cultures. (Millennium Ecosystem Assessment 2005).

## **C. Les plantes de services : un levier reposant sur une diversité de modes d'action**

Pour cibler le service de régulation des bioagresseurs, il faudrait cependant veiller à rechercher une optimisation, plus qu'une maximisation, de la diversité végétale dans le système (Ratnadass *et al.* 2012), notamment par l'utilisation de « plantes de services ». Il s'agit d'espèces végétales « cultivées le plus souvent dans la même parcelle agricole que la culture de rente, en pur ou en association spatiale ou temporelle, en interculture ou en couvert pérenne, et susceptibles de rendre différents services à vocation écosystémique. Leur culture ne conduit pas à obtenir un produit agricole directement commercialisable ou auto-consommable (grain, racine, fourrage...), mais d'y contribuer à court, moyen ou long terme en mobilisant des processus biologiques du sol et des plantes. » (GEVES 2020). Lorsque le service écosystémique ciblé est celui de régulation des bioagresseurs, dont les adventices, le terme « plantes de biocontrôle » est également utilisé (Djian-Caporalino *et al.* 2020).<sup>1</sup>

Parmi les plantes de services, les plantes à action directe sur les bioagresseurs se distinguent de celles à action indirecte. Dans le premier cas, la plante peut permettre de révéler la présence des bioagresseurs (plantes indicatrices), empêcher le bioagresseur de pénétrer dans la culture de rente (plantes barrières), repousser les bioagresseurs (plantes répulsives) ou assainir la culture (plantes assainissantes, plantes pièges ou plantes de coupure). Les processus stimulés sont présentés en Tableau 1 (Djian-Caporalino *et al.* 2020).

---

<sup>1</sup> Dans la suite du présent mémoire, par raccourci, le terme « plante de services » désignera les plantes de services pour la santé des plantes. Les termes « plante de services » et « plante de biocontrôle » seront donc utilisés indifféremment. L'abréviation PdS pourra être utilisée pour plante de service.

*Tableau 2. Modes d'action indirecte sur les bioagresseurs par l'utilisation de plantes de services (Djian-Caporalino et al. 2020).*

Mode d'action	Concept	Utilisation
Attirer	Plante attractive	Attirer les ennemis naturels sur la culture de rente par le biais de stimuli visuels ou d'odeurs
Retenir par l'habitat	Plante à habitat	Proposer un site de ponte et/ou un habitat approprié permettant aux ennemis naturels de se reproduire et/ou de se réfugier
	Couvert végétal	Créer une couverture végétale du sol qui sera bénéfique aux ennemis naturels évoluant au sol, leur proposant une protection physique et microclimatique
Retenir par des ressources trophiques alternatives	Plante banque	Apporter des ressources nutritives animales, autres que les proies habituelles : proie alternative pour les prédateurs ou hôtes alternatifs pour les parasitoïdes
	Plante nourricière	Apporter des ressources nutritives végétales : nectar floral et extra-floral, pollen, fruit, sève
Élever	Plante relais ou réservoir	Élever les ennemis naturels sur des plantes de service qui regroupent les différentes stratégies mentionnées ci-dessus. Conserver ainsi les populations même hors période de culture (site d'hivernation ou élevage en pépinière)
Favoriser les mutualistes	Plantes mycorrhizotrophes	Développer le réseau mycorhizien sur la culture en utilisant des plantes mycorrhizotrophes, afin d'actionner un ensemble de processus directs et indirects (compétition, induction des défenses naturelles, stimulation d'exsudats racinaires, etc.)

Ces modes d'action s'inscrivent pour la plupart dans la mise en œuvre d'une stratégie de lutte biologique par conservation (Laget *et al.* 2015).

### Plantes « multi-services »

Des plantes peuvent être dites « multi-services », soit parce qu'elles sont « multi-biocontrôles », c'est à dire qu'elles permettent de lutter contre plusieurs types de bioagresseurs, soit parce qu'elles fournissent des services autres que la régulation des bioagresseurs, comme la résistance à des stress abiotiques, l'amélioration de la fertilité du sol, l'attraction de pollinisateurs... (Djian-Caporalino *et al.* 2020)

*Encadré 2 : Précisions sur les plantes multi-services*

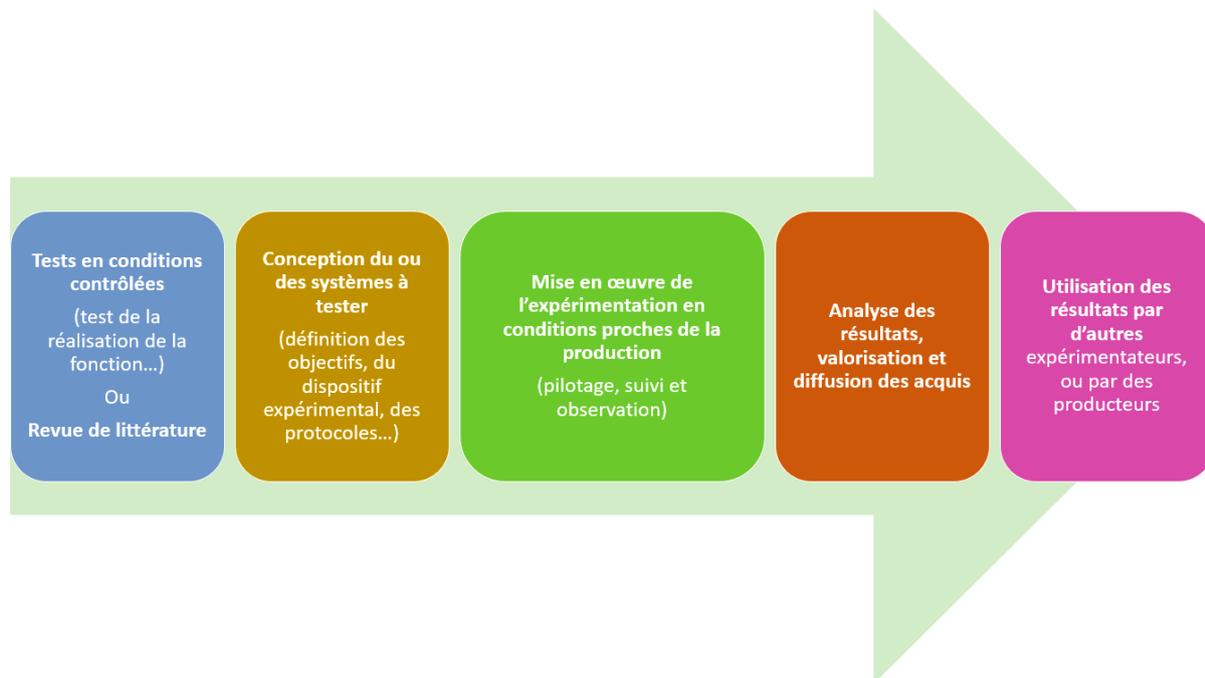
Les plantes de services à action indirecte sont utilisées pour favoriser une biodiversité fonctionnelle d'auxiliaires, prédateurs ou parasitoïdes (Lauri *et al.* 2014). La fonction recherchée par l'utilisation des plantes de services est alors une attraction, un maintien des populations voire la création d'un élevage d'auxiliaires. Plusieurs types de plantes de services, distinguables selon leurs modes d'actions, sont utilisés. Il s'agit des plantes attractives, à habitat, banques, nourricières, relais et mycorrhizotrophes. Le Tableau 2 décrit les processus impliqués (Djian-Caporalino *et al.* 2020). Enfin, dans la lutte contre l'enherbement en cultures horticoles, des plantes de services peuvent également être utilisées pour leur capacité à couvrir rapidement le sol et ainsi limiter les travaux de désherbage (Maillet et Le Bars 2021). Certaines espèces végétales ont aussi une propension à assurer plusieurs fonctions. Elles peuvent également être dites « multi-services » (Encadré 2).

La diversification végétale des agrosystèmes horticoles pour la régulation des bioagresseurs, par l'utilisation de plantes de services, est par ailleurs un levier qui repose sur des connaissances complexes. Des connaissances sur les processus biologiques et écologiques sont nécessaires dans un premier temps (Lauri *et al.* 2014). Ainsi, l'étude de la réalisation d'une fonction par une plante de service est menée en premier lieu en conditions contrôlées (Figure 1), pour déterminer l'effet et l'efficacité de la plante vis-à-vis d'un autre organisme ciblé (bioagresseur, auxiliaire, culture d'intérêt). L'enjeu de l'acquisition de connaissances dans ces conditions est de permettre, dans un second temps, de prendre en considération les plantes de services dans le processus de conception d'agrosystèmes, comme levier de protection des cultures, en conditions de production.

#### **D. Questions posées par l'insertion de plantes de services dans l'agrosystème en conditions de production**

En conditions de production, c'est en fait un ensemble de processus biologiques qui peuvent intervenir dans la régulation des populations de bioagresseurs. En effet, « les effets de la biodiversité sur le fonctionnement des agroécosystèmes et les services rendus dans et par ces systèmes résultent de mécanismes multiples, jouant souvent de concert et souvent dans le même temps » (Le Roux *et al.* 2008). Dans le cas d'une stratégie à action indirecte par exemple, les modes d'actions font appel à des processus biologiques complexes, multi-trophiques pour certains, avec des effets observés « parfois contradictoires ». En conditions non contrôlées, « il s'agira de favoriser certains groupes (les auxiliaires) mais pas d'autres (les ravageurs), et de promouvoir des synergies ou interactions positives entre groupes d'auxiliaires tout en limitant les interactions négatives » (Ratnadass *et al.* 2014). Ces interactions complexes peuvent aussi différer selon les modalités d'utilisation de la plante de service, et en particulier son agencement spatial et temporel dans le système.

Les « connaissances techniques sur les modalités de conduite des cultures » constituent un second ensemble de connaissances mobilisables pour la conception d'un système utilisant ce levier. (Lauri *et al.* 2014). Gaba *et al.* (2015) mettent ainsi en avant la diversité de questions soulevées lors de la conception d'un tel agrosystème : Quelle est la meilleure densité de plantation de chaque culture pour limiter la compétition pour les ressources et améliorer la régulation des bioagresseurs ? Comment les espèces doivent-elles être spatialement et temporellement agencées ? Quelles pratiques doivent être utilisées pour favoriser la réalisation d'un service écosystémique ? Est-ce que les systèmes diversifiés conçus sont réalisables en pratique (disponibilité de machines adaptées, organisation du travail, durabilité économique...) ? Parmi les différents contextes dans lesquels des connaissances peuvent être produites pour répondre à ces questions, se distinguent les sites d'expérimentation en conditions proches de la production.



*Figure 1. Processus de conception d'un système utilisant des plantes de services pour la santé des plantes (inspiré de Havard et al. 2017)*

Des conditions d'expérimentation seront considérées proches des conditions de production lorsque la conduite de la culture principale, les conditions environnementales et les moyens techniques utilisés sont similaires à ceux qui pourraient être observés chez un producteur.

### **E. Expérimentation agronomique : supports de conception de systèmes et de production de connaissances sur les processus et pratiques impliqués**

L'expérimentation sur les plantes de services en conditions proches de la production peut être systémique ou factorielle. Les essais factoriels « permettent d'étudier et de comprendre l'effet d'un, ou de quelques facteurs et de leurs interactions pris isolément, toutes choses égales par ailleurs, sur une ou plusieurs variables à expliquer. » De manière complémentaire, « les expérimentations système permettent d'évaluer la capacité d'un système de culture (ou d'un itinéraire technique) à satisfaire les objectifs qui lui sont assignés compte tenu de sa complexité » (Havard *et al.* 2017).

La conception d'un système candidat et sa mise en œuvre en expérimentation, permet, après analyse et évaluation de son fonctionnement et de sa faisabilité, d'aller vers une valorisation voire une diffusion des pratiques, notamment auprès des agriculteurs (Havard *et al.* 2017). Le processus de conception de systèmes est représenté en Figure 1. Le passage d'essais en conditions contrôlées aux essais en conditions proches des conditions de production permet ainsi d'envisager une transférabilité des connaissances acquises aux producteurs. Les expérimentateurs qui réalisent ce « passage au champ » sont confrontés à des freins pratiques qui ne pouvaient être rencontrés dans les phases de test en conditions contrôlées. Ces freins peuvent nécessiter des ajustements dans la mise en œuvre et invitent l'expérimentateur à s'appuyer sur divers leviers pour les lever. Les concepteurs mettant en pratique les systèmes réfléchissent à des options techniques et de mise en œuvre.

Ces expériences pratiques ne génèrent pas uniquement des connaissances fondamentales sur la fonction utilisée, les interactions étudiées et la plante de service testée, mais produisent aussi des connaissances « opérationnelles » particulièrement intéressantes pour mettre en lumière la complexité de la mise en œuvre d'un système diversifié et les solutions imaginées. En cela, les expérimentateurs peuvent être désignés comme des « experts profanes » : « experts par leur expérience, profanes car n'ayant pas toujours les connaissances universitaires » (Lauri *et al.* 2014). Le sens donné aux termes « connaissances opérationnelles » est proche de la définition des « connaissances actionnables » (actionable knowledge en anglais), qui désignent toutes connaissances mobilisées dans et pour l'action (Leclère *et al.* 2018). Les connaissances opérationnelles sont les connaissances relatives à la mise en œuvre pratique d'un système de culture : techniques réalisées, moyens utilisés, difficultés pratiques rencontrées...

Ces connaissances opérationnelles ne sont pas toujours documentées à l'issue des expérimentations et restent donc parfois invisibles dans la valorisation de celles-ci. Le repérage des conditions d'utilisation, de réussite, des moyens nécessaires et des éléments relatifs à la faisabilité pratique d'un système est cependant fondamental dans l'intérêt de l'expérimentation sur celui-ci. La valorisation de ces connaissances peut concerner plusieurs acteurs, des chercheurs travaillant sur le choix de plantes candidates en conditions contrôlées, aux agriculteurs. Ces connaissances peuvent intéresser les premiers pour qu'ils appréhendent les conditions dans lesquelles leur objet d'étude s'inscrira, et les agriculteurs pour adapter et adopter le système proposé ou les modalités testées. Les connaissances opérationnelles peuvent aussi venir nourrir les réflexions des expérimentateurs eux-mêmes, pour permettre une meilleure anticipation et contourner des impasses ou difficultés techniques déjà rencontrées par d'autres.

### **Projet MultiServ**

« Des plantes de service pour la régulation des bioagresseurs dans les systèmes horticoles : freins et leviers, méthodologie d'expérimentation, services et disservices (et processus sous-jacents) »

**Dates :** 2020-2021

**Financier :** INRAE, métaprogramme SumCROP

**Coordinatrices :** Hélène Gautier (unité PSH), Anne-Marie Cortesero (unité IGEPP)

#### **Description des trois actions du projet:**

- Action 1 : capitalisation des acquis quant aux freins et leviers à l'utilisation de biodiversité cultivée (végétale) et associée (microbienne) en systèmes de culture horticoles.
- Action 2 : organisation d'une école technique « Construire une expérimentation avec des plantes de service pour évaluer leur effet sur le service de régulation des bio-agresseurs »
- Action 3 : intégration des connaissances des partenaires dans le cadre d'un projet exploratoire avec mise en commun de compétences et de leviers, qui seront testés lors d'expérimentations visant à renforcer l'immunité des plantes

*Encadré 3 : Présentation du projet MultiServ*

## F. Problématique

Nous retenons de cet état de l'art, qu'en cultures horticoles, la protection des cultures est un enjeu majeur, particulièrement car la rentabilité d'une production dépend à la fois fortement de la quantité et de la qualité. Il s'agit aussi de cultures dépendantes des produits phytosanitaires, dont la réduction de l'usage est confrontée à des craintes et des freins. Face aux enjeux environnementaux, sociaux et réglementaires qui pèsent sur cette diminution, des méthodes alternatives sont recherchées. La biodiversité cultivée, et en particulier l'utilisation de plantes de services, est un levier reposant sur la stimulation de processus biologiques d'intérêt pour la régulation des bioagresseurs. L'objectif est d'optimiser l'action d'une biodiversité fonctionnelle, dans un système de culture, en agissant soit directement sur le ou les bioagresseur(s) ciblé(s), soit indirectement via la culture principale ou la faune auxiliaire. Dans la diversité de modes d'action qui peuvent être mis en œuvre par différentes espèces végétales, la réalisation d'une fonction par une plante de services repose « au champ » sur des interactions biotiques complexes. Ainsi, si les plantes de services sont des leviers systémiques prometteurs pour contribuer à développer des systèmes agroécologiques, leur mobilisation dans les agroécosystèmes fait l'objet d'interrogations pratiques pour les scientifiques comme pour les acteurs professionnels. Notamment, le choix des modalités d'utilisation de la plante est l'une des questions d'importance soulevées par la présence de celle-ci dans un système.

Le projet MultiServ (*Des plantes de service pour la régulation des bioagresseurs dans les systèmes horticoles*) a comme objectif de produire des connaissances méthodologiques et appliquées sur ces plantes de service (voir Encadré 3 ci-contre). Ce stage s'inscrit en particulier dans l'action 1 dont l'objectif est de capitaliser les acquis pratiques dans l'utilisation de ces plantes dans les systèmes. Le stage traitera en particulier des connaissances produites par les expérimentateurs de ces systèmes introduisant de telles plantes de service. Par la conception et l'expérimentation de tels systèmes, les expérimentateurs génèrent à la fois des résultats sur la fonction visée et des connaissances opérationnelles sur la mise en pratique des systèmes, en conditions proches de la production. Cette démarche expérimentale est une étape essentielle pour permettre le passage de tests fonctionnels en conditions contrôlées à un transfert et une adoption par les agriculteurs. Le présent stage traite alors de la problématique suivante :

**En quoi la conception par la mise en expérimentation d'agrosystèmes utilisant des plantes de biocontrôle en horticulture permet de rendre compte des verrous et leviers pratiques à la mise en œuvre du système en conditions de production ?**

**Quelles sont les connaissances opérationnelles produites dans cette démarche ?**

Pour répondre, trois hypothèses de travail seront éprouvées.

**Hypothèse 1** : Reconception du système technique pour la plante de service selon ses modalités d'utilisation

L'utilisation de plantes de services pour la santé des cultures ne peut se faire de manière simplement additive (ajout de la plante dans le système sans adaptations autres) mais nécessite une reconception du système technique et un raisonnement qui ne permet pas de dissocier la description de la plante de service de celle de ses modalités d'utilisation, notamment son agencement spatial et temporel dans le système. La reconception du système technique désigne ici l'adaptation de l'itinéraire technique du système, des pratiques, de l'organisation du travail... liée à la présence d'une ou plusieurs plante(s) de services dans le système.

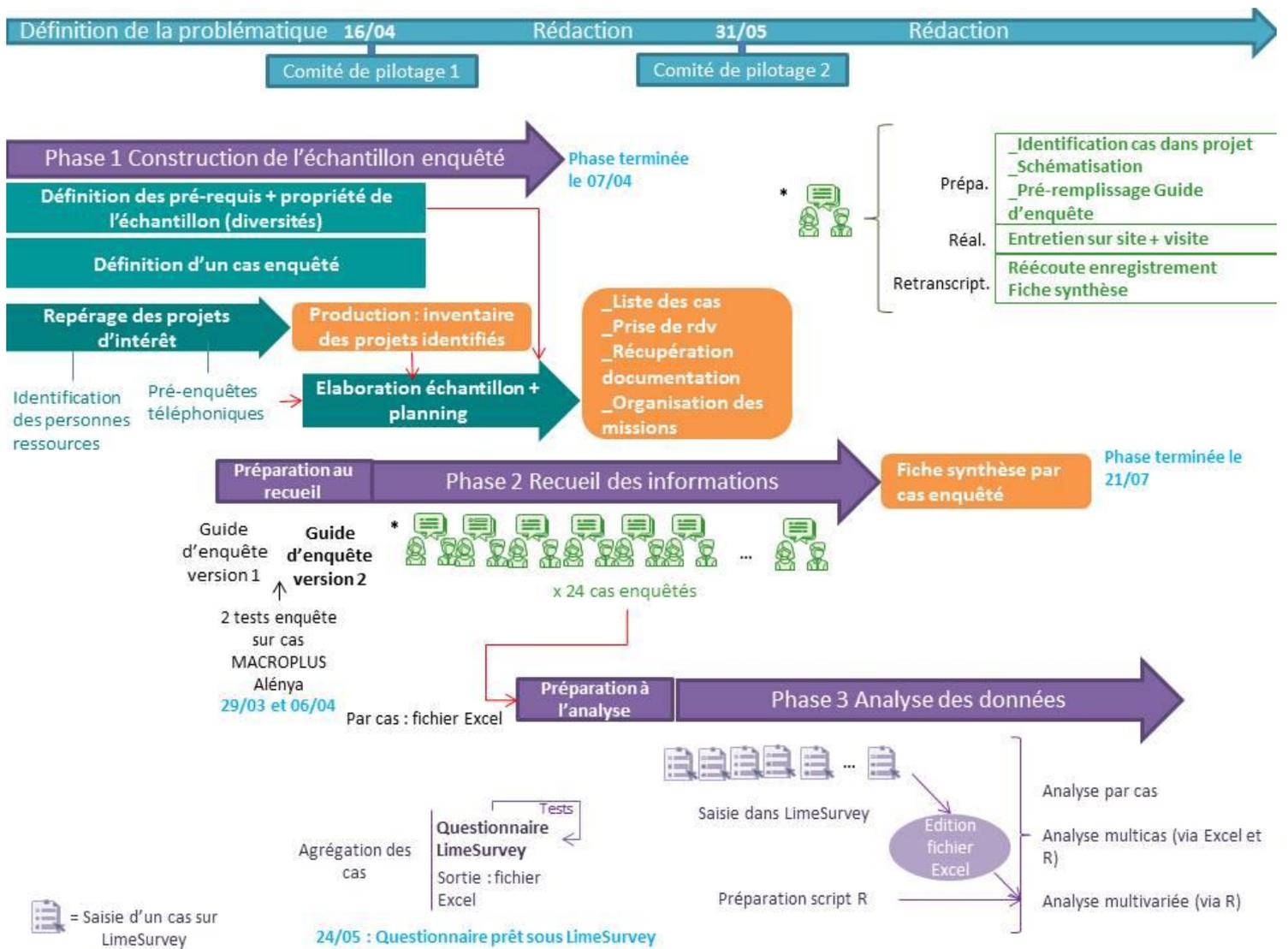


Figure 2. Présentation schématique de la démarche mise en œuvre

## **Hypothèse 2 :** Expérimentation « au champ » et acquisition de connaissances opérationnelles

Les expérimentateurs qui conçoivent des systèmes utilisant des plantes de services pour la santé des cultures en conditions proches de la production sont à même de produire et restituer des connaissances opérationnelles spécifiques à l'utilisation de plantes de services, qui ne sont pourtant pas toujours valorisées.

## **Hypothèse 3 :** Nature des « freins internes » et « freins externes » au système

Cette démarche permet d'identifier des freins rencontrés dans la mise en œuvre de systèmes utilisant des plantes de services pour la santé des cultures. Ils sont de natures diverses et peuvent concerner des facteurs externes et internes au système.

Les « freins internes » diffèrent selon plusieurs caractéristiques du système :

- Culture principale pérenne ou annuelle
- Système ouvert ou fermé (sous abris)
- Bioagresseur(s) ciblé(s) par l'utilisation de la plante de services : maladie, ravageurs ou adventices ; bioagresseur tellurique ou aérien.
- Fonction visée par l'utilisation de la plante de service

D'autres freins peuvent être rencontrés, externes au système, liés au contexte de l'expérimentation. Il s'agit notamment de la disponibilité des connaissances et références techniques, du contexte institutionnel, de contraintes réglementaires, de la disponibilité du matériel agricole adapté ou des plants et semences...

La confrontation à ces freins permet à l'expérimentateur d'imaginer, tester et rendre compte de leviers pratiques envisageables.

## **II. Matériel et méthode**

L'identification et le recueil des connaissances produites par l'expérimentation sont réalisés via des enquêtes administrées lors de rencontres avec des expérimentateurs. Les différentes phases de travail englobant l'acquisition des données sont présentées en Figure 2. Un comité de suivi a été constitué pour accompagner la réflexion, notamment sur la démarche à mettre en œuvre. Il était constitué d'expérimentateurs (CTIFL ou INRAE) concernés par ces questions et apportant une expertise quant aux filières et zones géographiques (arboriculture, maraîchage de plein champ, de serre hors sol) complémentaire aux encadrants du stage (maraîchage sous abri, zone tropicale). Deux réunions du comité ont eu lieu au cours du stage en avril puis fin mai, et ont permis une formalisation de la méthode au fur et à mesure que celle-ci se construisait, ainsi que la discussion et l'obtention d'avis d'experts sur le sujet.

### **A. Construction de l'échantillon de cas enquêtés**

#### **1. Identification des sources d'informations potentielles et échantillonnage**

Différentes sources d'information ont été mobilisées. Une école technique, intégrée au projet MultiServ, a eu lieu le 19 et 20 octobre 2020 à l'INRAE UERI de Gotheron, sur la thématique « Construire une expérimentation avec des plantes de service pour évaluer leur effet sur le service de régulation des bioagresseurs ». Des expérimentateurs se sont réunis à cette occasion et ont été identifiés comme personnes ressources sur le sujet, en amont du stage.

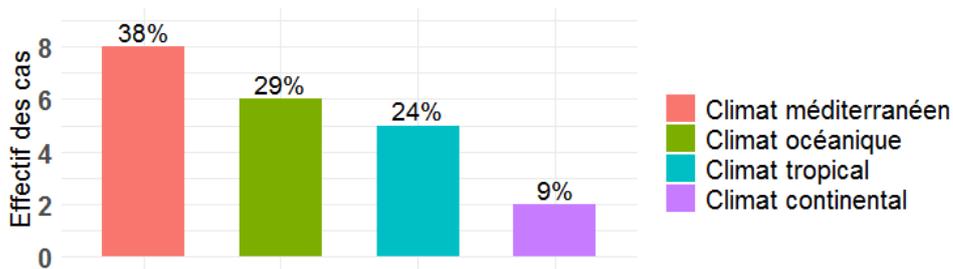
**Projet recensé**  
Souvent multi-site / multi-partenaire



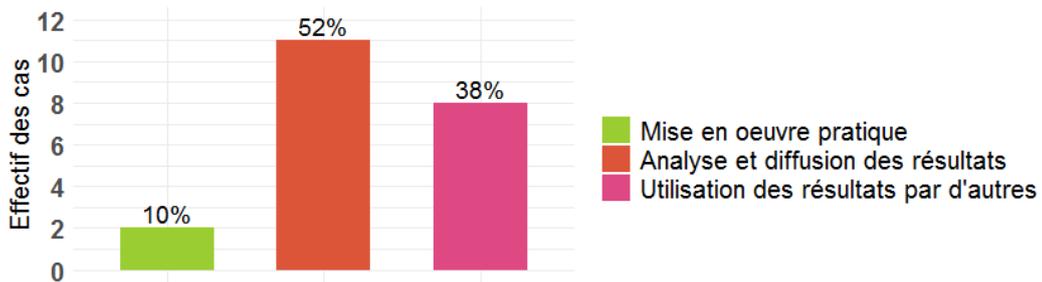
**Cas enquêté :**

Mise en œuvre, sur un site expérimental donné, du processus incluant la conception et mise en expérimentation d'un système de culture avec une ou plusieurs plantes de services pour la réalisation d'une ou plusieurs fonctions, mobilisées selon certaines modalités d'utilisation.

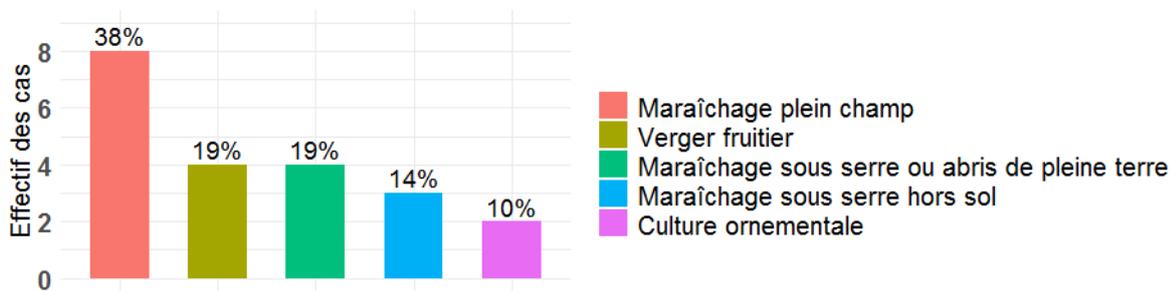
*Encadré 4 : Concept méthodologique : le cas enquêté*



*Figure 3. Répartition des cas enquêtés par climat (n=21)*



*Figure 4. Proportion dans l'échantillon des niveaux d'avancement des cas enquêtés dans le processus de conception et mise en expérimentation de système utilisant des plantes de services (présenté en Figure 1). Donnée issue de l'enquête et relative à l'appréciation de l'expérimentateur enquêté (n=21)*



*Figure 5. Types de production représentés dans l'échantillon de cas enquêtés (n=21)*

Ainsi au cours du stage, une pré-enquête téléphonique a été réalisée auprès de 22 expérimentateurs travaillant sur des projets ayant trait au sujet étudié. Par des courts appels, un recensement de 43 projets d'intérêt et de leurs principales caractéristiques a été permis : date de début du projet (niveau d'avancement), type de production concernée, fonction recherchée par l'utilisation de plantes de services. L'annexe 1 présente les points abordés lors de cette pré-enquête. De cet inventaire de projets multi-sites et multi-partenaires, des « **cas d'enquête** » ont été pré-identifiés. Il s'agit de l'échelle d'étude retenue pour faciliter l'enquête en pratique et le recueil des connaissances opérationnelles produites. La définition de ce concept méthodologique est donnée dans l'encadré 4. Un échantillonnage des cas d'enquête potentiels est réalisé sur la base de deux prérequis nécessaires et d'un critère de sélection. Pour permettre la capitalisation de connaissances produites par la conception et mise en expérimentation d'un système, un cas d'enquête doit d'abord être suffisamment avancé dans le processus de conception (Figure 1) : non seulement l'étape des tests en conditions contrôlées des plantes de services candidates doit être dépassée si elle a eu lieu, mais la mise en expérimentation doit aussi avoir permis l'acquisition d'une expérience pratique. Le second prérequis porte sur le niveau de proximité des conditions d'expérimentation aux conditions de production de la culture de rente. Les expériences pratiques des expérimentations doivent être celles d'essais menés dans des conditions suffisamment proches de la production pour que l'expérimentateur soit confronté aux freins opérationnels rencontrés « au champ ». Enfin, ces prérequis considérés, l'échantillon construit a pour vocation d'être stratifié pour couvrir une diversité de types de productions, de fonctions visées par l'utilisation des plantes de services, de types de bioagresseurs ciblés et de territoires.

## **2. Présentation de l'échantillon enquêté**

Au total 24 cas ont été enquêtés auprès de 31 expérimentateurs. Certains cas ont en effet permis la rencontre de plusieurs interlocuteurs ayant travaillé à la conception et la mise en œuvre des essais. Trois cas ont été enquêtés alors que le système utilisant les plantes de services n'était pas encore mis en place au champ. Malgré ces échanges très intéressants sur la phase de conception, les enquêtes n'ont de fait pas permis de recueillir les expériences pratiques sur les essais concernés. Dans ce mémoire, ces cas ne seront donc pas inclus dans l'échantillon étudié, par soucis d'homogénéité dans le traitement des données. Les 21 enquêtes de l'échantillon (annexe 5) ont été réalisées auprès d'expérimentateurs d'organismes<sup>2</sup> différents, acteurs de la recherche, de l'expérimentation et du développement des filières horticoles. La répartition des cas enquêtés dans l'échantillon en fonction du climat est en Figure 3 et la localisation des cas est présentée en annexe 2.

A l'appréciation des expérimentateurs, le niveau d'avancement des cas enquêtés dans le processus de conception et mise en expérimentation de système utilisant des plantes de services (Figure 1) a été relevé. Les 21 cas de l'échantillon se situent en phase de mise en expérimentation en parcelles, d'analyse et diffusion des acquis, ou d'utilisation des résultats par d'autres expérimentateurs ou par des producteurs. La proportion des cas dans ces différents niveaux est présentée en Figure 4. Chaque cas enquêté a été décrit par un ensemble de variables de caractérisation (e.g. type de production, agriculture biologique ou non, type de plante de services,...). Ainsi, les « types de production » représentés dans l'échantillon sont : les vergers fruitiers, les cultures ornementales (plantes en pots exclusivement, pas de fleurs coupées), les cultures maraichères de plein champ et le maraichage sous abris (pleine terre ou hors sol). La proportion par type dans l'échantillon est présentée en Figure 5. Pour 48% des cas enquêtés, le système de culture est mené selon les principes de l'agriculture biologique.

---

<sup>2</sup> Les organismes sont : CTIFL, GRAB, INRAE, ASTREDHOR, CIRAD, FREDON, CIVAMBio 66, INVENIO, APREL. Trois autres organismes ont été enquêtés sans figurer dans l'échantillon traité : Sud Expé, CA26, université Rennes.

Tableau 3. Types de bioagresseurs ciblés par l'utilisation de plantes de services dans les cas enquêtés (n=21)

Type de bioagresseur ciblé	Effectif des cas concernés dans l'échantillon	Proportion dans l'échantillon (%)	Exemple de bioagresseurs
Ravageur aérien	16	76	Pucerons, aleurodes, punaises phytophages, noctuelle, thrips
Bioagresseur tellurique	4	19	Bactérie ( <i>Ralstonia solanacearum</i> ), nématodes
Adventices	1	5	Graminées

### Modalités d'utilisation des plantes de services :

De manière générale, une modalité d'utilisation comporte une ou plusieurs espèces de plantes de services et se définit par un mode d'action recherché pour la réalisation d'une fonction, un agencement spatio-temporel dans le système et le caractère pérenne ou annuel de la ou des plante(s).

Cependant, dans le cas d'essais factoriels où plusieurs espèces étaient testées avec le même agencement spatio-temporel pour une même fonction, les modalités d'utilisation enquêtées se précisaient au grain de l'espèce utilisée, qui permettait de questionner l'expérience pratique de la mise en œuvre, avec une satisfaction variable pour chacune d'elles.

Encadré 5. Concept méthodologique : les modalités d'utilisation des plantes de services

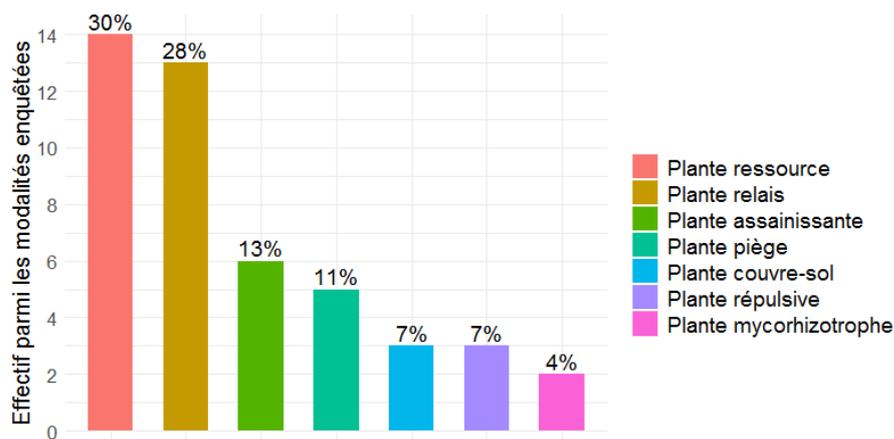


Figure 6. Répartition des types de plantes de services dans l'échantillon des modalités enquêtées (n=46)

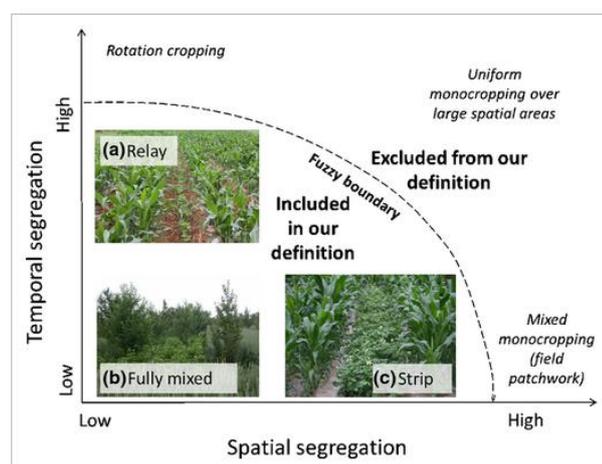


Figure 7. Représentation des différents agencements de cultures associées à une culture principale, selon le niveau de ségrégation spatiale et temporelle vis-à-vis de cette culture (Brooker et al. 2015)

Tableau 4. Répartition des modalités dans l'échantillon, en fonction de la pérennité et l'agencement des plantes de services PdS (n=46)

	Rotation	Relay	Boundary	Strip	Mixed	Total (% de l'échantillon)
PdS annuelle	7	0	4	5	13	29 (63%)
PdS pérennes & annuelles	0	0	0	4	1	5 (11%)
PdS pérenne	0	0	2	2	8	12 (26%)
<b>Total (% de l'échantillon)</b>	<b>7 (15%)</b>	<b>0 (0%)</b>	<b>6 (13%)</b>	<b>11 (24%)</b>	<b>22 (48%)</b>	<b>46 (100%)</b>

PdS de plus en plus intégrée dans la parcelle

Les plantes de services étudiées ont plusieurs modes d'action, pouvant permettre la réalisation de plusieurs fonctions, et ciblant différents organismes. Pour la suite, les fonctions et organismes cibles considérés sont ceux déclarés par les expérimentateurs comme l'objet des essais enquêtés. Par exemple, si une plante est testée pour son effet présumé nématocide, mais a aussi l'intérêt d'offrir une bonne couverture du sol, c'est la première fonction qui est retenue ici car c'est celle sur laquelle se sont focalisées les observations et analyses menées par l'expérimentateur. Les bioagresseurs ciblés sont donc les nématodes et non les adventices. Les plantes de services sont ainsi testées pour la gestion de ravageurs aériens dans 76% des cas de l'échantillon. Dans 19% des cas enquêtés, le bioagresseur ciblé est tellurique, et dans un cas, la lutte contre l'installation d'adventices est la première fonction recherchée (Tableau 3). Dans 62% des cas, la stratégie repose sur une action indirecte sur le bioagresseur, via l'attraction d'ennemis naturels, leur élevage, ou la stimulation de la symbiose avec des champignons mycorhiziens à arbuscules. Dans 38% des cas, le mode d'action recherché par l'utilisation de plante de service est donc une action directe sur le bioagresseur.

Par ailleurs, chaque cas enquêté a permis de questionner différentes modalités d'utilisation des plantes de services. Celles-ci ont été définies pour permettre une discussion précise sur les connaissances opérationnelles produites, mais aussi pour s'adapter à l'essai enquêté et à la perception de l'interlocuteur sur sa démarche. La description du concept est présentée en Encadré 5. Certaines variables descriptives de l'échantillon se présentent donc **à l'échelle de la modalité d'utilisation**, et non pas du cas. Dans l'échantillon, 46 modalités d'utilisation ont été enquêtées. La répartition des types de plantes de services dans l'échantillon des modalités enquêtées est présentée en Figure 6. La typologie utilisée s'inspire des concepts présentés dans les Tableau 1 et Tableau 2, et le terme « plante ressource » désigne les plantes apportant à la fois des ressources trophiques (animales et/ou végétales) et un habitat aux ennemis naturels, ces trois modes d'action étant complexes à différencier. Les modalités peuvent également se distinguer par la pérennité ou le caractère annuel des plantes utilisées. Cependant, les mélanges fleuris, composés à la fois de pérennes et d'annuelles, ont été considérés comme une modalité (unité d'agencement spatial et temporel), car la distinction des plantes du mélange n'était pas adaptée à l'échange sur le dispositif qui avait été conçu par l'expérimentateur.

Enfin, l'agencement spatial et temporel des plantes de services est décrit par la variable « Agencement », dont les différents modes sont classés en 5 catégories : « Mixed », « Strip », « Boundary », « Relay » et « Rotation ». Cette typologie est inspirée de celle proposée par Brooker *et al.* (2015), et renseigne d'un niveau de proximité, spatial et temporel, avec la culture principale.

« Mixed » correspond ainsi à des plantes de services cultivées en même temps que la culture et placées sur le même rang, dans une proximité spatiale et temporelle directe. « Strip » indique que la plante de service est cultivée de manière synchrone mais disposée en bandes non mélangées à la culture. « Boundary » est utilisée pour les plantes de services cultivées de manière synchrone avec la culture mais placées en bordure de parcelle. « Relay » se rapporte à des plantes de services cultivées sur la même parcelle que la culture, à la manière d'une rotation pendant laquelle les deux cultures co-existent pendant une certaine période. Cet agencement n'a pas été rencontré dans les modalités d'utilisation enquêtées. « Rotation » correspond enfin à une culture asynchrone de la plante de service, en rotation avec la culture principale. (Figure 7). Un exemple est présenté en annexe 3. Le cas enquêté correspond à des essais menés à l'UERI INRAE de Gotheron en verger de pommiers, sur l'utilisation d'un mélange variétal de romarin comme plante répulsive contre les pucerons cendrés. Deux modalités d'utilisation ont été définies, se distinguant par l'agencement spatial des plantes de services dans le système : PdS placées sur le rang (« mixed »), et PdS utilisées en inter-rang (« strip »).

## Caractérisation du projet et du cas enquêté au sein du projet

- Système conçu, positionnement du cas dans le processus de conception et mise en expérimentation...

## Caractérisation de l'expérience de la (ou des) personne(s) enquêtée(s) et leur(s) rôle(s) dans le processus de conception

## Questionnement de la phase qui précède la mise en expérimentation en conditions proches de la production

- Choix des modalités d'utilisation de la/les plante(s) de services, craintes et freins anticipés avant la "mise au champ"

## Questionnement de la mise en œuvre pratique du système conçu

- Freins éventuellement rencontrés, leviers imaginés et/ou testés...

## Questionnement de la satisfaction de l'expérimentateur

- Satisfaction vis-à-vis de la réalisation de la fonction visée, mais aussi de la mise en œuvre des pratiques, selon les modalités d'utilisation testées (points de satisfaction, d'insatisfaction, leviers qui pourraient permettre d'améliorer l'appréciation...)

## Caractérisation de la production de connaissances et place des connaissances opérationnelles dans les résultats diffusés (le cas échéant)

*Figure 8. Résumé des grands axes de questionnement dans le guide d'enquête*

*Tableau 5. Liste prédéfinie de freins hypothétiques questionnés pendant l'enquête, et nom de la variable correspondante dans le jeu de données*

Nom de la variable	Frein interne correspondant
FreinsInt_surcout	Surcoût
FreinsInt_perfagro	Performances agronomiques variables du système, liées à la présence de la PdS
FreinsInt_rentabilite	Rentabilité faible du système
FreinsInt_gestionBA	Efficacité de la gestion du bioagresseur incertaine ou irrégulière
FreinsInt_materiel	Manque de matériel agricole adapté
FreinsInt_orga	Difficultés liées à l'organisation du travail
FreinsInt_penibilite	Augmentation de la pénibilité du travail
FreinsInt_pilotage	Augmentation de la complexité du pilotage du système
FreinsInt_sanitaire	Risque sanitaire
FreinsInt_devPdS	Difficultés liées à l'implantation et/ou au développement de la PdS
FreinsInt_cultPdS	Difficultés liées à la conduite de la culture de la PdS
FreinsInt_BA sur PdS	Difficultés liées à la gestion des bioagresseurs sur la PdS
FreinsInt_machines	Gêne au passage de machines
FreinsInt_genePratiques	Gêne dans la mise en œuvre de pratiques souhaitées sur la culture
Nom de la variable	Frein externe correspondant
FreinsExt_connaiss	Manque de connaissances et de références techniques (ou faible accessibilité)
FreinsExt_accesPdS	Difficulté d'accès ou coût élevé des plants/semences des PdS
FreinsExt_manquevar	Manque de variété de plants/semences de PdS adaptées au contexte local
FreinsExt_reglement	Contraintes réglementaires (Fait notamment référence au respect de la réglementation sur la protection des abeilles. En période de floraison ou de production d'exsudats, en présence d'abeilles, il est interdit de traiter, et ce même avec des produits présentant la mention « abeilles » (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, <i>et al.</i> 2018)).

Chaque variable a deux modalités de réponse possibles : « Oui » ou « Non », selon si le frein a été déclaré comme ayant été rencontré ou non. Par exemple, le nom de la modalité de réponse « FreinsInt\_sanitaire\_Oui » signifie que le frein lié à un risque sanitaire a été rencontré.

## B. Méthodologie de recueil des connaissances

Les connaissances sont recueillies par le biais d'entretiens semi-directifs réalisés lors de rencontres avec les expérimentateurs. Les rencontres en présentiel permettent des échanges riches, des relances sur des points d'intérêt, et surtout donnent la possibilité à l'enquêtrice de s'assurer en direct d'une bonne compréhension des questions posées d'une part, et de bien interpréter les réponses pour une codification adaptée d'autre part. La phase 2 représentée dans la Figure 2 est décrite dans cette partie.

### 1. Elaboration du guide d'enquête et niveaux de recueil des données

Un guide d'enquête a été produit dans un tableur sur Excel, composé de questions ouvertes, de questions à choix unique et d'autres à choix multiples. Le guide d'enquête est présenté en annexe 6, et un résumé des grands axes de questionnement est proposé en Figure 8. Une première version du guide d'enquête a fait l'objet d'un test sur un cas dont l'expérimentation avait été menée à l'unité expérimentale INRAE Maraichage d'Alénya. Cette enquête test fait partie de l'échantillon. Elle a permis de réviser l'ordre des questions, d'améliorer la fluidité des enquêtes et de diminuer la durée de celles-ci. En effet, quatre modalités d'utilisation des plantes de services avaient été questionnées pour ce cas, et il a ensuite été décidé de se limiter à trois modalités au maximum par cas car au-delà, l'enquête est trop longue et peut devenir pénible pour l'interlocuteur. La liste de freins hypothétiques, internes et externes au système, et a été préparée à partir d'une pré-enquête exploratoire réalisée en amont du stage par A. Lefèvre et M. Chave (inspirée de Morel *et al.* 2020), et complétée par 9 expérimentateurs (Tableau 5).

### 2. Préparation, réalisation et retranscription des enquêtes

Pour chaque enquête, le processus décrit dans l'encadré vert de la Figure 2 est mis en œuvre. Il a été appliqué aux 21 cas de l'échantillon, et comporte trois phases.

La préparation de l'enquête repose sur la lecture des documents fournis par l'expérimentateur (rapports techniques, fiche projet, protocoles, supports de communication...), qui permet d'identifier précisément le cas enquêté et de le schématiser sous forme de carte mentale avec le logiciel Xmind 8. La schématisation en arborescence rappelle les caractéristiques du dispositif, la (ou les) fonction(s) visée(s), et décrit la (ou les) modalité(s) d'utilisation questionnée(s). Un exemple est donné en annexe 3. Enfin, à partir de la lecture documentaire, le guide d'enquête est pré-rempli. Cela constitue un premier niveau d'information, documenté. Cette phase nécessite deux à trois heures selon le nombre et la complexité des documents fournis.

Lors de l'entretien en présentiel, le choix du cas et des modalités d'utilisation est soumis à la validation de l'expérimentateur. L'échange permet également de valider les informations extraites des documents, et de compléter le guide d'enquête. Les supports apportés pour l'enquête sont : le guide d'enquête pré-complété, les documents fournis, la représentation schématique du cas et la frise du processus de conception et mise en expérimentation de systèmes utilisant des plantes de services (Figure 1). Cette dernière permet de questionner le niveau d'avancement du cas dans ce processus. Les questions à choix multiples faisant l'objet d'une liste prédéfinie sont d'abord posées de manière ouverte afin de recueillir la réponse spontanée de l'expérimentateur. C'est le cas pour les variables caractérisant les craintes que pouvait avoir l'expérimentateur avant la mise en œuvre de l'essai, ainsi que les difficultés pratiques et freins rencontrés. L'expérimentateur est en effet invité à citer des freins pratiques effectivement rencontrés dans l'expérimentation en conditions proches de la production. Ensuite, la liste de réponses prédéfinie est lue et alimente la discussion.



L'échange est enregistré en audio et des notes sont prises sur le guide d'enquête imprimé. Il dure environ 1h30. L'enquête est menée conformément à la RGPD, avec la présentation d'un mandat d'enquêtrice, d'une fiche d'information sur le contexte du stage et ses finalités, et la signature par la personne enquêtée d'une attestation de consentement à l'enregistrement audio et à l'utilisation des données. 28 personnes ont été enquêtées dans le cadre des 21 cas de l'échantillon. Il a en effet parfois été possible de réaliser l'enquête complète avec plusieurs expérimentateurs ayant travaillé sur le cas. Lorsque cela est possible, une visite de l'essai constitue une troisième source d'information et permet de visualiser et questionner concrètement la mise en œuvre de stratégies utilisant les plantes de service. La visite était réalisée avec la personne enquêtée, ou avec un autre expérimentateur en charge de la mise en œuvre de l'essai en parcelle. L'enquête complète n'ayant pas été réalisée avec ces derniers, ils ne sont pas comptabilisés dans les expérimentateurs enquêtés, mais ont apporté des compléments intéressants et des éléments de contexte.

La dernière phase est une « retranscription » de l'enquête sur la base des notes prises et de l'écoute de l'enregistrement audio. Il ne s'agit pas de retranscrire au mot près les différentes informations recueillies, mais de compléter les réponses aux questions du guide d'enquête (fichier Excel distinguant en plusieurs colonnes la provenance de l'information (documents, enquête, visite)). Cela constitue une « fiche de synthèse brute » de chaque cas enquêté.

### C. Analyse des données

#### *1. Formatage des données : définition des deux niveaux d'analyse, par cas et par modalité d'utilisation des plantes de services*

Les fiches synthèses, riches en informations, ne sont cependant pas un support adapté aux analyses, car l'objectif est de proposer une analyse transversale des 21 cas pour tester les hypothèses formulées en introduction, et la structuration du fichier Excel comportant un onglet par cas ne le permet pas. Des variables qualitatives et quantitatives ont ainsi été définies et rassemblées dans un questionnaire créé avec l'outil LimeSurvey-INRAE<sup>3</sup>. L'objectif est de formaliser uniformément un corpus de variables issues de l'enquête et communes aux cas, et de produire une base de données agrégeant les différents cas enquêtés avec des variables exploitables statistiquement.

Le questionnaire LimeSurvey est donc complété pour chacun des 21 cas, à partir des fiches synthèses. La base de données résultante est un tableur Excel avec autant de lignes que de cas. Elle est nommée « TR\_brut », pour « tableau de résultats brut ». Par la mise en forme du tableau et des données (dont certaines sont issues de questions à choix multiples), le « TR\_cas » est obtenu. L'individu statistique correspond ici à un cas enquêté.

Or, si la plupart des éléments de caractérisation du cas sont communs à toutes les modalités d'utilisation questionnées dans celui-ci, les connaissances opérationnelles produites sont visibles à l'échelle de la modalité d'utilisation des plantes de services. La base de données « TR\_modalité », dans laquelle une ligne correspond à une modalité d'utilisation, est créée à partir de TR\_cas. Les variables relatives aux différentes modalités d'utilisation (suivis réalisés, freins pratiques rencontrés, niveaux de satisfaction...) sont ainsi différenciées pour chaque individu statistique (c'est-à-dire chaque modalité d'utilisation), alors qu'elles étaient confondues dans un individu (cas) dans le TR\_cas.

---

<sup>3</sup> LimeSurvey-INRAE : outil mis à disposition du personnel INRAE de création d'enquêtes en ligne proposé par l'équipe Solutions Web, permet aux utilisateurs de créer rapidement et de manière intuitive des questionnaires et enquêtes en ligne, de collecter les réponses et d'analyser les résultats.



L'annexe 6 présente le niveau auquel sont définies les variables. Seules les variables utilisées dans la suite du présent mémoire sont présentées, le nombre total de variables issues du questionnaire LimeSurvey étant très important.

## *2. Traitement des données*

La plupart des variables sont qualitatives, et on peut distinguer celles issues de questions à choix unique (ou à choix multiples agrégées lors du formatage des données), de celles issues de questions à choix multiples. Pour illustrer cela, la variable « Climat » était à choix unique et n'a pas nécessité d'ajustement. La variable « TypePdS », dont les données ont été recueillies avec la possibilité de choisir plusieurs réponses pour un cas donné, a pu être rassemblée en une variable unique dans le TR\_modalité (une modalité comportant un type de plante de service). Enfin, certaines variables comme celles caractérisant les freins rencontrés lors de l'expérimentation, reposaient sur une liste prédéfinie de réponses qui pouvaient être cochées ou non. Dans TR\_modalité, cette variable est donc « subdivisée » en autant de sous-variables que de freins contenus dans la liste prédéfinie, ayant deux modalités de réponse possible : « Oui » ou « Non », selon si le frein a été rencontré. Le niveau de satisfaction vis-à-vis de la réalisation de la fonction et de la mise en œuvre a été questionné sur une échelle à 4 niveaux : Insatisfait, Peu Satisfait, Satisfait, Très satisfait, à l'échelle de la modalité d'utilisation. Pour agréger l'information à l'échelle du cas, deux variables sont créées : 'Satisfonction\_cas' et 'SatisfMEO\_cas'. Ces deux variables sont construites comme suit : si le niveau de satisfaction exprimé était le même pour toutes les modalités d'utilisation d'un même cas, ce niveau de satisfaction est conservé dans la variable agrégative ; au contraire si des niveaux de satisfaction différents sont exprimés selon les modalités d'utilisation du cas, la variable prend la valeur « Dépend de la modalité ».

Enfin, certaines variables sont quantitatives, parfois issues de calculs de fréquences de réponses. L'agrégation de variables qualitatives définies à l'échelle de la modalité, comme les freins rencontrés au cours de l'expérimentation, en variable quantitative à l'échelle du cas, tel que le nombre total de freins différents éprouvés par cas, permet de passer d'un niveau à l'autre et d'élargir les possibilités d'analyse.

L'annexe 6 présente les différentes variables et le type de réponse associé. Les analyses statistiques sont réalisées avec Rstudio (version R- 4.1.0 (2021 – 05 – 18)). Des statistiques descriptives sont utilisées, tels que des calculs de proportions, et des représentations graphiques réalisées avec les outils du package ggplot2. Pour tester la significativité de l'effet de variables qualitatives sur des données quantitatives, des analyses de variances sont réalisées à l'aide des fonctions lm et anova. La normalité des résidus est vérifiée par représentation graphique grâce à la fonction qqnorm. L'homogénéité des variances est vérifiée par un test de Bartlett (fonction bartlett.test), et peut être visualisée à l'aide d'un graphique résidus vs fitted values.

Le lien entre des variables qualitatives est testé par la réalisation d'un tableau de contingence avec la fonction table. Après un calcul des proportions, un test exact de Fisher est réalisé, pour choisir de rejeter ou non l'hypothèse d'indépendance des variables considérées. Ce test est pertinent de par la nature du jeu de données recueilli auprès d'un échantillon, et non d'une population entière, et car il comporte des effectifs faibles (valeurs dans le tableau de contingence souvent <5 selon les variables). C'est pourquoi ce test est privilégié à un test du  $\chi^2$ .

Enfin, dans le but de visualiser l'ensemble des associations entre modalités de réponse à des questions à choix multiples telles que celles des freins rencontrés, et d'étudier les ressemblances et la variabilité des individus statistiques (modalités d'utilisation des plantes de services), une analyse des correspondances multiples (ACM) est réalisée. Les packages FactoMineR et Factoshiny sont utilisés pour cela.



Les variables actives sont les variables correspondant aux freins enquêtés, rencontrés pour plus de 10% des modalités d'utilisation des cas de l'échantillon. Les freins rencontrés par un nombre réduit de modalités d'utilisation ont en effet un impact fort sur la construction des axes de l'ACM, mais n'expliquent qu'une faible part de la variabilité dans l'échantillon. Par ailleurs, la variable FreinsInt\_surcote n'est également pas prise en compte comme variable active de l'ACM, car la compréhension de ce frein a été interprétée de manière hétérogène par les expérimentateurs : certains expérimentateurs ayant déclaré avoir rencontré ce frein se projetaient dans un surcote qui pourrait être problématique pour un producteur. Au contraire, certains des expérimentateurs ont rejeté ce frein car il n'avait pas été rencontré en conditions d'expérimentation. L'homogénéité des réponses concernant cette variable n'est a priori pas suffisamment fiable pour pouvoir distinguer des groupes de modalités d'utilisation sur ce critère.

Des variables de signalétique sont également utilisées en variables supplémentaires, pour aider à l'interprétation des résultats. Il s'agit des variables ProjetAvanc, Climat, CultPerennite, TypeProd, PdSType, AB, OuvertSyst, PdSPerennite, CibleType, BAType\_milieu, CasAvanc, TypeExpe, ClasseExp, CondProd, Agencemt et ReconceptSyst.

Une classification ascendante hiérarchique est réalisée pour visualiser des groupes d'individus homogènes quant aux connaissances opérationnelles produites sur les freins rencontrés en conditions proches des conditions de production. Suite à l'ACM effectuée avec Factoshiny, 9 dimensions sont utilisées pour la classification, permettant d'expliquer 94.5 % de la variabilité.

### III. Résultats

Dans une démarche exploratoire des jeux de données produits, les résultats des analyses réalisées visent à éprouver chacune des hypothèses de travail formulées en introduction. Dans cette section, il sera, en premier lieu, question de la volonté des expérimentateurs à reconcevoir le système technique pour utiliser des plantes de services comme stratégie de gestion de bioagresseurs (hypothèse 1). Ensuite, l'acquisition et la diffusion par les expérimentateurs de connaissances opérationnelles spécifiques à l'utilisation de plantes de services seront étudiées (hypothèse 2). Enfin, une analyse exploratoire des types de freins rencontrés en lien avec le contexte d'utilisation sera présentée (hypothèse 3). Les variables étudiées ont été acquises à l'échelle du cas enquêté ou à l'échelle de la modalité d'utilisation. Cela sera précisé dans la présentation des résultats, et est également rappelé dans l'annexe 6.

#### A. Apport du niveau « modalité d'utilisation » et volonté de reconception du système technique pour les plantes de services

L'hypothèse 1 vise à traiter du lien entre reconception du système technique et utilisation de la PdS, en envisageant que la description de la plante de service n'est pas dissociable de ses modalités d'utilisation, et que la reconception peut consister en l'adaptation de l'itinéraire technique du système et de l'organisation du travail. En section I.1, nous étudions les plantes de services sous l'angle de leur modalité d'utilisation. En section I.2, nous caractérisons la diversité des situations enquêtées selon la volonté de reconception du système.

##### 1. Le niveau « modalité d'utilisation » permet de préciser les situations et les expériences intégrant des PdS

Une analyse de l'échantillon à l'échelle d'étude de la modalité d'utilisation met en lumière une caractérisation des expérimentations menées invisible à l'échelle du cas. Une modalité d'utilisation comporte une ou plusieurs espèces de plantes de services et se définit par un mode d'action recherché pour la réalisation d'une fonction, un agencement spatio-temporel dans le système et le caractère pérenne ou annuel de la ou des plante(s).

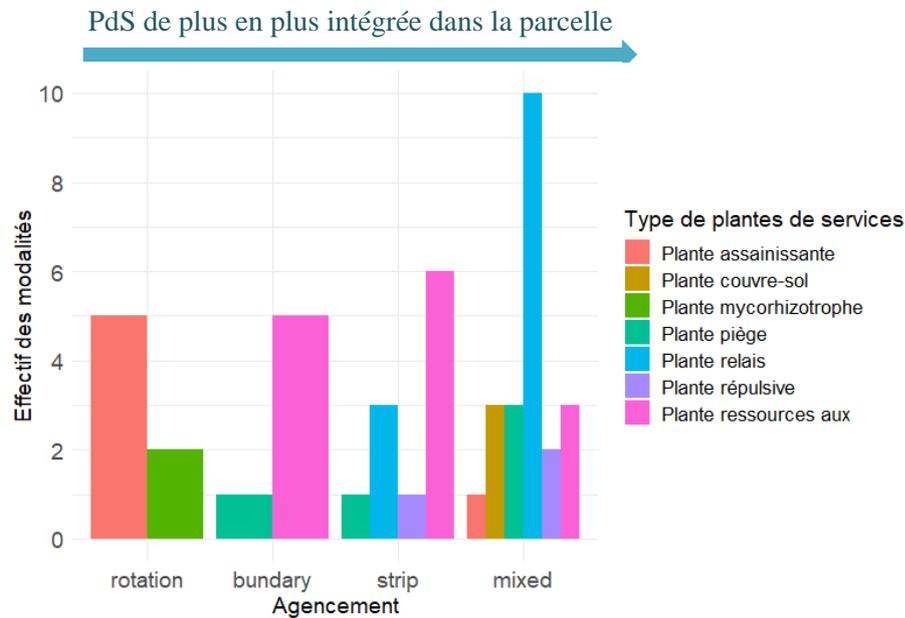


Figure 9. Répartition des types de plantes de services en fonction de leurs agencements dans les modalités d'utilisation de l'échantillon (n=46).

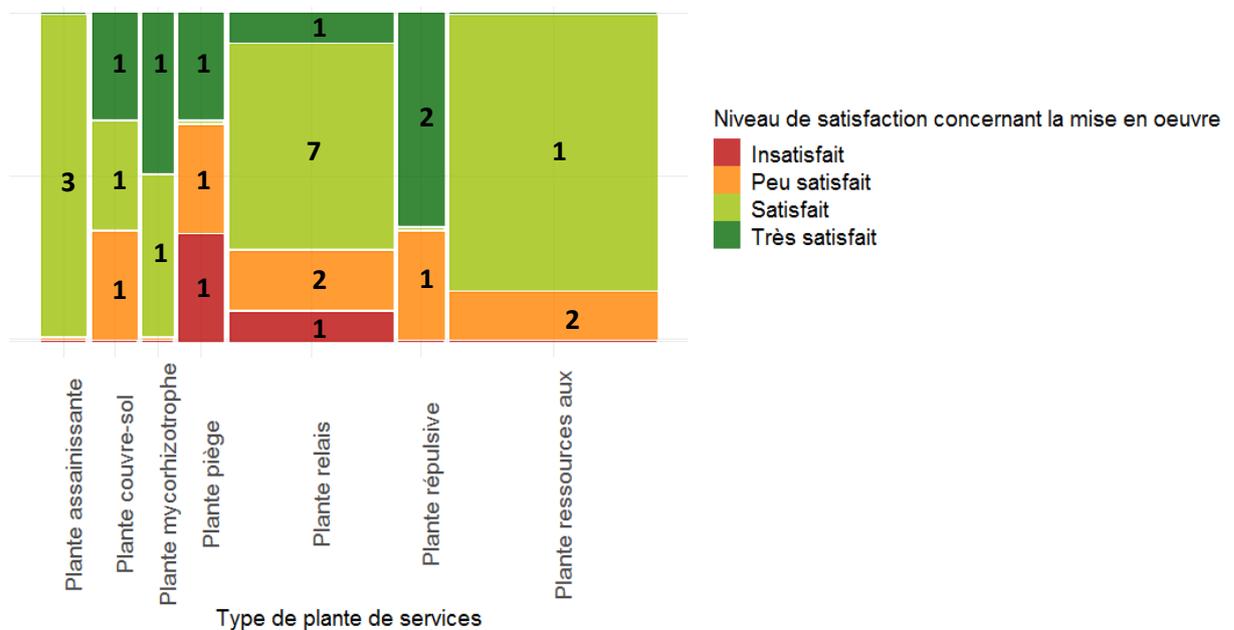


Figure 10. Niveau de satisfaction exprimé concernant la mise en œuvre pratique de la stratégie utilisant des plantes de services, en fonction du type de plantes de services testé (n tot =39). Les valeurs indiquées correspondent aux effectifs du tableau de contingence, la surface d'une mosaïque étant proportionnelle à ces effectifs.

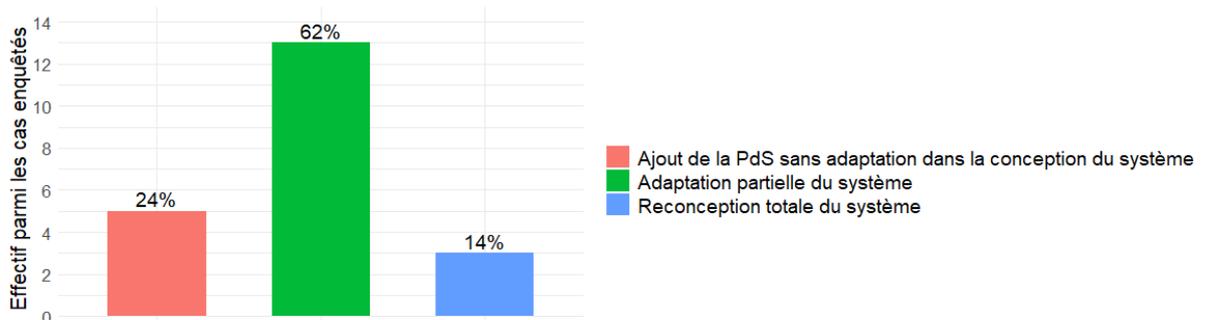


Figure 11. Volonté de reconception du système pour la stratégie de protection utilisant des plantes de services, exprimée lors de l'enquête (n= 21)

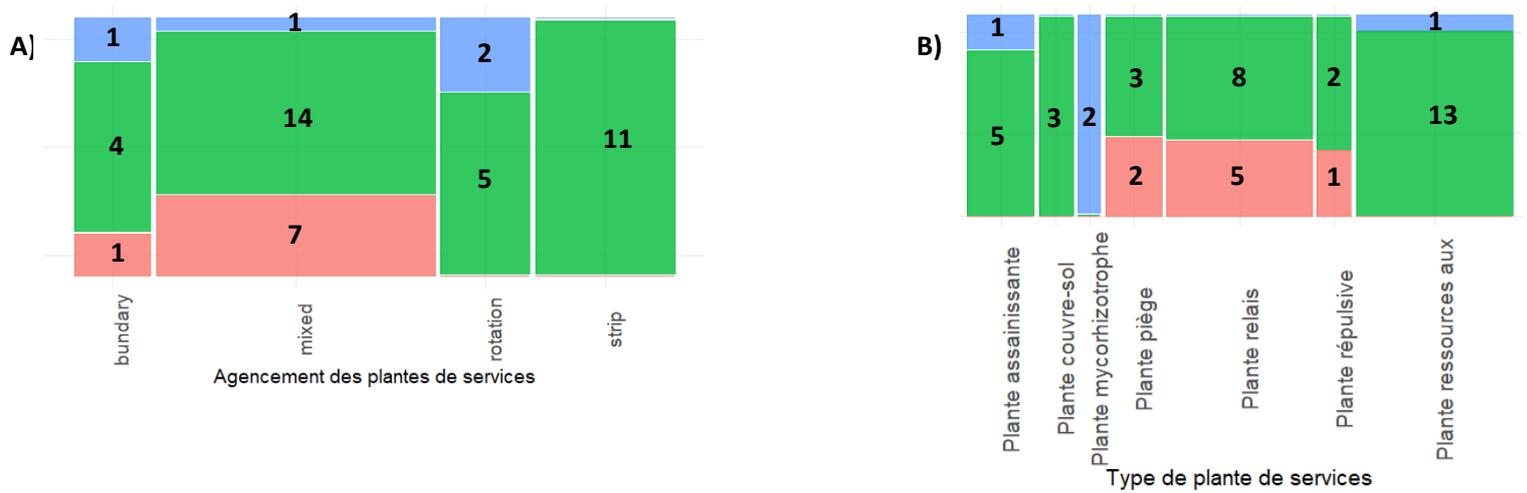
Ainsi, la Figure 9 présente la répartition des types de plantes en fonction de leur agencement dans le système. Un test exact de Fisher permet de rejeter l'hypothèse d'indépendance de ces deux variables au seuil de 5% ( $p < 0,05$ ). Ce test confirme des liaisons entre variables : dans notre échantillon, les plantes de service sont agencées dans l'espace et le temps en lien avec leur mode d'action. Ainsi, les plantes relais sont utilisées pour élever des auxiliaires à proximité de la culture, et sont donc majoritairement placées dans la culture (mixed) ou en bandes à proximité (strip). Les plantes assainissantes et mycorhizotrophes sont uniquement utilisées en rotation avec la culture principale. Par ailleurs, les plantes ressources ont été testées dans trois agencements différents dans l'échantillon : mixed, strip et boundary, c'est-à-dire avec plusieurs niveaux de proximité spatiale avec la culture. Enfin, plus la plante est intégrée dans le système, plus les types de plantes de services testées sont diversifiés, dans cet échantillon.

Pour le niveau de satisfaction exprimé vis-à-vis de la réalisation de la fonction, dans 50% des cas d'enquête pour lesquels la donnée a pu être agrégée (variable Satisfonction\_cas,  $n=20$ ), ce niveau dépend de la modalité d'utilisation. Une appréciation de la satisfaction vis-à-vis de la fonction à l'échelle du cas gommerait donc une variabilité importante entre les différentes modalités d'utilisation utilisées. La valeur est un peu plus faible pour la satisfaction à la mise en œuvre, avec 41% des cas pour lesquels la satisfaction dépend de la modalité ( $n=17$ ). L'appréciation de la satisfaction vis-à-vis de la mise en œuvre à l'échelle du cas entraînerait aussi une perte d'informations. Les expérimentateurs évalueraient ainsi en partie les résultats de l'expérimentation au niveau de la modalité. A l'échelle des modalités d'utilisation, une relation d'indépendance est cependant démontrée entre l'agencement des plantes de services et le niveau de satisfaction exprimé, tant concernant la réalisation de la fonction que la mise en œuvre pratique, par un test exact de Fisher au seuil de 5%. Cela signifie qu'a priori, il n'y a pas de relation entre l'agencement et la satisfaction exprimée, autrement dit que le choix d'un agencement ne permet pas de présager de la satisfaction fonctionnelle et pratique vis-à-vis de la modalité d'utilisation des plantes de services.

Le niveau de satisfaction exprimé vis-à-vis de la mise en œuvre est par ailleurs significativement lié au type de plante de services utilisé, au seuil de 5% ( $p = 0.016$ ). C'est-à-dire que certains types de plantes de services peuvent permettre de présager d'un niveau de satisfaction en termes de mise en œuvre. Le résultat est présenté en Figure 10. Les niveaux « satisfait » et « très satisfait » vis-à-vis de la mise en œuvre sont majoritaires pour tous les types de plantes sauf les plantes pièges (mais effectif faible de 3 modalités). Dans l'échantillon, les modalités « très satisfaisantes » concernent des plantes couvre-sol, mycorhizotrophe, piège, relais et répulsive. Une insatisfaction n'a été exprimée que pour deux modalités d'utilisation des plantes de services, qui étaient des plante piège et plante relais.

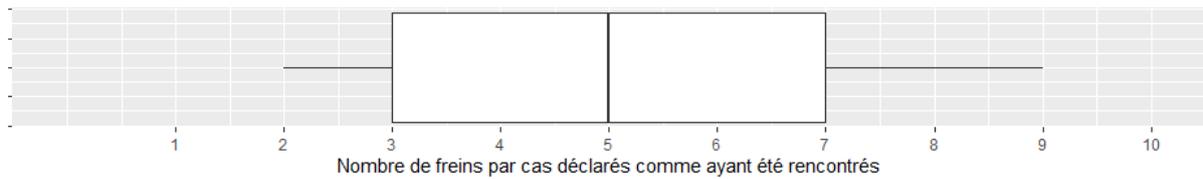
## ***2. Volonté de reconception du système de culture pour intégrer la plante de services***

L'enquête a permis de recueillir la volonté de modification du système de culture testé pour intégrer la plante de services, qui a été questionnée pour chaque cas enquêté (variable ReconceptSyst). L'échelle utilisée est à trois niveaux : « Ajout de la PdS sans modifier le système », « Adaptation partielle du système » et « Reconception totale du système pour prendre en compte la PdS ». L'effective modification à reconception du système, dans les faits au champ, par rapport à un système sans plantes de service n'a pas été investiguée. Pour 62% des cas, lors de la conception du système utilisant des plantes de services, les expérimentateurs déclarent avoir privilégié une adaptation partielle de celui-ci à une démarche de reconception (Figure 11). Il s'agit alors d'une adaptation liée à une légère diminution de la densité de la culture principale pour insérer des plantes de services, à l'insertion dans un calendrier cultural, ou à des adaptations techniques (irrigation...).



Volonté de reconception    Ajout de la PdS sans modif autre    Adaptation partielle du système    Reconception totale

*Figure 12. Lien entre la volonté de modification du système existant pour intégrer la stratégie utilisant des plantes de services pour la santé des plantes, et A) l'agencement des plantes de services dans le système (n=46) B) le type de plante de services utilisé (n=46). Les valeurs indiquées correspondent aux effectifs du tableau de contingence.*



*Figure 13. Répartition dans l'échantillon des cas enquêtés du nombre de freins déclarés comme ayant été rencontrés à la mise en place du système utilisant des plantes de services (n= 21)*

Dans 24% des cas, il s'agissait de tester l'ajout de plantes de services sans adaptation autre du système d'un producteur qui voudrait potentiellement s'approprier la stratégie (Figure 11). La plante de service est alors un « levier additionnel » qui doit impliquer « le moins de changement possible » (dires d'expérimentateurs ayant choisi cette modalité de réponse). L'expression d'une volonté de reconception (14% des cas, Figure 11) repose soit sur la prévision de travaux supplémentaires à réaliser et d'un décalage non négligeable dans le calendrier des opérations dus à la présence de la plante de service, soit sur une volonté de considérer la plante de service de la même façon que la culture, et de s'extraire d'une réflexion qui la placerait en « annexe ». Il s'agit exclusivement de cas enquêtés en Guadeloupe et Martinique.

Il n'y a pas de relation de dépendance entre la variable ReconceptSyst et les variables de caractérisation du cas tel que le type de production, ou des modalités telle que le caractère pérenne ou annuel des plantes de services utilisées. Deux variables de caractérisation des modalités ne sont cependant pas indépendantes par rapport à ReconceptSyst, au seuil de 5% : l'agencement (Figure 12 A.) et le type de plantes de services utilisé (Figure 12 B.). Ces résultats sont obtenus avec des tests exacts de Fisher au seuil de 5%. Ainsi, la volonté de modifier le système en intégrant la plante de services est lié aux choix de la place de cette plante dans le système spatial et temporel.

La plus faible volonté de reconception concerne principalement les plantes mélangées à la culture. Il s'agit de plantes pièges, relais ou répulsives, qui, par leur mode d'action, requièrent une proximité avec la culture. Ce niveau a aussi été exprimé pour une modalité avec un agencement en bordure. Toutes les modalités d'utilisation comportant un agencement en bandes (niveau de proximité spatiale « intermédiaire » avec la culture) ont fait l'objet d'une volonté de reconception intermédiaire. Enfin, les expérimentateurs ayant exprimé une volonté de reconception totale du système, l'ont principalement évoquée pour des modalités en rotation avec la culture, mais aussi en bordure de culture ou en mélange avec la culture. Il s'agit de plantes assainissantes, mycorrhizotrophes ou ressources pour les auxiliaires. Il semblerait donc que plus la plante de services est intégrée au milieu du système spatial, moins la volonté de modifier le système est grande.

Dans l'échantillon des cas, en moyenne, 4.8 freins différents ont été déclarés comme ayant été rencontrés, avec un écart type de 2.2 (n=21) (Figure 13). Nous nous sommes demandé si une relation existait entre la volonté de modifier le système pour intégrer les plantes de services et le nombre de freins par cas déclarés comme ayant été rencontrés. En effet, les expérimentateurs ont souvent relié la variable ReconceptSyst à une notion d'acceptabilité ou de risque à générer des obstacles potentiels. Ce lien entre ReconceptSyst et le nombre de freins n'est cependant pas démontré statistiquement à un seuil acceptable ( $p = 0.15$ ), d'après une analyse de variance. La variabilité constatée concernant le nombre de freins rencontrés ne s'explique donc pas par le niveau de reconception du système lors de la phase de conception, et sera étudiée dans la partie III des résultats présentés dans ce mémoire.

Il y a également indépendance entre le niveau de reconception souhaité et les niveaux de satisfaction exprimés vis-à-vis de la réalisation de la fonction ou de la mise en œuvre pratique du système ( $p \gg 0.05$ ), d'après un test exact de Fisher. La volonté de modification du système pour intégrer la plante de services ne permet donc pas de présager du caractère satisfaisant de la stratégie, du point de vue fonctionnel et pratique.



*Figure 14. Présence des résultats concernant la mise en œuvre pratique (MEO) du système testé dans la diffusion des connaissances produites suite à l'expérimentation, dans les cas de l'échantillon (n=18)*

## B. Acquisition et diffusion par les expérimentateurs de connaissances opérationnelles spécifiques à l'utilisation de plantes de services

L'ensemble des expérimentateurs enquêtés a pu discuter des difficultés pratiques rencontrées spécifiques à l'utilisation de plantes de services telle qu'ils l'ont mise en œuvre, et des aspects pratiques qui donnent ou non satisfaction. Les expérimentateurs rencontrés ont donc acquis des connaissances opérationnelles spécifiques à l'utilisation de plantes de services. Cela valide le début de l'hypothèse 2 selon laquelle « les expérimentateurs qui conçoivent des systèmes utilisant des plantes de services pour la santé des cultures en conditions proches de la production sont à même de produire et restituer des connaissances opérationnelles [...]. » Leur expérience pratique ressort en effet par la discussion et le questionnement du dispositif sous cet angle.

Pour traiter de la seconde partie de l'hypothèse 2 sur « [...] des connaissances opérationnelles qui ne sont pas toujours valorisées », la question de l'importance donnée dans les résultats mis en forme et diffusés par les expérimentateurs, aux aspects pratiques et de mise en œuvre (MEO), a été posée. La variable DiffMEO est construite par interprétation de la réponse des expérimentateurs à cette question, en les classant selon deux catégories : « Evocation en arrière-plan ou absence de diffusion des résultats sur la MEO » et « Importance donnée aux résultats sur la MEO dans la diffusion des acquis ». Ainsi, les connaissances opérationnelles produites sont volontairement diffusées dans 55% des cas enquêtés (Figure 14), c'est-à-dire qu'une place leur est dédiée dans les différents moyens et supports de communication utilisés. Pour les autres cas, ces connaissances sont soit reléguées au second plan en comparaison des connaissances produites sur la réalisation de la fonction visée, et sont alors évoquées dans l'éventualité de questions spécifiques sur ce sujet, soit elles sont absentes dans la communication des résultats.

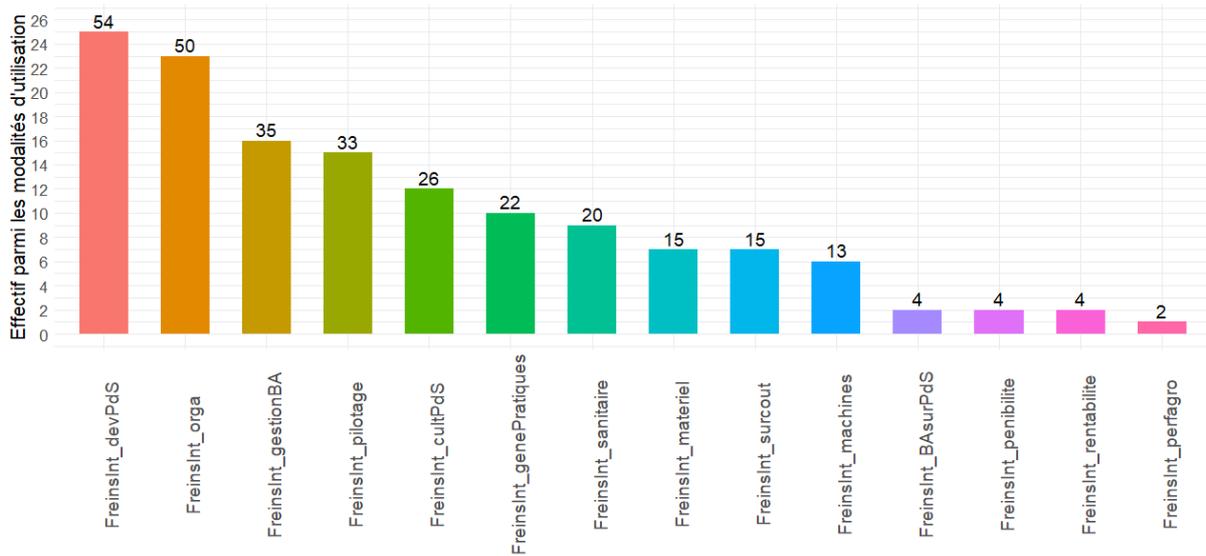
De plus pour 14 cas sur 21, soit environ 67% des cas, les expérimentateurs ont pu développer lors de l'échange des idées de leviers testés ou à tester, qui pourraient permettre d'augmenter le niveau de satisfaction concernant la mise en œuvre pratique de la stratégie utilisant les plantes de services. Cela constitue également des connaissances acquises lors de l'expérimentation qui ne sont pas nécessairement documentées. En effet, la lecture des documents fournis en amont des enquêtes n'a permis de relever des suggestions de leviers pour la mise en œuvre pratique que dans 2 cas sur 21. Les données concernant ces leviers pratiques ont donc principalement été recueillies lors de l'échange de vive voix, à l'occasion de questions ciblées sur ce sujet.

Nous avons ensuite cherché à situer quelles situations se prêtaient davantage à la formalisation et diffusion des résultats relatifs à la mise en œuvre, à l'aide de tests exacts de Fisher. La variable DiffMEO est définie à l'échelle du cas, elle s'applique à l'ensemble du système et non aux modalités d'utilisation des plantes de services en particulier. Ainsi, l'étude d'un lien entre DiffMEO et la satisfaction exprimée doit être faite à l'échelle du cas. Les variables agrégées SatisfMEO\_cas et Satisfonction\_cas donnent un niveau de satisfaction à l'échelle du cas, lorsque celui-ci était le même pour toutes les modalités d'utilisation de ce cas. Pour l'analyse, seuls les cas pour lesquels le niveau de satisfaction ne dépendait pas de la modalité ont été conservés (n=7). L'analyse montre que le fait que cette diffusion ait lieu ou non n'est pas lié au niveau de satisfaction vis-à-vis de la mise en œuvre pratique (p=1), ni au niveau d'avancement du cas enquêté dans le processus de conception (p=1, avec n=18).

La diffusion des connaissances sur la MEO n'est pas non plus liée à une certaine volonté de reconception du système (p=0.4, n=18). Cependant, la diffusion déclarée des résultats de mise en œuvre est significativement dépendante du niveau de satisfaction exprimé vis-à-vis de la réalisation de la fonction, au seuil de 10% (p = 0.1, n=8).

*Tableau 6. Tableau de contingence entre les variables DiffMEO en ligne et Satisfonction\_cas en colonnes, traçant le niveau de satisfaction exprimé vis à vis de la réalisation de la fonction de tous les cas pour lesquels cette donnée ne dépend pas de la modalité (n=8).*

	Insatisfait	Peu satisfait	Satisfait	Très satisfait
Evocation en arrière-plan / absence de diffusion des résultats sur la MEO	0	2 (25%)	1 (12.5%)	0
Importance donnée aux résultats sur la MEO dans la diffusion	0	0	4 (50%)	1 (12.5%)



*Figure 15. Effectif de réponse positive des expérimentateurs sur la rencontre de la difficulté pratique, pour chaque frein interne. Le pourcentage de modalités d'utilisation pour lesquelles chaque frein a été rencontré est donné au dessus des barres du graphe. (n=46)*

Le Tableau 6 est le tableau de contingence support de l'analyse. La première colonne montre qu'aucun cas pour lequel la satisfaction vis-à-vis de la fonction ne dépend pas de la modalité d'utilisation des plantes de services n'est jugé insatisfaisant. Malgré la prudence requise par le seuil de signification considéré, une tendance semble se dessiner : lorsque l'expérimentateur juge la réalisation de la fonction visée satisfaisante ou très satisfaisante, les résultats concernant la mise en œuvre pratique de la stratégie d'utilisation de plantes de services sont plus souvent valorisés et diffusés. Au contraire, si la réalisation de la fonction ciblée est peu satisfaisante, alors l'expérimentateur aura tendance à moins diffuser les acquis concernant la mise en œuvre pratique.

### C. Types de freins rencontrés en lien avec le contexte d'utilisation et leviers imaginés

Les expérimentateurs acquièrent donc des connaissances opérationnelles, qu'ils peuvent restituer, bien que ces expériences pratiques restent parfois invisibles dans la valorisation des résultats de l'expérimentation. Ces connaissances concernent notamment les difficultés pratiques spécifiques à l'utilisation de plantes de services en conditions proches des conditions de production. L'hypothèse 3 porte sur la nature des freins rencontrés, internes et externes au système, et la caractérisation de situations dans lesquelles des associations de freins seraient préférentiellement rencontrées.

#### 1. Description des freins pratiques rencontrés

Les freins rencontrés ont été questionnés à l'échelle de la modalité d'utilisation des plantes de services. La fréquence de citation des différents freins internes suite à la présentation de la liste prédéfinie (Tableau 5), par modalité d'utilisation des plantes de services, est répertoriée dans la Figure 15. La mention d'une augmentation du temps de travail due à l'insertion de plantes de services a été prise en compte dans le frein « Difficultés liées à l'organisation du travail » (variable *FreinsInt\_orga*). Les paragraphes qui suivent détailleront brièvement les différentes composantes de chacun des freins, par ordre d'importance dans l'échantillon enquêté.

Le frein interne le plus rencontré est lié à **l'implantation et au développement des plantes de services**. En effet, la difficulté est survenue pour 16 des 46 modalités d'utilisation, et elle est principalement due à des apports en eau trop faibles ou trop importants vis-à-vis des besoins de la plante de service à l'implantation. Cela peut, en particulier, survenir lorsque la plante de services utilise la ressource du même réseau d'irrigation que la culture. La difficulté a aussi été rencontrée à cause du développement d'adventices compétitrices pour l'eau ou les ressources. L'achillée ou certaines variétés de romarins se sont par exemple montrés faiblement compétitrices vis-à-vis de ces adventices à l'implantation. La culture principale elle-même peut concurrencer la plante de services, vis-à-vis de l'accès à la lumière. L'ombrage par la culture principale a en effet été déploré dans deux modalités d'utilisation enquêtées. Il s'agit d'un mélange variétal de romarin placé au sein d'un rang de pommiers, sous les arbres, et d'alyse maritime positionnée dans une culture à fort développement foliaire (culture d'aubergines).

Les difficultés liées à **l'organisation du travail** se placent en deuxième position des freins les plus rencontrés. Elles sont principalement dues à une augmentation du temps de travail global nécessaire pour la conduite du système. La plante de services est une « culture supplémentaire », qui nécessite de fait des opérations supplémentaires (préparation du sol, préparation des plants le cas échéant, repiquage...). Ces opérations peuvent être requises en parallèle d'un pic d'activité sur la culture principale. De plus, lorsque la réalisation de la fonction visée est conditionnée par l'obtention d'un certain stade de développement de la plante à une période identifiée, la stratégie nécessite une plus grande anticipation dans l'approvisionnement en semences, la préparation des plants...

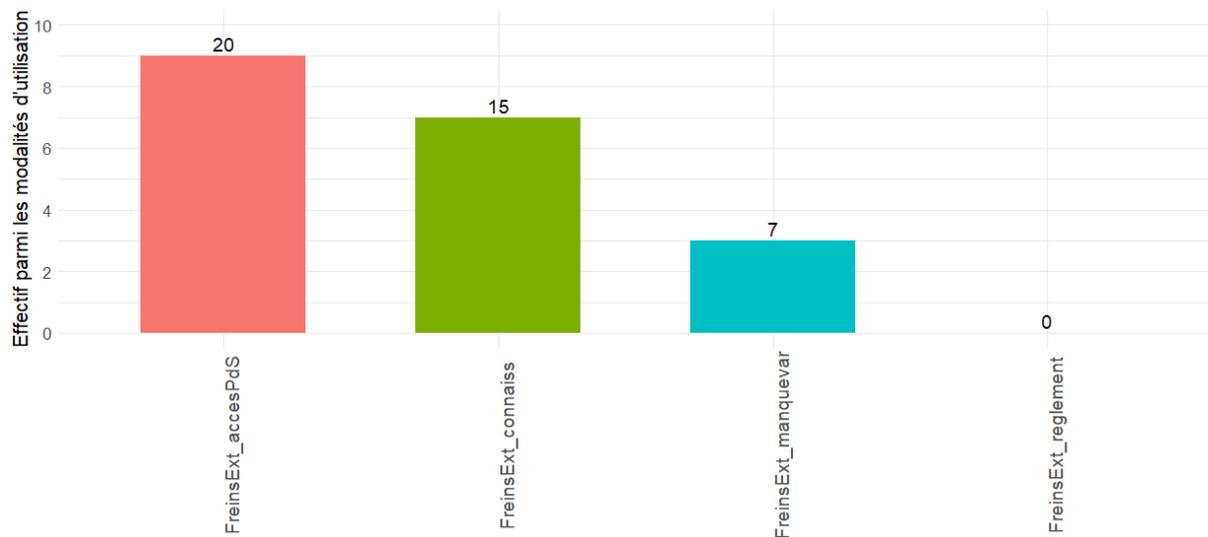


Figure 16. Effectif de réponse positive des expérimentateurs sur la rencontre de la difficulté pratique, pour chaque frein externe. Le pourcentage de modalités d'utilisation pour lesquelles chaque frein a été rencontré est donné au dessus des barres du graphe. (n=46)

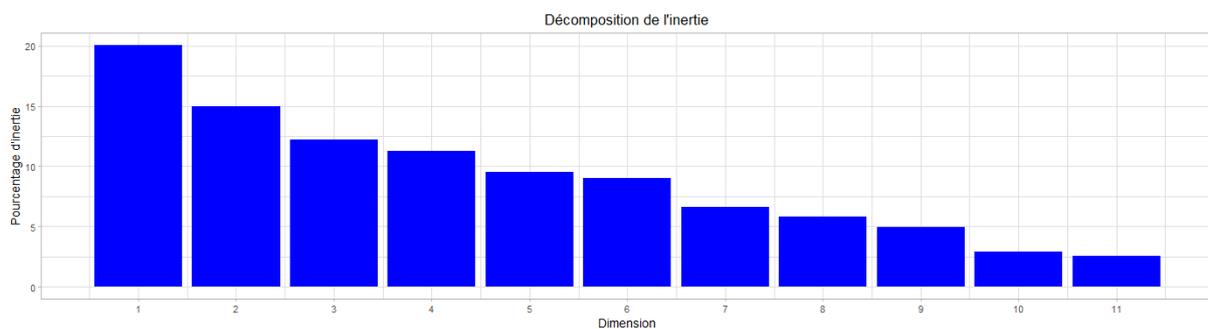


Figure 17. Décomposition de l'inertie sur les différentes dimensions de l'ACM

Tableau 7. Caractéristiques des différentes modalités de réponse des variables construisant le plus les dimensions 1 et 2 de l'ACM

Nom de la variable et sa modalité de réponse	Contribution (%)	Qualité de représentation (cos <sup>2</sup> )	Signe de la coordonnée sur l'axe *
<b>Dimension 1</b>			
FreinsInt_sanitaire_Oui	15.7	0.43	> 0
FreinsInt_cultPdS_Oui	12.4	0.37	> 0
FreinsInt_materiel_Oui	11.3	0.29	< 0
FreinsInt_machines_Oui	8.2	0.21	> 0
<b>Dimension 2</b>			
FreinsExt_accesPdS_Oui	26.6	0.54	> 0
FreinsInt_genePratiques_Oui	15.5	0.32	> 0
FreinsInt_sanitaire_Oui	11.6	0.24	> 0
FreinsInt_cultPdS_Oui	8.4	0.19	< 0

\* Toutes les modalités de réponses présentées dans le tableau ont une coordonnée significativement différente de 0, vérifiée grâce à la  $|valeur\ test| > 2$ .

La plante de services apporte donc des contraintes supplémentaires, à intégrer dans l'organisation générale du travail pour le système de culture.

La **gestion des bioagresseurs incertaine ou irrégulière** du fait de l'utilisation de plantes de services est aussi un frein mis en avant par les expérimentateurs. Il s'agit là de modalités d'utilisation pour lesquelles la plante de services ne permet pas de gérer suffisamment efficacement les bioagresseurs. Par exemple, cette difficulté a été éprouvée lors de l'utilisation de crotalaires en rotation avant une culture de tomates, pour lutter contre le flétrissement bactérien par effet biocide. Les crotalaires sont cultivées pendant trois mois sur la parcelle, sans que l'efficacité ne soit garantie.

Ensuite, une **augmentation dans la complexité du pilotage global** du système est repérée pour 15 modalités d'utilisation. La plante de services est une culture supplémentaire dans le système, dont le pilotage peut requérir une expertise particulière, impactant le pilotage de l'ensemble du système. L'idée d'une surveillance accrue des composantes du système, et en particulier de la plante de services, a aussi été avancée pour une modalité d'utilisation.

Viennent ensuite des difficultés dans la **conduite de la plante de services**, et en particulier de l'irrigation et de la fertilisation pour répondre à ses besoins. L'entretien des plantes de services a aussi été cité pour une modalité d'utilisation, qui nécessitait un renouvellement des plants en cours d'expérimentation.

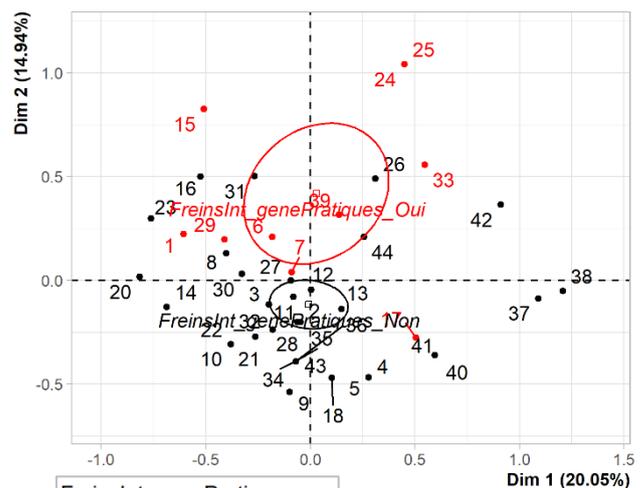
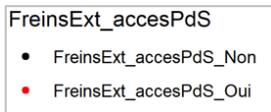
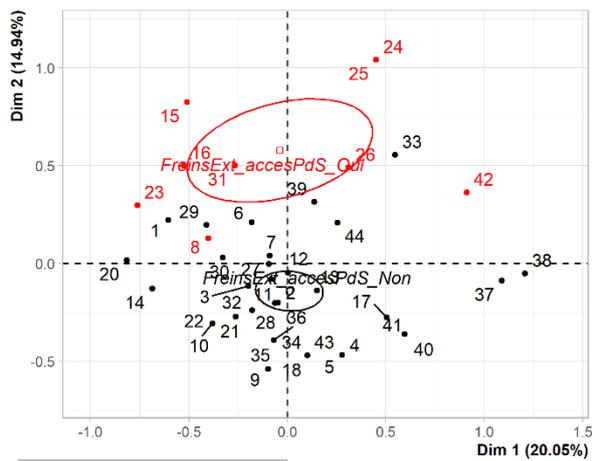
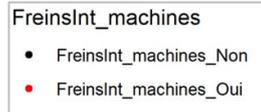
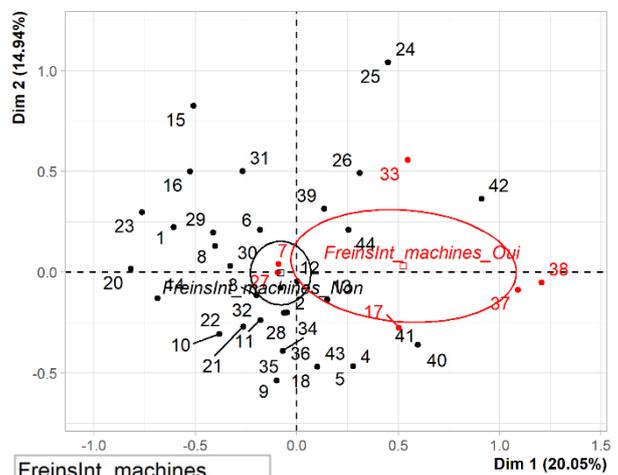
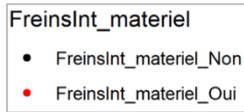
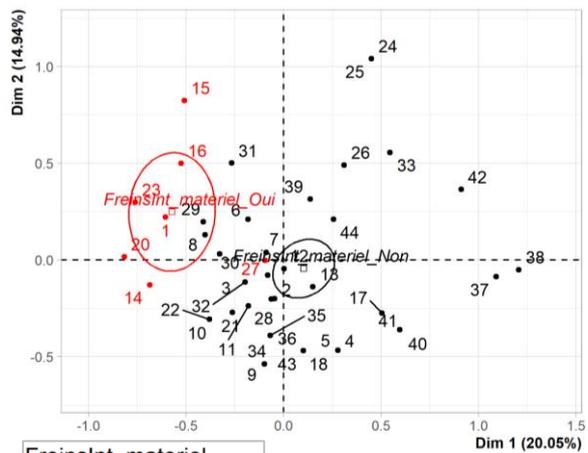
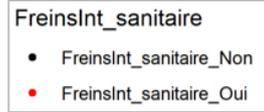
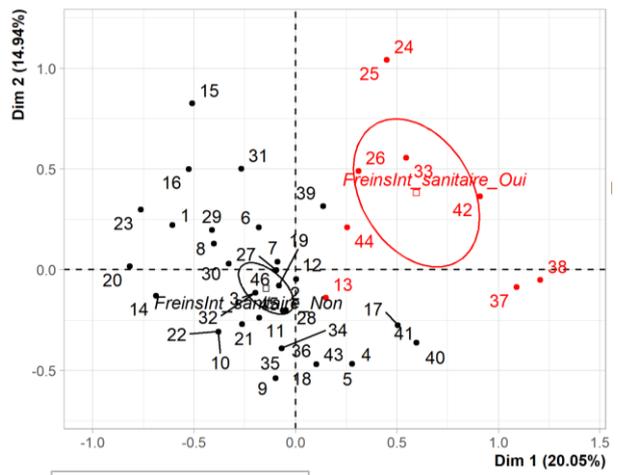
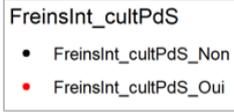
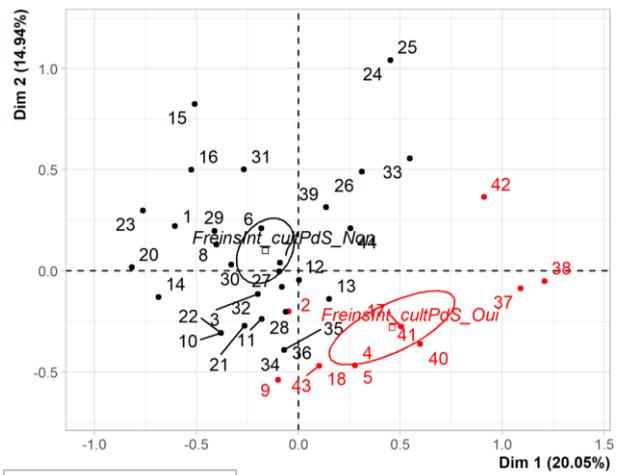
Une **gêne à la réalisation d'opérations sur la culture principale** (gêne pour la plantation de la culture, pour la réalisation de certains traitements, la récolte...) a été éprouvée pour 10 modalités d'utilisation, et un **risque sanitaire** est préoccupant pour 9 modalités d'utilisation enquêtées. Ce frein fait référence à la constitution d'un environnement favorable par la présence de la plante de services, pour des bioagresseurs de la culture potentiellement problématiques.

Les freins liés à un **surcout**, un **manque de matériel agricole adapté** à la culture de la plante de services ou à son utilisation dans le système et une **gêne pour le passage de machines**, ont été rencontrés pour moins de 15% des modalités d'utilisation.

Pour finir, des freins apparaissent comme minoritaires dans l'échantillon des modalités enquêtées : des performances agronomiques plus variables liées à la présence de la plante de services, une rentabilité plus faible du système, une augmentation de la pénibilité du travail, et la problématique de gestion de bioagresseurs installés sur la plante de service. Ce dernier frein a uniquement été rencontré dans le cadre de modalités d'utilisation de plantes pièges.

D'autres freins, non présents dans la liste prédéfinie, ont également été cités : en particulier la gestion de l'enherbement a été problématique dans trois modalités d'utilisation de trois cas enquêtés différents.

Des freins externes au système ont aussi pu être éprouvés par les expérimentateurs (Figure 16). Globalement, les freins externes proposés dans la liste prédéfinie ont moins fréquemment été éprouvés que les freins internes. Le frein externe le plus rencontré porte sur **l'accès aux semences ou plants des plantes de services**. Il concerne uniquement 9 modalités d'utilisation sur 46. Les expérimentateurs ont également relevé un **manque de connaissances ou des connaissances peu accessibles** pour 7 modalités d'utilisation de plantes de services, ce qui a pu représenter une difficulté pour la mise en œuvre pratique du système. Pour 3 modalités d'utilisation, un **manque de disponibilité de variétés** adaptées au contexte local est déploré. Enfin, aucun expérimentateur n'a considéré que des contraintes réglementaires aient pu être un frein à la mise en œuvre du système. Certaines contraintes ont cependant été évoquées, tel que l'approvisionnement en semences de plantes de services labélisées AB pour les expérimentations menées selon les principes de l'agriculture biologique. La contrainte de l'interdiction de traitements en présence d'abeilles a aussi été évoquée, en particulier lorsque le mode d'action visé par l'utilisation de plantes de services est l'attraction d'insectes auxiliaires. Malgré cela, ces considérations n'ont pas été jugées particulièrement contraignantes en contexte d'expérimentation.



*Figure 18. Représentation des individus dans le premier plan de l'ACM, colorés en fonction de leur modalité de réponse aux freins qui contribuent le plus à la construction des axes. Représentation des modalités au barycentre des individus constituant ces groupes, et de leurs ellipses de confiance.*

## *2. Freins rencontrés en lien avec des situations d'usage des plantes de services*

Des profils de freins existent-ils, rencontrés préférentiellement selon certaines caractéristiques du système de culture testé ? L'analyse des correspondances multiples est réalisée pour tester cela. L'individu statistique est la modalité d'utilisation de la ou des plante(s) de services.

L'inertie du premier plan est de 34.99% (Figure 17, en face de la page 17). Cette valeur est relativement satisfaisante compte tenu de la complexité des profils de freins, avec 11 variables actives, et une variabilité importante au sein des 46 individus (modalités d'utilisation des plantes de services), concernant le type de production, le climat, le type de plantes de services, le type de bioagresseurs ciblé etc.

Les quatre modalités de réponse aux variables qui contribuent le plus à la construction de **la dimension 1** sont : FreinsInt\_sanitaire\_Oui (15.7%), FreinsInt\_cultPdS\_Oui (12.4%), FreinsInt\_materiel\_Oui (11.3%) et FreinsInt\_machines\_Oui (8.2%) (Tableau 7, en face de la page 17). Les ellipses de confiance des deux modalités de réponse à FreinsInt\_machines se chevauchent cependant partiellement dans le graphe Figure 18, la distinction entre les réponses « Oui » et « Non » est donc moins nette que pour les autres variables.

Concernant la **dimension 2**, les modalités de réponse aux variables FreinsExt\_accesPdS\_Oui (26.6%), FreinsInt\_genePratiques\_Oui (15.5%), FreinsInt\_sanitaire\_Oui (11.6%) et FreinsInt\_cultPdS\_Oui (8.4%) contribuent le plus à la construction de l'axe (Tableau 7).

Ainsi, le premier plan de l'ACM discrimine les individus à gauche de l'axe, pour lesquels le manque de matériel agricole adapté a été déploré, des individus à droite de l'axe, pour qui la gêne dans le passage de machines représente une difficulté pratique. Les individus avec une coordonnée positive sur l'axe 2 sont soumis à des freins liés à un accès difficile aux semences ou plants des plantes de services, à la gêne dans la réalisation d'opérations sur la culture principale. Enfin, les individus avec une coordonnée positive sur l'axe 1 et négative sur l'axe 2 sont caractérisés par des difficultés dans la conduite de la culture de la plante de services. Les individus avec des coordonnées positives sur les deux axes, ont déploré un risque sanitaire du à l'utilisation de plantes de services (Figure 19 A.) en face de la page 19).

Sur la Figure 18 les barycentres des individus qui ont la même modalité de réponse pour chacun de ces freins sont représentés avec leur ellipse de confiance. Pour chaque variable, les barycentres des groupes d'individus ayant répondu « Non » pour les différents freins sont plus proches de l'origine que les barycentres des groupes d'individus ayant répondu « Oui ». Ainsi, pour chaque frein, il y a plus d'individus qui n'ont pas été confrontés aux difficultés étudiées ici que d'individus qui les ont rencontrés. Cela est cohérent avec les Figure 15 et Figure 16. **L'ACM permet donc de mettre en lumière des profils de freins particuliers, atypiques dans l'échantillon.**

Les axes étant caractérisés, l'étude s'oriente désormais sur les variables supplémentaires, c'est-à-dire les variables de caractérisation des individus, pour **voir si des profils de freins particuliers dépendent de ces caractéristiques du système et/ou de la modalité d'utilisation.**

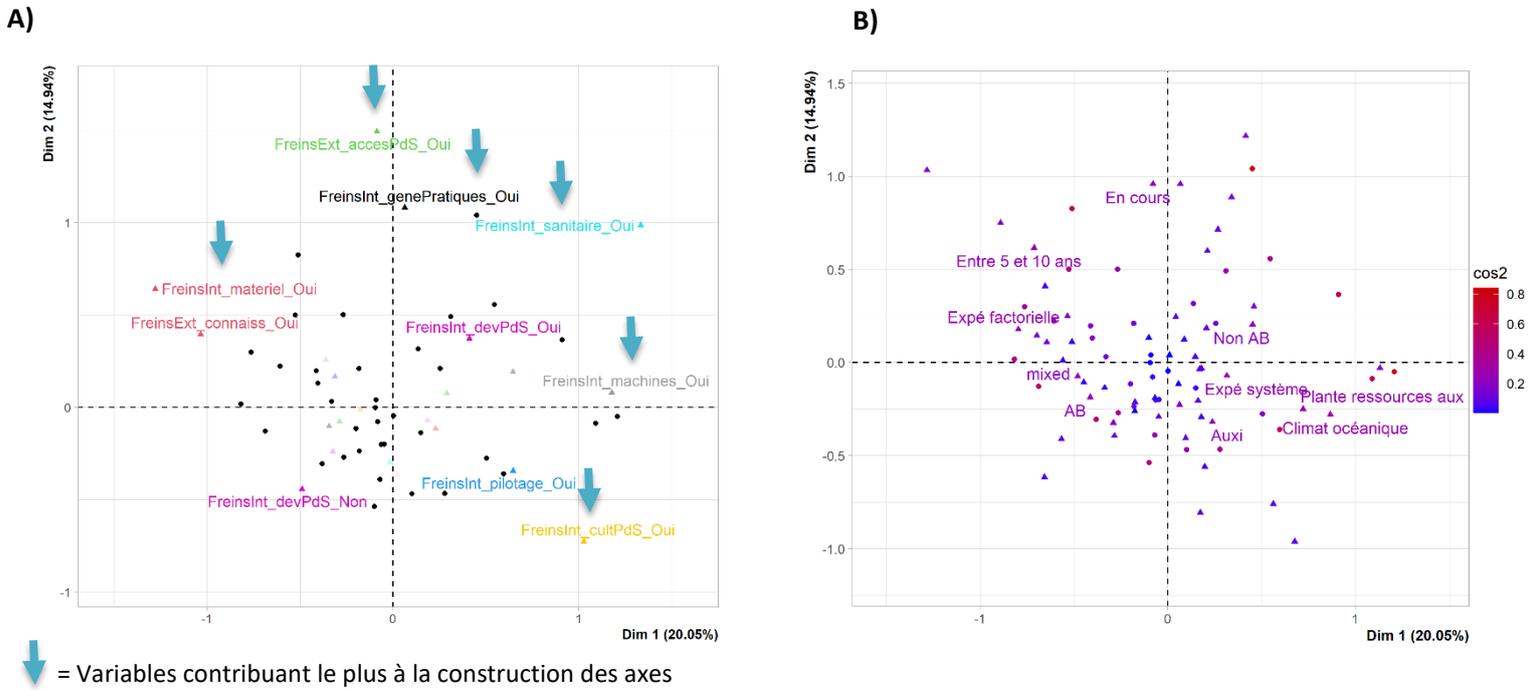


Figure 19. Graphe des individus de l'ACM. Les points sont les individus. A). Représentation des 10 variables actives contribuant le plus à la construction du premier plan. B). Représentation des variables supplémentaires ayant les meilleures qualités de représentation, dans le graphe des individus de l'ACM

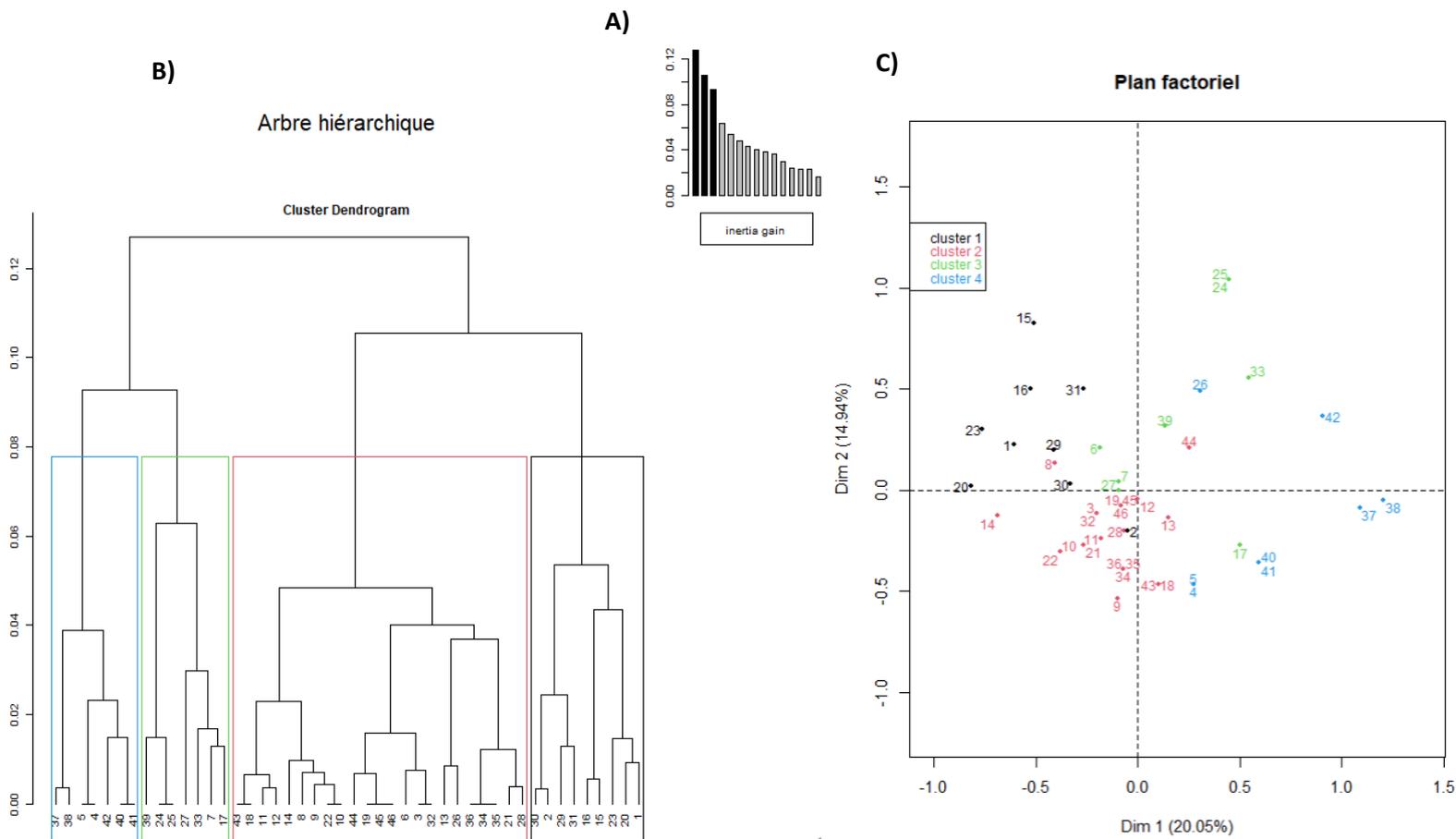


Figure 20. A). Gain d'inertie entre les différents niveaux de partition pour la classification ascendante hiérarchique B). Représentation de l'arbre hiérarchique issue de la classification ascendante hiérarchique C). Représentation des quatre classes d'individus dans le premier plan factoriel

Les variables considérées sont celles ayant une qualité de représentation ( $\cos^2$ ) supérieure à 0.2, et une valeur test supérieure à 2 ou inférieure à -2. Les modalités des variables supplémentaires sont représentées au pseudo-barycentre des individus possédant cette modalité de réponse sur le graph des individus (Figure 19 B.).

La gêne pour le passage de machines dans le système (tracteurs...) et la difficulté liée à la conduite de la culture des plantes de services ont été des freins pour les modalités d'utilisation avec des plantes ressources pour les auxiliaires, en climat océanique, détectés en expérimentation de type système.

Les modalités d'utilisation des plantes de service en système conventionnel ont particulièrement relevé la gêne dans le passage de machines, ainsi que dans la réalisation d'opérations sur la culture principale, et la présence d'un risque sanitaire pour la culture principale du à la présence de plantes de services. A l'opposé, les expérimentateurs travaillant sur des cultures conduites selon les principes de l'agriculture biologique n'ont tout particulièrement pas exprimé de difficulté concernant un risque sanitaire pour la culture principale. De même pour les modalités d'utilisation de plantes de services mélangées dans la culture (agencement « mixed »). La coordonnée négative sur la dimension 1 de ces deux groupes d'individus indique qu'ils étaient potentiellement confrontés à des freins liés à un manque de matériel agricole adapté, mais la plante de services n'y gênait pas concernant le passage de machines.

Les modalités d'utilisation enquêtées dans le cadre de projet en cours de réalisation, testées en expérimentation factorielle par des expérimentateurs ayant entre 5 et 10 ans d'expérience ont des coordonnées positives sur la dimension 2 et négatives sur la dimension 1. Elles sont particulièrement concernées par des difficultés d'accès aux semences et plants des plantes de services, ainsi qu'à la gêne dans la réalisation d'opérations sur la culture principale, et à un manque de matériel agricole adapté. Ces modalités d'utilisation n'ont pas posé de difficultés concernant la conduite de la culture de la plante de services.

Des profils de freins se distinguent donc, mais ne sont pas liés aux caractéristiques du système cité dans l'hypothèse 3 : caractère pérenne ou annuel de la culture, ouverture ou fermeture du système de culture, bioagresseur ciblé et mode d'action visé par l'utilisation de la plante de services pour la réalisation d'une fonction. Ces éléments de caractérisation n'impliquent pas la confrontation à des freins particuliers, en expérimentation en conditions proches des conditions de production.

Pour approfondir la caractérisation de groupes de modalités d'utilisation en fonction de profils de freins, une classification ascendante hiérarchique est réalisée. L'individu statistique (aussi simplement appelé individu par la suite) est toujours une modalité d'utilisation de plantes de services. Une partition des individus en quatre classes est choisie car la perte d'inertie est importante entre une partition entre trois et quatre classes, et faible entre quatre et cinq classes (Figure 20 A). L'arbre hiérarchique (Figure 20 B.) montre que les classes 1 et 2 (noir et rouge) sont plus proches entre elles que des classes 3 et 4 (en vert et bleu). Les classes 3 et 4 partagent également une proximité dans les modalités de réponse les caractérisant.

**La classe 1** est tout d'abord caractérisée par une surreprésentation de la modalité de réponse « Oui » concernant un manque de connaissances accessibles pour les expérimentateurs. 77% des individus de la classe 1 ont fait l'objet de cette difficulté, et 100% des individus ayant donné lieu à l'expression de ce frein se trouvent dans cette classe.

*Tableau 8. Description des classes par le nombre d'individus statistiques les constituant et par leur parangon*

Classe	Nombre d'individus	Parangon
Classe 1	9	<p>Modalité « Moutarde_Strip » enquêtée dans le cas d'expérimentations conduites par le GRAB.</p> <p>Les essais s'inscrivent dans le projet « Développement et Intégration de Méthodes innovantes pour la maîtrise des punaises en cultures légumières (IMPULsE) », mené par le CTIFL de 2017 à 2020 et financé par l'OFB et le Casdar.</p> <p>La modalité correspond à l'utilisation de moutarde brune disposée, entre autres espèces testées, sur deux planches de part et d'autre d'une parcelle de choux cabus, en remplacement de planches de culture. Elle est utilisée comme plante piège pour lutter contre des punaises phytophages.</p>
Classe 2	23	<p>Modalité « Ballote – Mixed » enquêtée dans le cadre d'essais menés au CTIFL (centre de Balandran) sur culture de tomates en hors-sol. Les expérimentations s'inscrivent dans le projet « Améliorer l'utilisation des punaises prédatrices et concevoir des pratiques agroécologiques pour le contrôle des ravageurs aériens en cultures maraichères (ACOR) », mené par le CTIFL de 2019 à 2022 et financé par le Casdar. La ballote hirsute est utilisée comme plante relais au sein de la culture.</p>
Classe 3	7	<p>Modalité « BléFév_Mixed », enquêtée au CTIFL (centre de Carquefou) et s'inscrivant dans le cadre du projet « Gestion agroécologique du puceron <i>Aphis gossypii</i> et du thrips <i>Thrips tabaci</i> en cultures de melon ou de poireau » (AGATH) porté par le CTIFL de 2013 à 2015 et financé par le Casdar. La modalité d'utilisation correspond à des patchs de blé et de féverole au sein d'une culture de poireaux, comme plantes banques pour les ennemis naturels de thrips.</p>
Classe 4	7	<p>Modalité « Tan_Achi_Boundary », enquêtée au CTIFL (centre de Carquefou) et s'inscrivant dans les essais menés pour le projet « Contrôle des ravageurs des cultures légumières à l'aide de plantes de service » (REGULEG), porté par le CTIFL de 2018 à 2020 et financé par l'OFB. Des patchs de tanaïs et achillée millefeuille sont placés en bordure d'une parcelle de laitue de plein champ, comme plantes ressources pour les ennemis naturels de pucerons.</p>

Un manque de matériel agricole adapté est déploré pour 55.6% des modalités de la classe. 55.6% des modalités d'utilisation de la classe ont été enquêtées auprès d'expérimentateurs ayant entre 5 et 10 ans d'expérience en expérimentation. A l'opposé, les modalités enquêtées auprès d'expérimentateur avec plus de 10 ans d'expérience sont sous-représentées dans cette classe (un tiers des modalités de la classe concerné, contre 65% de la population globale).

Le parangon de la classe 1 est l'individu le plus proche du barycentre de la classe (distance de 0.74). Il est décrit dans le Tableau 8. Si l'expérimentateur enquêté pour ce parangon avait plus de 10 ans d'expérience en expérimentation, les freins caractéristiques de la classe ont été mis en avant : peu de données bibliographiques étaient disponibles au début de l'expérimentation (2017) sur les plantes de services en maraîchage. De plus, la gestion des punaises sur les plantes pièges a été difficile. Un matériel adapté à la gestion du bioagresseur serait intéressant, plus performant que l'aspirateur à feuille utilisé lors de l'essai.

**La classe 2** est caractérisée par la sur-représentation de freins non rencontrés pour les individus statistiques qui la composent. En effet, 100% des individus de cette classe possèdent la modalité de réponse « Non » pour les variables `FreinsInt_genePratiques`, `FreinsExt_connaiss`, `FreinsInt_machines`, et 66% des individus de la classe ont la modalité `FreinsInt_devPdS_Non`. Des difficultés liées à l'accessibilité des plants et semences des plantes de services n'est également pas à déplorer pour 95% des individus de la classe. 71% des individus ont été enquêtés dans le cadre d'essais en climat méditerranéen, et aucune de ces modalités d'utilisation des plantes de services n'était agencé en bordure (valeur test = -2.34). L'absence de cet agencement est cohérente avec le type de freins internes du profil, notamment porté sur une gêne vis-à-vis de la culture principale. Les individus appartenant à cette classe sont donc caractérisés par l'absence de certains freins, internes et externes.

Le parangon de la classe 2 (Tableau 8) a une distance au barycentre de 0.40. Cet individu était peu contraignant en termes de mise en œuvre pratique. Une difficulté pratique avait cependant été notifiée : la plante étant sensible à la compétition pour la lumière, son port s'étale et peut générer une « gêne modérée » pour la réalisation d'observations sur le rang. Cette difficulté n'étant pas désignée comme un réel frein à la mise en œuvre de la stratégie, il a été spécifié dans une case « autre » qui n'est pas prise en compte par l'ACM et la classification ascendante hiérarchique.

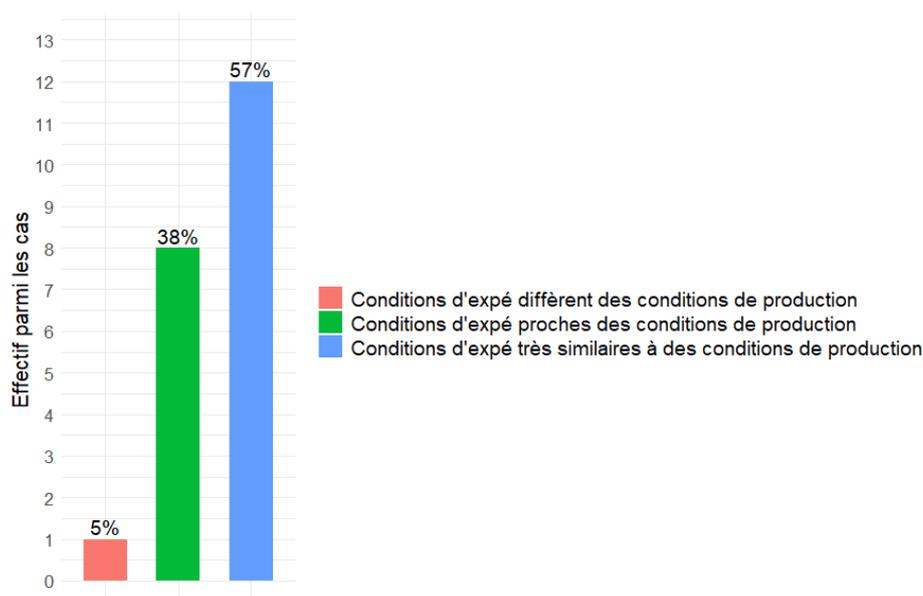
Dans la **classe 3**, une sur-représentation des modalités de réponse `FreinsInt_genePratiques Oui` et `FreinsInt_machines Oui` est observée. Ces deux freins semblent donc particulièrement liés. 75% des individus pour lesquels la communauté microbienne du sol est ciblée par l'utilisation des plantes de services se trouve dans cette classe. Le parangon de la classe (Tableau 8) est à une distance de 0.67 du barycentre. Si l'utilisation de cette modalité a entraîné la rencontre des freins les plus communs dans l'échantillon, elle se distingue par une gêne dans la réalisation de certaines pratiques, notamment lors de la plantation des poireaux. En effet, l'agencement des plantes de services au sein même des planches de culture obligeait à lever la planteuse à chaque patch et était de fait contraignant.

Enfin, la **classe 4** est caractérisée par la confrontation aux freins suivants : augmentation de la complexité du pilotage global du système, difficulté dans la conduite de la culture des plantes de services, et difficulté dans l'implantation et le développement des plantes de services. 75% des modalités d'utilisation de la classe 4 ont été testées en contexte de maraîchage de plein champ. L'agencement en bordure est particulièrement représenté dans cette classe. L'ensemble des individus de la classe proviennent de cas issus de projets finis.

Les difficultés dans la conduite de la culture de plantes de services faisant généralement référence à un pilotage difficile de l'irrigation, cela est cohérent avec des modalités en bordure qui ne bénéficient pas forcément du réseau d'irrigation de la culture.

*Tableau 9. Quelques exemples de leviers pratiques suggérés par les expérimentateurs vis à vis de différents freins rencontrés*

Frein rencontré	Idées de leviers proposés par les expérimentateurs
Implantation et développement des plantes de services	<p>Pour lutter contre l'enherbement : utiliser la PdS en mélange avec une espèce rapidement couvrante.</p> <p>Tester d'autres variétés de la PdS.</p> <p>Utiliser un réseau d'irrigation spécifique à la PdS (envisageable dans certains cas, « illusoire » pour d'autres), notamment en bordure.</p> <p>Lorsque les besoins en eau sont différents entre culture et PdS mais même réseau d'irrigation : utiliser des goutteurs qu'il est possible de boucher, pour ajuster les apports.</p> <p>Anticipation accrue du semis/de la plantation des PdS.</p> <p>Changement d'agencement spatial : placer la PdS dans la culture pour qu'elle bénéficie d'une irrigation suffisante.</p> <p>Changement d'agencement spatial : placer la PdS en bordure pour éviter la compétition forte pour la lumière et « l'étouffement » de la PdS.</p>
Manque de matériel agricole adapté	<p>« Emprunter » des machines à d'autres types de production (ex : outils de repiquage pour plantes aromatiques).</p> <p>Changer le « design » de l'expérimentation, pour permettre la mécanisation.</p> <p>Pour créer un micro-climat pour les PdS en extérieur : au lieu d'un voile forçage, un mini tunnel recouvrant toute la bordure de PdS, avec uniquement des plantes pérennes dessous.</p>
Gêne dans le passage de machines / la mise en œuvre d'opérations sur la culture principale	<p>Changement d'agencement spatial de la PdS : plutôt qu'une PdS en bordure, la placer dans la culture.</p> <p>Dans la culture, en maraichage plein champ, PdS placée en bande centrale plutôt qu'en patchs répartis sur la surface de la parcelle.</p> <p>En verger, adopter une stratégie d'installation de la PdS en agroforesterie, dans un grand inter-rang, qui pourrait être valorisée.</p>



*Figure 21. Evaluation par les expérimentateurs de la proximité des conditions d'expérimentation à des conditions de production, en termes de conduite de la culture principale (n=21)*

Par ailleurs, en bordure, le travail du sol est parfois difficile (sol tassé, sec, enherbé...) et l'implantation des plantes de services en est rendue compliquée. Concernant le parangon de la classe (Tableau 8), l'irrigation au goutte-à-goutte ne permettait pas de subvenir aux besoins de l'ensemble des plantes du patch, et le développement des plantes de services était gêné par la présence d'adventices (en particulier pour l'achillée millefeuille à l'implantation) et par la présence d'un voile de forçage utilisé pour créer un microclimat au niveau des plantes de services (favorable à la présence d'ennemis naturels).

En conclusion, les expérimentateurs sont confrontés à des freins pratiques non spécifiques à un contexte d'utilisation, et d'autres plus particuliers. Les profils de freins peuvent dépendre du climat mais aussi de l'agencement des plantes de services. C'est notamment le cas pour les modalités en bordure vis-à-vis de la conduite de la culture des plantes de services. Face à ces freins, l'existence de leviers, déjà testés ou envisageables, a été questionnée. En relation avec les freins qui ont amené à ce questionnement, quelques-uns de ces leviers pratiques sont présentés dans le Tableau 9.

## **IV. Discussion**

### **A. Méthodologie mise en œuvre : conformité aux prérequis et homogénéité de traitement entre les individus**

La méthodologie employée, par la réalisation d'enquêtes lors de rencontres avec les expérimentateurs, s'est avérée pertinente vis-à-vis de l'objectif de recueil de connaissances opérationnelles acquises en conditions proches des conditions de production. L'échantillonnage a permis de couvrir une diversité de contextes d'utilisation des plantes de services en cultures horticoles, avec cependant la limite d'une sous-représentation des cultures ornementales (2 cas sur 21), et l'absence de cas enquêtés sur la gestion de maladies aériennes. En effet, aucun expérimentateur avec qui la pré-enquête avait été réalisé, n'avait travaillé sur ce type de bioagresseur. Un chercheur de l'Unité de Pathologie végétale INRAE, contacté sur la question, a confirmé que ce constat n'était a priori pas dû à un biais de l'échantillon des personnes sollicitées, mais plus probablement à une réalité dans le paysage expérimental sur les plantes de services.

La pré-enquête téléphonique a ainsi permis une prise d'information efficace sur l'ensemble des projets auxquels les expérimentateurs participaient, et la plupart des cas ont pu être enquêtés de manière conforme avec ce qui avait été compris à cette étape. Cette pré-enquête ne préserve cependant pas d'un imprévu quant à la conformité des cas avec les prérequis d'échantillonnage. En effet, le second prérequis portait sur la proximité des conditions d'expérimentation aux conditions de production. Cela a été vérifié pendant l'enquête par une note attribuée par l'expérimentateur, sur une échelle à trois niveaux. Si pour la quasi-totalité des cas enquêtés, les niveaux 2 « Conditions d'expérimentation proches de conditions de production avec quelques de divergence » et 3 « Conditions d'expérimentation très proches des conditions de production » sont ceux ayant été désignés par l'expérimentateur, un cas a fait exception (Figure 21). Les plantes de services, dans ce cas, étaient utilisées en verger de pommiers. Or ce verger n'était pas conduit, et les opérations culturales réalisées en production n'étaient pas mises en œuvre. L'enquête a tout de même permis de discuter la mise en œuvre pratique des modalités d'utilisation des plantes de services, d'identifier des freins, des leviers... Les cas pour lesquels la note de 2 a été donnée plutôt que 3, correspondent majoritairement à des systèmes où la conduite de la culture est similaire à ce que ferait un producteur, mais avec une taille de parcelle plus faible.



La définition de l'individu statistique a évolué au cours du stage. En prévision des analyses à réaliser, l'individu statistique était tout d'abord affilié à un cas d'enquête. Or des éléments enquêtés dépendant de la modalité d'utilisation, c'est ce grain qui est finalement retenu pour une partie des analyses. Cela a amené à la construction de deux tableaux de résultats à partir des mêmes enquêtes. La définition donnée à une modalité d'utilisation est alors à interroger. Si le cadre posé par une unité de type de plantes de services et d'agencement a été respecté, une certaine fluidité de la définition s'est imposée entre les cas. Il y a par exemple des modalités avec des plantes pérennes et annuelles mélangées (dans des bandes fleuries). La définition a été modulée en fonction de la structure de l'essai, mais a pu aussi légèrement évoluer avec le temps entre les différentes enquêtes réalisées, au début et à la fin du stage. Globalement, le travail d'enquêteur nécessite une certaine capacité à recentrer la discussion sur l'information souhaitée, à détecter une compréhension inexacte de la question posée, et à gérer les différences d'expression et de point de vue des personnes enquêtées pour s'assurer d'une homogénéité des données entre les cas. Ce sont des compétences qui s'acquièrent au fil des exercices, et un biais peut donc exister entre les premières et les dernières enquêtes réalisées.

Enfin, certaines données recueillies n'ont pas été analysées dans le présent mémoire, car non directement liées aux hypothèses formulées, mais leur étude peut amener d'autres éléments de caractérisation de l'échantillon. C'est le cas des craintes qu'avait l'expérimentateur en amont de la mise en œuvre de l'essai. Utilisant la même liste prédéfinie que les freins rencontrés, cette donnée pourrait permettre d'étudier l'anticipation de certains freins, et donc, potentiellement, des connaissances opérationnelles déjà acquises.

## **B. Discussion sur l'étude des hypothèses**

La volonté de reconcevoir apparaît dans certaines situations mais ne présage pas d'un nombre de frein plus ou moins élevé, ni de plus ou moins de satisfaction. Une volonté de reconception a été exprimée pour seulement trois cas, dans lesquels la plante de service était considérée comme une culture à part entière dans le système. Pour autant, un « changement de logique dans la stratégie de protection » et « la combinaison de méthodes alternatives pour limiter le développement des bioagresseurs » contribuent à la mise en place d'un nouveau système dont « les pratiques mises en œuvre relèvent d'une approche intrinsèquement différente ». Ces éléments amèneraient aussi à une forme de reconception (Laget *et al.* 2015). D'une part, des expérimentateurs cherchent à conserver l'acceptabilité pour des producteurs et donc à limiter des ruptures trop fortes avec l'existant. Au contraire, un autre expérimentateur mettait en avant l'importance de maximiser les chances de réussite de la stratégie en ne « s'interdisant rien », puis d'adapter cette conception en rupture, à des contraintes éventuelles. La variable étudiée est finalement aussi soumise à une perception de l'expérimentateur concernant sa propre volonté à reconcevoir. Par ailleurs, en tendance, les cas faisant l'objet d'une volonté de reconception minimale présentent majoritairement un agencement en mélange avec la culture. Cela peut potentiellement s'expliquer par des contraintes a priori moins fortes, notamment concernant l'irrigation : la plante de services peut bénéficier du réseau de la culture.

La diffusion des connaissances opérationnelles acquises par les expérimentateurs sont dépendantes dans l'échantillon de la satisfaction vis-à-vis de la réalisation de la fonction. L'intérêt pour l'expérimentateur est donc bien en premier lieu de partager les connaissances sur des systèmes qui ont donné satisfaction du point de vue fonctionnel, puis pour certains, d'aborder le sujet de la mise en œuvre. Ce raisonnement a été exprimé par plusieurs expérimentateurs, qui échangent avec les conseillers, techniciens ou producteurs sur la mise en pratique lorsqu'une question est posée à ce sujet, ou à des occasions adaptées comme les visites d'essais.



Enfin, les principaux freins rencontrés sont des freins internes au système. Cela peut être lié au contexte expérimental, où dans la plupart des cas, l'échelle d'étude est la parcelle. De plus, les freins étudiés dans ce mémoire étaient ceux déclarés comme ayant été rencontrés parmi la liste prédéfinie et proposée. Une faible diversité de freins « autres » a cependant été citée, ce qui semble indiquer que la liste permet de documenter de manière relativement complète les difficultés rencontrées. Parmi les freins « autres », la gestion de l'enherbement a été citée pour trois modalités d'utilisation, dont une en Martinique. Les expérimentateurs antillais sont particulièrement vigilants vis-à-vis de cette problématique, très forte en climat tropical. En effet, les critères de choix des modalités d'utilisation des plantes de services étaient questionnés de manière ouverte au cours de l'enquête. Pour 4 cas enquêtés aux Antilles sur 5, ce critère est majeur pour les expérimentateurs. Ces 4 cas comportent des modalités d'utilisation de plantes comme le canavalia, les crotalaires ou encore une haie basse composée. Ces plantes étaient testées pour leurs capacités à réaliser plusieurs fonctions et à rendre plusieurs services écosystémiques. Une limite du travail présenté peut porter sur un niveau d'étude relativement précis des connaissances opérationnelles produites, pour une modalité d'utilisation et une fonction donnée. Il a été montré que ce grain de caractérisation était opérant pour répondre aux objectifs de l'étude, mais il semble aussi nécessaire de ne pas totalement effacer artificiellement la complexité du système dans son ensemble.

## V. Conclusion

Les enquêtes auprès d'expérimentateurs, après lecture documentaire, ont permis de caractériser un ensemble de systèmes conçus pour tester l'utilisation de plantes de services dans des situations d'usage variées. L'insertion d'une plante de service dans le système impliquerait une adaptation du système technique, mais les expérimentateurs enquêtés témoignent pour la plupart d'une volonté modérée de reconception, préférant diffuser des résultats a priori plus facilement appréciables et appropriables par des producteurs. Cette volonté est par ailleurs liée au choix du type de plante et à l'agencement testé. L'expérimentation en conditions proches de la production amène à l'acquisition de connaissances opérationnelles, dont deux types ont principalement été mis en lumière. Il s'agit des difficultés pratiques rencontrées et des leviers qui existent, ou qui sont à tester, pour augmenter la satisfaction vis-à-vis de la mise en œuvre de la stratégie. Ces connaissances demeurent cependant invisibles dans la valorisation des résultats pour presque la moitié des cas enquêtés, au profit des résultats sur la réalisation de la fonction. En expérimentation, ce sont des freins internes qui ont majoritairement été rencontrés, et des profils de freins peuvent être distingués selon certaines modalités climatiques, d'agencement, ou si le système est mené selon les principes de l'agriculture biologique par exemple. Ils diffèrent donc à la fois selon des caractéristiques définies à l'échelle du cas et d'autres à l'échelle de la modalité d'utilisation. Le concept de modalité d'utilisation tel que défini dans ce mémoire est donc intéressant et opérant pour questionner des connaissances opérationnelles produites par l'expérimentation avec des plantes de services.

De nombreuses informations complémentaires ont par ailleurs été collectées, sur les craintes avant la mise en expérimentation, les processus biologiques ciblés, le devenir de la plante après l'expérimentation, les autres fonctions réalisées, l'impact éventuel sur la culture principale... Elles n'ont pu être traitées dans le cadre de ce mémoire, mais seraient intéressantes à étudier, en lien avec les connaissances opérationnelles ou pour approfondir la caractérisation de situations d'usage de plantes de services. De plus, les fiches synthèses brutes produites par cas enquêté constituent un recueil d'expériences pratiques qu'il serait intéressant de synthétiser. Un corpus de fiches informatives pourra donc être créé, détaillant les connaissances transmises par les expérimentateurs sur différentes modalités d'utilisation des plantes de services, selon des critères de satisfaction, de contraintes pratiques...



## Bibliographie

- AGRESTE, 2020. Pratiques phytosanitaires en production légumière en 2018 - IFT et nombre de traitements. . septembre 2020. No. 7, p. 16.
- ASTREDHOR, 2018. *Méthodes alternatives en protection des plantes*. Paris: ASTREDHOR, Institut technique de l'horticulture. ISBN 978-2-912664-30-3.
- AUBERTOT, J.N, BARBIER, J.M, CARPENTIER, A., GRIL, L., GUICHARD, L., LUCAS, P., SAVARY, S., SAVINI, I. et VOLTZ, M. (éd.), 2005. *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation de pesticides et en limiter les impacts environnementaux : synthèse du rapport d'expertise scientifique collective*. Paris; Antony: INRA et Cemagref. ISBN 978-2-7380-1221-0.
- BROOKER, R-W., BENNETT, A., CONG, W-F., DANIELL, T-J., GEORGE, T-S., HALLETT, P-D., HAWES, C., IANNETTA, P-P. M., JONES, H-G., KARLEY, A-J., LI, L., MCKENZIE, B-M., PAKEMAN, R-J., PATERSON, E., SCHÖB, C., SHEN, J., SQUIRE, G., WATSON, C. A., ZHANG, C., ZHANG, F., ZHANG, J. et WHITE, P-J., 2015. Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytologist*. 2015. Vol. 206, no. 1, p. 107-117. DOI 10.1111/nph.13132.
- CAN DEPHY, 2018. *Le réseau DEPHY FERME : 3000 agriculteurs engagés dans la réduction des phytos*. Cellule d'Animation Nationale DEPHY Ecophyto.
- CRETIN, L. et TRIQUENOT, A., 2018. Apports de produits phytopharmaceutiques en arboriculture : nombre de traitements et indicateur de fréquence de traitements - Campagnes agricoles 2015 et 2012. *AGRESTE - Les Dossiers*. août 2018. No. 43, p. 30.
- DEGUINE, J-P., AUBERTOT, J-N., FLOR, R-J., LESCOURRET, F., WYCKHUYS, K. A.G. et RATNADASS, A., 2021. Integrated pest management: good intentions, hard realities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. juin 2021. Vol. 41, no. 3, p. 38. DOI 10.1007/s13593-021-00689-w.
- DJIAN-CAPORALINO, C., CARAVEL, C., RHINO, B., LAVOIR, A-V., VILLENEUVE, F., FOURRET, S., GAUTIER, H., CHAVE, M., CORTESERO, A-M., NICOT, P., ROMEO, M., DELPORTE, M et BERTHELOT, C., 2020. Agrosystèmes légumiers : les plantes de service contre les bioagresseurs. *INFOS CTIFL*. novembre 2020. No. Hors-série, p. 24.
- EXPERTISE SCIENTIFIQUE COLLECTIVE, Inrae, Cemagref, 2005. *Pesticides, agriculture et environnement - Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux* [en ligne]. Editions Quæ. [Consulté le 11 mai 2021]. ISBN 978-2-7592-0935-4. Consulté à l'adresse: <http://www.cairn.info/pesticides-agriculture-et-environnement--9782759209354.htm>
- GABA, S., LESCOURRET, F., BOUDSOCQ, S., ENJALBERT, J., HINSINGER, P., JOURNET, E-P., NAVAS, M-L., WERY, J., LOUARN, G., MALÉZIEUX, E., PELZER, E., PRUDENT, M. et OZIER-LAFONTAINE, H., 2015. Multiple cropping systems as drivers for providing multiple ecosystem services: from concepts to design. *Agronomy for Sustainable Development*. 1 avril 2015. Vol. 35, no. 2, p. 607-623. DOI 10.1007/s13593-014-0272-z.
- GALICHER, A., TROTTIN, Y., VILLENEUVE, F., DJIAN-CAPORALINO, C., NICOT, P. et JEANNEQUIN, B., 2017. Mieux connaître les couples plante/bioagresseur pour une performance écologique et économique des systèmes légumiers. *INFOS CTIFL* [en ligne]. 2017. [Consulté le 26 mai 2021]. Consulté à l'adresse: [https://www.ctifl.fr/ecophytopic/infos\\_ctifl/infos328/328p30-37.pdf](https://www.ctifl.fr/ecophytopic/infos_ctifl/infos328/328p30-37.pdf)
- GEVES, 2020. Les plantes de services. [en ligne]. 2020. [Consulté le 22 février 2021]. Consulté à l'adresse: <https://www.geves.fr/expertises-varietes-semences/plantes-de-services/quest-quune-plante-de-service/>
- HAINES-YOUNG, R. et POTSCHIN, M., 2010. The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. In: RAFFAELLI, David G. et FRID, Christopher L. J. (éd.), *Ecosystem Ecology* [en ligne]. Cambridge: Cambridge University Press. p. 110-139. [Consulté le 10 mars 2021]. ISBN 978-0-511-75045-8. Consulté à l'adresse: [https://www.cambridge.org/core/product/identifiant/CBO9780511750458A013/type/book\\_part](https://www.cambridge.org/core/product/identifiant/CBO9780511750458A013/type/book_part)
- HAVARD, M., ALAPHILIPPE, A., DEYTIEUX, V., ESTORGUES, V., LABEYRIE, B., LAFOND, D., MEYNARD, J.M., PETIT, M.S, PLÉNET, D., PICAULT, S. et FALOYA, V., 2017. *Guide de l'expérimentateur « système »: concevoir, conduire et valoriser une expérimentation système pour les cultures assolées et pérennes* [en ligne]. GIS PICléG, GIS fruits, Réseau ECOVITI, RMT Systèmes de culture innovants, GIS Relance Agronomique. [Consulté le 10 mars 2021]. Consulté à l'adresse: [https://www.gis-relance-agronomique.fr/content/download/4012/38593/version/1/file/2017\\_Guide%20exp%C3%A9rimentateur%20syst%C3%A8me\\_Havard%20et%20al\\_version%20num%C3%A9rique.pdf](https://www.gis-relance-agronomique.fr/content/download/4012/38593/version/1/file/2017_Guide%20exp%C3%A9rimentateur%20syst%C3%A8me_Havard%20et%20al_version%20num%C3%A9rique.pdf)



LAGET, E., GUADAGNINI, M., PLÉNET, D., SIMON, S., ASSIÉ, G., BILLOTE, B., BORIOLI, P., BOURGOUIN, B., FRATANTUONO, M., GUÉRIN, A., HUCBOURG, B., LEMARQUAND, A., LOQUET, B., MERCADAL, M., VEAUD, C-E., RAMADE, L., RAMES, M-H., RICAUD, V., ROUSSELOU, C., SAGNES, J-L. et ZAVAGLI, F., 2015. *Guide pour la conception de systèmes de production fruitière économes en produits phytopharmaceutiques*. Paris: GIS Fruits et Ministère de l'agriculture.

LAUNAIS, M., BZDRENGA, L., ESTORGUES, V., FALOYA, V., JEANNEQUIN, B., LHEUREUX, S., NIVET, L., SCHERRER, B., SINOIR, N., SZILVASI, S., TAUSSIG, C., TERRENTROY, A., TROTTIN-CAUDAL, Y. et VILLENEUVE, F., 2014. *Guide pratique pour la conception de systèmes de culture légumiers économes en produits phytopharmaceutiques*. Ministère chargé de l'agriculture, Onema, GIS PIClég.

LAURI, P-E., NAVARETTE, M., PARROT, L., SIMON, S., ALAPHILIPPE, A., BOUVIER, J-C., DEGUINE, J-P., FRANK, P., LAMINE, C., LAVIGNE, C., LE BELLEC, F., LE GAL, P-Y., LESSUEUR-JANNOYER, M., MALÉZIEUX, E., MAUGIN, S., MOUSTIER, P., NORMAND, F., OLIVARES, J., PENVERN, S., PLÉNET, D., RATNADASS, A., SIMON, S., TCHAMITCHIAN, M., TEMPLE, L., THOMAS, C., TOUBON, J-F., VALANTIN-MORISON, M. et VIDOGBENA, F., 2014. *Conception de systèmes horticoles innovants: bases biologiques, écologiques et socio-économiques*. Paris: INRA : FP : FormaSciences. ISBN 978-2-7380-1359-0.

LE ROUX, X., BARBAULT, R., BAUDRY, J., BUREL, F. et DOUSSAN, I., 2008. Agriculture et biodiversité : des synergies à valoriser. Rapport. [Contrat]. . 2008. P. 637 p. DOI 10.15454/G90F-6X43.

LECLÈRE, M., LOYCE, C. et JEUFFROY, M-E., 2018. Growing camelina as a second crop in France: A participatory design approach to produce actionable knowledge. *European Journal of Agronomy*. 1 novembre 2018. DOI 10.1016/j.eja.2018.08.006.

MAILLET, G. et LE BARS, J., 2021. Couvert de plantes de services entre deux cycles de canne à sucre pour gérer les adventices - GECO. [en ligne]. 2021. [Consulté le 12 juin 2021]. Consulté à l'adresse: [https://geco.ecophytopic.fr/geco/Concept/Couvert\\_De\\_Plantes\\_De\\_Services\\_Entre\\_Deux\\_Cycles\\_De\\_Canne\\_A\\_Sucre\\_Pour\\_Gerer\\_Les\\_Adventices#titreContributeurs](https://geco.ecophytopic.fr/geco/Concept/Couvert_De_Plantes_De_Services_Entre_Deux_Cycles_De_Canne_A_Sucre_Pour_Gerer_Les_Adventices#titreContributeurs)

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis ; a report of the Millennium Ecosystem Assessment*. Washington, DC: Island Press. ISBN 978-1-59726-040-4.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION, DIRECTION GÉNÉRALE DE L'ALIMENTATION, ASSEMBLÉE PERMANENTE DES CHAMBRES D'AGRICULTURE, INSTITUT TECHNIQUE ET SCIENTIFIQUE DE L'APICULTURE ET DE LA POLLINISATION. et FÉDÉRATION NATIONALE DES ASSOCIATIONS RÉGIONALES DE DÉVELOPPEMENT DE L'APICULTURE, 2018. *Les abeilles, des alliées pour nos cultures : protégeons-les !* [en ligne]. avril 2018. [Consulté le 24 août 2021]. Consulté à l'adresse: [https://ecophytopic.fr/sites/default/files/Note%20nationale\\_abeilles%20et%20pollinisateurs\\_2018\\_v12\\_def.pdf](https://ecophytopic.fr/sites/default/files/Note%20nationale_abeilles%20et%20pollinisateurs_2018_v12_def.pdf)

MOREL, K., REVOYRON, E., CRISTOBAL, M-S. et BARET, P-V., 2020. Innovating within or outside dominant food systems? Different challenges for contrasting crop diversification strategies in Europe. *PLOS ONE*. 12 mars 2020. Vol. 15, no. 3, p. e0229910. DOI 10.1371/journal.pone.0229910.

RATNADASS, A., FERNANDES, P., AVELINO, J. et HABIB, R., 2012. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. janvier 2012. Vol. 32, no. 1, p. 273-303. DOI 10.1007/s13593-011-0022-4.

RATNADASS, A., 2014 Actions via les auxiliaires - Approche systémique de l'intensification écologique pour le contrôle des bio-agresseurs, in: LAURI, P-E., NAVARETTE, M., PARROT, L., SIMON, S., ALAPHILIPPE, A., BOUVIER, J-C., DEGUINE, J-P., FRANK, P., LAMINE, C., LAVIGNE, C., LE BELLEC, F., LE GAL, P-Y., LESSUEUR-JANNOYER, M., MALÉZIEUX, E., MAUGIN, S., MOUSTIER, P., NORMAND, F., OLIVARES, J., PENVERN, S., PLÉNET, D., RATNADASS, A., SIMON, S., TCHAMITCHIAN, M., TEMPLE, L., THOMAS, C., TOUBON, J-F., VALANTIN-MORISON, M. et VIDOGBENA, F., 2014. *Conception de systèmes horticoles innovants: bases biologiques, écologiques et socio-économiques*. Paris: INRA : FP : FormaSciences. ISBN 978-2-7380-1359-0.

SAVARY, S., FICKE, A., AUBERTOT, J-N. et HOLLIER, C., 2012. Crop losses due to diseases and their implications for global food production losses and food security. *Food Security*. décembre 2012. Vol. 4, no. 4, p. 519-537. DOI 10.1007/s12571-012-0200-5.



## **Annexe 1 : Pré-enquête téléphonique : questions posées aux expérimentateurs en lien avec les prérequis d'échantillonnage**

Durée de la pré-enquête : environ 20 minutes

Quelles expérimentations réalisez-vous (ou avez-vous réalisées) utilisant des plantes de service pour la gestion de la santé des plantes ? Dans quels projets s'inscrivent-elles ?

Où ont lieu les expérimentations ? Chez un producteur ? En station ?

L'expérimentation est-elle menée dans des conditions proches des conditions de production de la culture principale concernée ?

Quel est le degré d'avancement des projets et des expérimentations ? (Date de début ?)  
Des résultats ont été ou auront été déjà produits au moment de l'enquête éventuelle ?

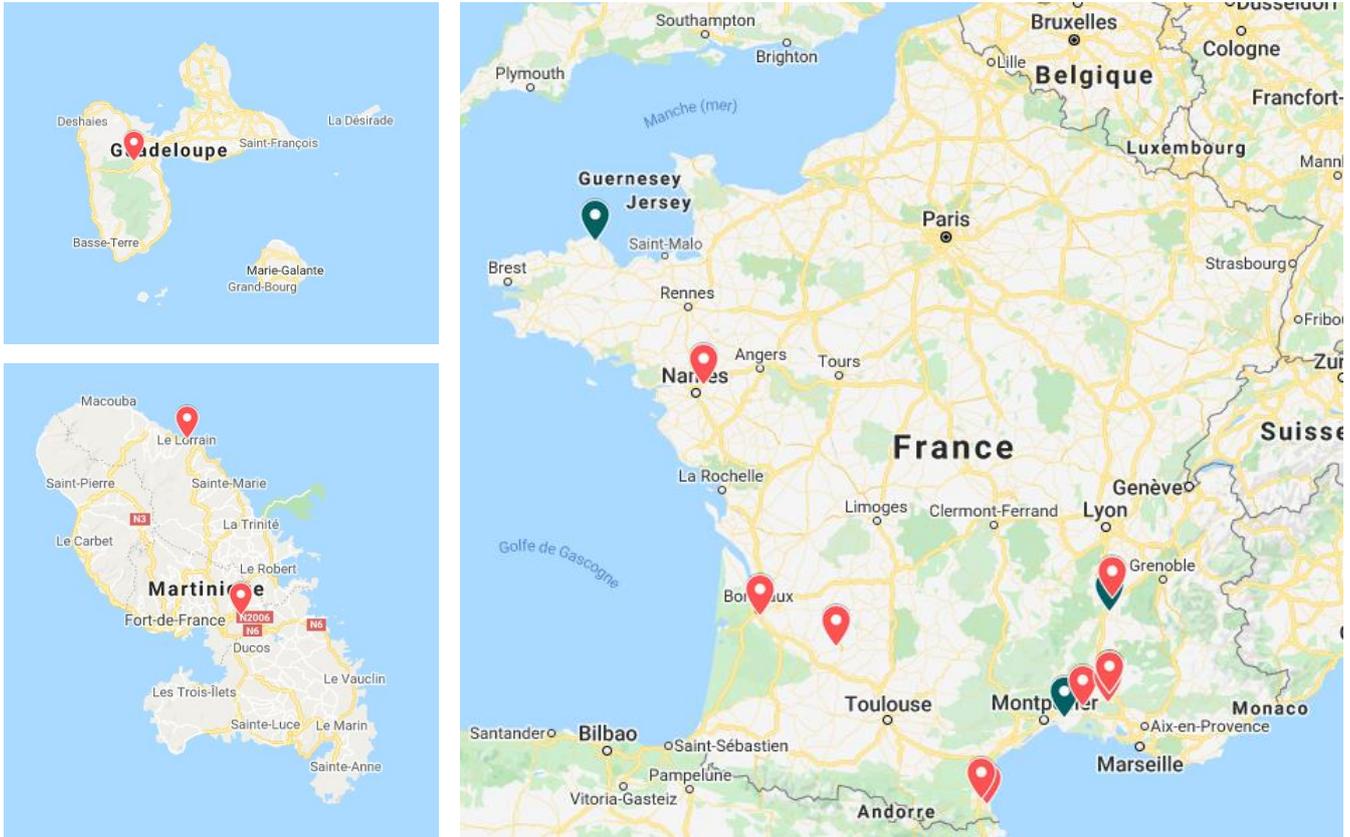
Il y a-t-il d'autres partenaires de l'expérimentation / du projet ? Est-ce une expérimentation multi-sites ? Ou un projet multi-expérimentation ?

Concernant l'enquête potentielle : entre mi-avril et début juillet, quelles sont vos contraintes de planning ?

Avez-vous des documents qu'il vous serait possible de me fournir en avance (protocoles / compte-rendu technique / livrables / supports de communication...) ?

Dans la discussion, le fait que la personne qui sera rencontrée lors de l'enquête puisse effectivement parler de la mise en œuvre du système, était sondé.

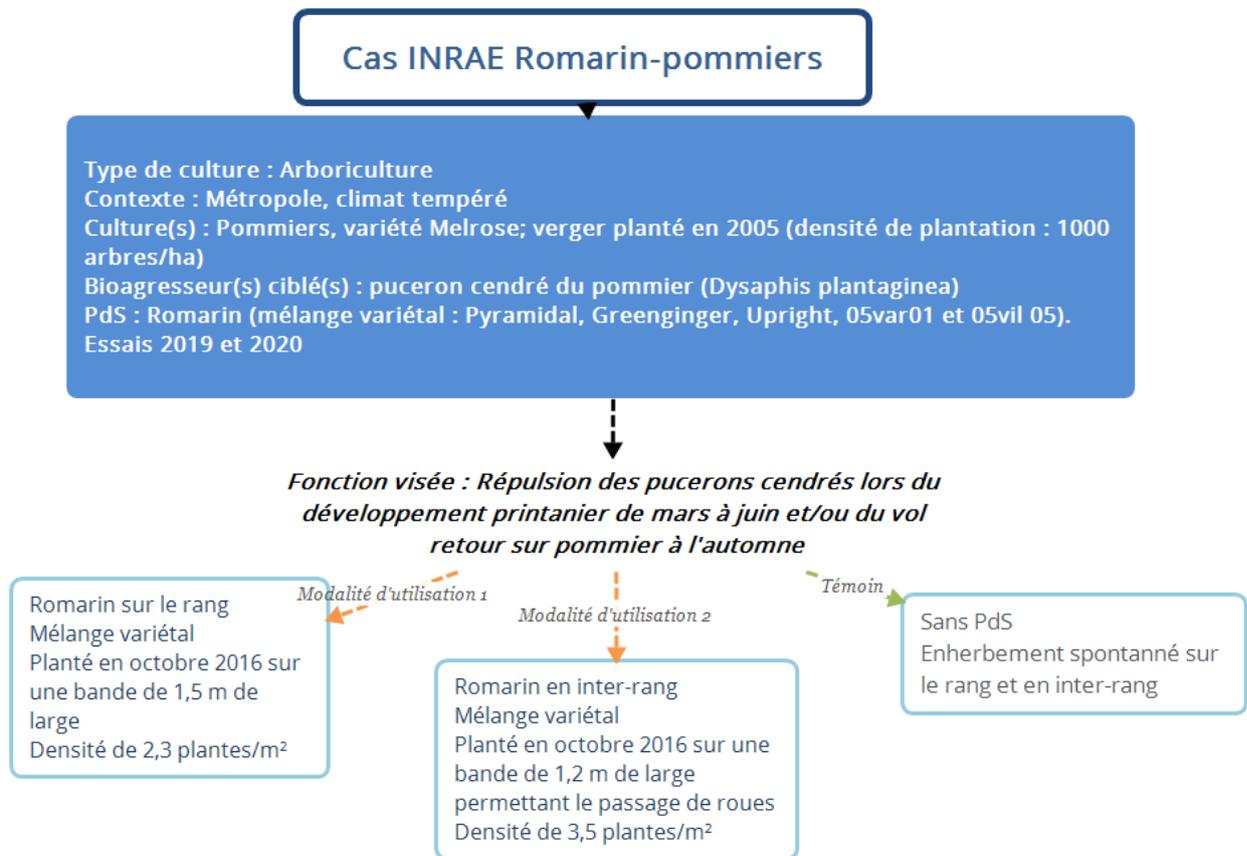
## Annexe 2 : Localisation des cas enquêtés



*Cartes produites avec la fonctionnalité MyMaps de Google Maps*

-  Cas enquêtés non inclus dans l'échantillon pour les analyses présentées dans le présent mémoire
-  Cas enquêtés inclus dans l'échantillon pour les analyses présentées dans le présent mémoire

### Annexe 3 : Exemple de schématisation d'un cas servant de support de discussion lors de l'enquête



## Annexe 4 : Captures d'écran du guide d'enquête

Dans la colonne « Nature des réponses », les cases en violet sont des possibilités de réponse à choix unique. Les cases orange clair correspondent à des questions à choix multiples. Les corpus de questions qui sont répétées pour chaque modalité d'utilisation lors de l'enquête sont signifiés en rouge dans la colonne « Informations recherchées ».

Informations recherchées	Question posée	Nature des réponses
<b>1. Description du projet</b>		
Intitulé du projet		Intitulé complet
Organisme porteur du projet		Organisme porteur du projet
Dates de début et de fin du projet		"Date début"- "Date fin"
Durée du projet		Durée en années
Localisation précise		Nom du ou des sites où les expérimentations ont lieu
Objectifs généraux du projet	Quels sont les objectifs généraux du projet dans lequel s'inscrit le cas enquêté ?	Réponse libre, textuelle
<b>2. Description du cas</b>		
Nom du cas		À définir en amont de l'enquête
Localisation du cas		Nom du site d'expérimentation
		Climat tempéré; Climat océanique; Climat méditerranéen; Climat tropical
Pour la suite : présenter l' <b>arbre schématique (sa cime)</b>		
Culture de rente	Quelle.s est/sont la/les culture.s principale.s concernée.s dans le cas ?	Nom de la culture principale (des cultures principales)
	Type de culture	Cultures pérennes; Cultures annuelles Maraichage plein champ; Maraichage sous serre ou abris de pleine terre; Maraichage sous serre hors sol; Verger fruitier; Verger maraicher; Cultures ornementales Système ouvert; Système fermé
Mode de production (AB)	La parcelle est-elle menée selon les principes de l'agriculture biologique ?	Non; Oui mais pas de label; Oui et labellisé
Plante de services (PdS)	Quelle est/quelles sont la/les PdS utilisée.s ?	Nom de la plante de service (nom commun)
		Nom de la plante de service (nom latin) PdS pérenne; PdS annuelle Plante indicatrice; Plante barrière; Plante répulsive; Plante de coupure; Plante piège; Plante assainissante; Plante attractive; Plante à habitat; Plante banque; Plante nourricière; Plante relais; Plante mycorrhizotrophe; Autre
Proximité à la production	Sur cette échelle de 1 à 3, comment évaluez-vous la proximité entre les conditions d'expérimentation (dans ce cas) et des conditions de productions "réelles" dans lesquelles un agriculteur pourrait mettre en œuvre le système (et cultiver la culture principale) ?	1: Conditions d'expé différent bcp de cond de production; 2: Conditions d'expé assez proches des cond de prod mais points de divergence; 3: Conditions d'expé très similaires à des cond de prod
	Pourquoi cette réponse ? Qu'est ce qui manquerait pour être à une note supérieure ?	Réponse libre
	L'expérimentation se poursuit-elle jusqu'à la récolte de la culture principale ?	Oui ; Non
<b>2.1 Réflexion en amont de l'Xp : fonction et processus biologiques</b>		
Objectifs du cas enquêté	Quels sont les objectifs du cas enquêté ?	Réponse libre
	De quelles natures sont ces objectifs ? (les 3 principaux)	Produire des connaissances sur process bio à l'œuvre autour des techniques utilisées; Evaluer la faisabilité pratique des techniques mises en œuvre; Evaluer la performance agronomique du syst; Evaluer la performance économique; Evaluer la performance sociale
	Dans quelles mesures souhaitez-vous modifier le système par rapport à l'existant en intégrant la PdS? (Echelle de 1 à 3, 1 étant "Ajout de la PdS sans modifier le système", 2 "Adaptation partielle du syst" et 3 "Reconception totale pour prendre en compte la PdS"	1 "Ajout de la PdS sans modifier le système", 2 "Adaptation partielle du syst", 3 "Reconception totale pour prendre en compte la PdS"
Fonction(s) recherchée(s)	Quelle est la fonction recherchée par l'utilisation de la PdS dans le système? (1ère ligne : fonctions d'action directe sur BA; 2ème ligne : fonctions d'action indirecte sur BA)	Réponse libre Détecter précocément les BA; Empêcher les BA de pénétrer sur la culture; Repousser les BA; Diminuer le potentiel infectueux; Autre
	Quelles étaient les motivations liées au choix de cette fonction ?	Attirer les auxiliaires; Retenir par l'habitat les auxiliaires; Retenir par des ressources trophiques les auxiliaires; Elever des auxiliaires; Favoriser les mutualismes; Autre

Processus biologiques et écologiques ciblés/stimulés par la présence de la PdS	Pouvez-vous m'expliquer quels sont les processus biologiques ou écologiques ciblés ici pour la gestion du BA?	Réponse libre Prédation;Facilitation;Parasitisme;Compétition
<b>2.2 Réflexion en amont de l'Xp : Freins anticipés, description des modalités d'utilisation des PdS</b>		
Nombre de modalités d'utilisation		Valeur
Description des modalités		Arbre schématique permet cela : à faire valider par la personne enquêtée. Donner ici simplement un nom et une numéro à chaque modalité (ex : Modalité 1: soucis en pots etc.)
Raisonnement du choix des modalités d'utilisation	Vous avez expérimenté X modalités d'utilisation de la PdS, sur quels critères s'est basé ce choix ?	Citer 3 critères max par ordre décroissant d'importance (crit1= ...;crit2=...;crit3=...)
Craintes avant la mise au champ du prototype	Quels types de freins ou de verrous aviez-vous anticipé ou sur lesquels vous aviez des craintes avant la mise au champ ?	Réponse libre
		<b>Craintes "Internes" :</b> Surcoût Perf agro variables Rentabilité faible; Efficacité gestion BA incertaine ou irrégulière; Manque de matériel agricole adapté; Difficultés liées à l'orga du travail; Pénibilité; Augmentation complexité pilotage; Risque sanitaire; Implantation et développement de la PdS; Conduite de la culture de la PdS; Gestion des bioagresseurs sur la PdS; Passage de machines; Gène dans la mise en œuvre de pratiques souhaitées sur la culture; Autre
		<b>Craintes "externes"</b> Manque de connaissances/tréfs techniques; Difficulté d'accès ou coût élevé des plants/semences; Manque de variété de plants/semences adaptées au contexte local; Contraintes réglementaires; Autre
	Est-ce que cette anticipation a modifié votre conception du dispositif expérimental ? Si oui, sur quels aspects ?	Réponse libre: autres?  L'ITK du système (variété,irrigation,disposition spatiale...);L'agencement spatial de la PdS;L'agencement temporel de la PdS;Le matériel utilisé;Les moyens humains requis (en terme de main d'œuvre);L'organisation du travail;Le dispositif expérimental;Autre
Devenir de la PdS	Quel devenir pour la plante de service à la fin de l'expérimentation ?	Reste sur place;Prélèvement et destruction;Récolte;Plante déplacée;Enfouissement;Autre
Objet de l'innovation	Dans cette liste, finalement sur quoi porte le caractère nouveauroiginal du système ?	Utiliser une PdS pour la régul du BA ciblé;Fonction visée pour la régul du BA ciblé;PdS choisie pour cette fonction;Agencement spatial de la PdS dans le syst;Agencement tempo de la PdS dans le syst;Autres mod d'utilisation de la PdS;ITK du syst avec PdS;Autre
Suivi de la mise en œuvre: des difficultés éventuellement rencontrées... des ajustements faits (modalité d'utilisation 1) <b>POUR CHAQUE MODALITE D'UTILISATION</b>	Finalement, est ce que ce que vous avez mis au champ correspond à ce que vous aviez imaginé?	Oui;Non
	Si non : En quoi le système diffère ?	
	Au cours de l'expérimentation, des difficultés pratiques ont-elles été rencontrées ?	Oui;Non
	Liées aux PdS ?	Réponse libre
	Si oui, sur quoi portaient-elles?	<b>Freins internes</b> Surcoût Perf agro variables Rentabilité faible; Efficacité gestion BA incertaine ou irrégulière; Manque de matériel agricole adapté; Difficultés liées à l'orga du travail; Pénibilité; Augmentation complexité pilotage; Risque sanitaire; Implantation et développement de la PdS; Conduite de la culture de la PdS; Gestion des bioagresseurs sur la PdS; Passage de machines; Gène dans la mise en œuvre de pratiques souhaitées sur la culture; Autre <b>Freins externes</b> Manque de connaissances/tréfs techniques; Difficulté d'accès ou coût élevé des plants/semences; Manque de variété de plants/semences adaptées au contexte local; Contraintes réglementaires; Autre
	Comment le problème rencontré a-t-il été repéré ? (par l'observation...)	
Aviez-vous anticipé certaines de ces difficultés ?	Oui;Non	
Des ajustements ont-ils été faits en cours d'expérimentation ?	Réponse libre	
Si oui, que concernaient-ils ?	Agencement spatial de la culture;Agencement spatial de la PdS;Pilotage de l'irrigation/de la fertilisation du système;Matériel utilisé;Main d'œuvre requise pour mettre en œuvre le système;Stratégie de gestion des bioagresseurs (lâchers, traitements...);Autre	
Si oui : pourquoi avoir fait ces ajustements?		
Si oui : Comment la difficulté a-t-elle été résolue, avec qui ?...		
Si non, pourquoi n'y a-t-il pas eu d'ajustement?		
Quels autres ajustements auraient pu être souhaitables ?		

3. Résultats du cas enquêté		
	Un gros imprévu est-il survenu durant l'expérimentation, pouvant impacter les réponses données sur les freins rencontrés ?	
Bilan résultats et satisfaction Modalité 1 <b>POUR CHAQUE MODALITE D'UTILISATION</b>	Sur cette échelle, comment qualifieriez-vous votre satisfaction vis-à-vis de la réalisation de la <b>fonction 1</b> avec la <b>modalité d'utilisation 1</b> ?	1: Insatisfait;2: Peu satisfait;3: Satisfait;4: Très satisfait
	Qu'est ce qui est satisfaisant ?	
	Qu'est ce qui est insatisfaisant ?	
	Avez-vous en tête des leviers qui pourraient permettre d'améliorer ce résultat?	
	Modalité 1 : D'après vous, la culture principale a-t-elle été impactée par l'utilisation dans cette modalité de la PdS?	Dans son développement;Dans le rendement brut;Dans le rendement commercialisable;Autre
	Comment la PdS a modifié les traitements appliqués sur la culture (traitements phyto / biocontrôle...)	
	Si il y a un lien : Quelle est la satisfaction vis-à-vis du rendement commercialisable de la culture principale ?	1: Insatisfait;2: Peu satisfait;3: Satisfait;4: Très satisfait
	Pouvez-vous expliquer votre réponse ?	
	Etes-vous satisfait de la modalité d'utilisation 1 de la PdS en terme de mise en œuvre ? Si pas évoqué : parler du temps de travail/la pénibilité du travail/l'organisation du travail... Qu'est ce qui est satisfaisant ?	1: Insatisfait;2: Peu satisfait;3: Satisfait;4: Très satisfait
	Qu'est ce qui est insatisfaisant ? Si pas évoqué: temps de travail/pénibilité du travail	
Sur d'autres services rendus par la PdS?	Si vous deviez refaire cette expérimentation, comment amélioreriez-vous les points d'insatisfaction ?	
	La plante de service testée peut-elle permettre une meilleure stabilité de la production face aux aléas climatiques et/ou sanitaires ?	Oui;Non Explication libre
	La plante de service réalise t-elle une autre fonction que celle visée dans le cas enquêté, concernant la régulation des bioagresseurs ?	
	Selon vous, l'utilisation de cette PdS rend-elle des services autres que ceux liés à la santé des cultures? Si oui, lesquels ?	Oui;Non Réponse spontanée
	Parmi cette liste ?	Apport et conservation de biodiversité;Bien-être pour les personnes travaillant sur le site;Qualité nutritionnelle ou organoleptique de la production;Aide à la pollinisation;Amélioration de la fertilité des sols
Ressenti global	Finalement, quel est votre ressenti global vis-à-vis de cette expérimentation, votre satisfaction globale ?	
4. Après l'expérimentation : connaissances produites et valorisation		
	Qu'est ce que vous retenir de cette expérience pour la prochaine fois que vous ferez ce travail de conception - expérimentation avec des PdS ? (en terme de mise en œuvre, du temps de réflexion avant et après l'expé...)	
Capitalisation des connaissances produites	Sous quelle forme les résultats répondant aux objectifs de l'expérimentation sont-ils capitalisés et diffusés ?	Vidéos;Rapport technique;Supports de communication visuels;Présentations à d'autres expérimentateurs;Discussions avec expérimentateurs travaillant sur le même site;Visites d'essais;Autre
	En particulier, est ce qu'y figurent les résultats concernant la mise en pratique ?	
	Pour qui seront accessibles ces résultats ?	Les autres expérimentateurs de l'organisme porteur du projet;Les autres expérimentateurs d'organismes différents;Des expérimentateurs travaillant sur d'autres types de production;Des agriculteurs;Le "grand public";Etudiants;Autre
Perspectives	Concernant la suite de ce cas, quelles sont vos perspectives ?	Poursuite de cette expérimentation;Autre expérimentation sur la même PdS pour les mêmes fonctions mais avec des modalités d'utilisation différentes;Fin des expérimentations sur cette PdS pour cette fonction
	Est-ce que les pratiques testées s'observent déjà (en partie ou non) chez des agriculteurs de votre réseau ou au delà ?	
	Finalement, avec ce que vous a appris cette expérimentation, avez-vous adopté ou fait adopter dans votre structure des changements de pratiques dans la conduite de la culture principale ?	
	Selon vous, pourra t-on arriver un jour à la création d'outils d'aide à la décision à destination d'agriculteurs souhaitant utiliser des PdS pour la protection de leurs cultures, leur indiquant quelle plante et modalités d'utilisation utiliser selon le contexte et les objectifs ?	

### Annexe 5 : Présentation des cas de l'échantillon selon quelques variables caractéristiques

ProjetNom (titre court)	OrgporteurNom	ProjetAvanc	CasSite	Climat	CultPrincip	TypeProd	PdSNom (toutes modalités d'utilisation confondues)	CibleType	BAType_milieu
ECOPECHE 2	CTIFL	En cours	84	Climat méditerranéen	Pechers	Verger fruitier	Menthe poivrée	BA	Ravageur aérien
MACROPLUS	GRAB	Fini	66	Climat méditerranéen	Tomates / aubergines	Maraîchage sous serre ou abris de pleine terre	Souci	Auxi	Ravageur aérien
	INRAE	Avancé	26	Climat continental	Pommier	Verger fruitier	Romarin	BA	Ravageur aérien
ACOR	CTIFL - Centre Opérationnel de Balandran	Commencement	30	Climat méditerranéen	Tomate	Maraîchage sous serre hors sol	Tomate/Géranium à grosses racines/Ballote hirsute	Auxi	Ravageur aérien
GIEE Phytobiomar	CIVAMBIO66	Fini	66	Climat méditerranéen	Concombre, Melon, Courgette, Aubergine	Maraîchage sous serre ou abris de pleine terre	Millet d'Inde	Auxi	Ravageur aérien
Stratégie de biocontrôle de la pyrale Duponchelia Fovealis	ASTREDHOR Sud Ouest GIE Fleurs et Plantes	En cours	33	Climat océanique	Cyclamen	Culture ornementale	Heuchère	BA	Ravageur aérien
PLACOHB	ASTREDHOR	Fini	26	Climat continental	Pommier	Verger fruitier	Agrostis stolonifère / Marguerite / Achillée Millefeuille	BA	Adventices
HORTIPOT 2	ASTREDHOR Sud Ouest GIE Fleurs et Plantes	Avancé	33	Climat océanique	"Annuelles, aromatiques et potagères au printemps; Chrysanthèmes en été; bisannuelles sur l'automne-hiver."	Culture ornementale	Achillée Millefeuille / Alysse maritime / Souci	Auxi	Ravageur aérien
KaruSmart	INRAE	En cours	971	Climat tropical	Banane	Maraîchage plein champ	Canavalia	BA	BA tellurique

IMPULSE	CTIFL Balandran	Fini	84	Climat méditerranéen	Chou cabus	Maraîchage plein champ	Colza (variété Sammy de Saatbau) / Moutarde brune (variété Scala de Semfor)	BA	Ravageur aérien
CABiosol	FREDON	En cours	972	Climat tropical	Piment, gombo, haricot	Maraîchage plein champ	Millet / Sorgho / Cosmos / Oeillet d'inde / Zinnia	Auxi	Ravageur aérien
RITA RESYMAR & SERUM	CIRAD	En cours	972	Climat tropical	Tomates	Maraîchage plein champ	Crotalaire	Microbes	BA tellurique
Utilisation du maïs doux comme plante piège pour le contrôle de la noctuelle de la tomate : Hélicoverpa Zéa	CIRAD	Fini	972	Climat tropical	Tomate	Maraîchage plein champ	Maïs doux JAVA	BA	Ravageur aérien
AgroEcoTOM	IT2	Avancé	971	Climat tropical	Tomate	Maraîchage plein champ	Crotalaire	Microbes	BA tellurique
FARGASYST	INVENIO	Avancé	47	Climat océanique	Fraise	Maraîchage sous serre hors sol	Triticale / avoine / vesce	Auxi	Ravageur aérien
COSYNUS	GRAB	En cours	13	Climat méditerranéen	Aubergine	Maraîchage sous serre ou abris de pleine terre	Alysse / Soucis / Achillée / Gomphocarpus	Auxi	Ravageur aérien
MUSCARI	GRAB	Fini	13	Climat méditerranéen	Pommier	Verger fruitier	Pâquerette / Véronique feuille de lierre / Pissenlit / Barbarée / Alysse maritime / Alliaire / Carotte sauvage / Centaurée scabieuse / Achillée millefeuille / Marguerite / Bleuet / Luzerne annuelle / Mélilot	Auxi	Ravageur aérien

							/ Lotier / Pâurin compressé		
AGATH	CTIFL	Fini	44	Climat océanique	Poireau	Maraîchage plein champ	Mélilot / Ammi élevé / Millepertuis / Tagètes / Achillée millefeuille / Bourrache / Coriandre / Chrysanthème / Blé / Féverole	Auxi	Ravageur aérien
REGULEG	CTIFL	Fini	44	Climat océanique	Laitue	Maraîchage plein champ	Achillée millefeuille / Coriandre / Tanaïs / Lotier / Sainfoin / Sarasin / Luzerne / Ortie / Blé / Féverole	Auxi	Ravageur aérien
CAAtAPuITe	APREL	Avancé	47	Climat océanique	Aubergine	Maraîchage sous serre hors sol	Triticale	Auxi	Ravageur aérien
GONEM	GRAB	Avancé		Climat méditerranéen	Culture d'été : Cucurbitacées (courgette;concombre;melon) puis culture d'hiver : laitue	Maraîchage sous serre ou abris de pleine terre	Radis fourrager (Doublet) / Roquette / Crotalaire (C. juncea, variété Crescent Sunn) / Sorghos (var Jumbo Star, Tie Break)	BA	BA tellurique

## Annexe 6 : Présentation des variables utilisées dans l'analyse, après formatage

Nom variable	Variable définie à l'échelle du cas ou de la modalité d'utilisation	Type de réponses. Après formatage, l'ensemble des variables qualitatives utilisées est à choix unique.
ProjetAvanc	Cas	Commencement ; En cours ; Avancé ; Fini
Climat	Cas	Climat tempéré; Climat océanique; Climat méditerranéen; Climat tropical
CultPerennite	Cas	Culture pérenne; Culture annuelle
TypeProd	Cas	Maraichage plein champ; Maraichage sous serre ou abris de pleine terre; Maraichage sous serre hors sol; Verger fruitier; Verger maraicher; Cultures ornementales
AB	Cas	AB ; Non AB
OuvertSyst	Cas	Syst ouvert ; Syst fermé
PdSPerrenite	Modalité	PdSAnnuelle ; PdSPerenne ; PdSPerr&Ann
PdSType	Modalité	Plante indicatrice; Plante barrière; Plante répulsive; Plante de coupure; Plante piège; Plante assainissante; Plante attractive; Plante à habitat; Plante banque; Plante nourricière; Plante relais; Plante mycorrhizotrophe
CibleType	Cas	BA ; Auxiliaire
BAType_milieu	Cas	Ravageur aérien : Adventices ; BA tellurique
CasAvanc	Cas	Conception du syst ; Mise en oeuvre pratique ; Analyse et diffusion des résultats ; Utilisation des résultats par d'autres
TypeExpe	Cas	Expé factorielle ; Expé multi-factorielle ; Expé système
ClassExp	Cas	Entre 3 et 5 ans ; Entre 5 et 10 ans ; >=10 ans
CondProd	Cas	1:Cond diff ; 2:Cond proches ; 3:Cond très proches
ReconceptSyst	Cas	Modifniv1 ; Modifniv2 ; Modifniv3
Agencemt	Modalité	Mixed ; strip ; boundary ; rotation
FreinsInt_surcout	Modalité	Oui ; Non
FreinsInt_perfagro	Modalité	Oui ; Non
FreinsInt_rentabilite	Modalité	Oui ; Non
FreinsInt_gestionBA	Modalité	Oui ; Non
FreinsInt_materiel	Modalité	Oui ; Non
FreinsInt_orga	Modalité	Oui ; Non
FreinsInt_penibilite	Modalité	Oui ; Non
FreinsInt_pilotage	Modalité	Oui ; Non
FreinsInt_sanitaire	Modalité	Oui ; Non
FreinsInt_devPdS	Modalité	Oui ; Non
FreinsInt_cultPdS	Modalité	Oui ; Non
FreinsInt_BAsurPdS	Modalité	Oui ; Non
FreinsInt_machines	Modalité	Oui ; Non
FreinsInt_genePratiques	Modalité	Oui ; Non
FreinsExt_connaiss	Modalité	Oui ; Non
FreinsExt_accesPdS	Modalité	Oui ; Non
FreinsExt_manquevar	Modalité	Oui ; Non
FreinsExt_reglement	Modalité	Oui ; Non
NbrFreins_Cas	Cas	(Variable quantitative)
Satisfonction	Modalité	Insatisfait ; Peu satisfait ; Satisfait ; Très satisfait
SatisfMEO	Modalité	Insatisfait ; Peu satisfait ; Satisfait ; Très satisfait
Satisfonction_cas	Cas	Insatisfait ; Peu satisfait ; Satisfait ; Très satisfait ; Dépend de la modalité
SatisfMEO_cas	Cas	Insatisfait ; Peu satisfait ; Satisfait ; Très satisfait ; Dépend de la modalité

 agriculture • alimentation • environnement	Diplôme : Ingénieur agronome Spécialité : Sciences et ingénierie du végétal Spécialisation / option : Agrosystèmes, conception et évaluation Enseignant référent : Edith Le Cadre
Auteur(s) : Roxane Schott  Date de naissance* : 08/06/1999	Organisme d'accueil : INRAE Adresse : INRAE Unité expérimentale maraichage
Nb pages : 25                      Annexe(s) : 6	Mas Blanc, Rte de Theza, 66200 Alénia
Année de soutenance : 2021	Maîtres de stage : Amélie Lefèvre et Marie Chave
Titre français : Capitalisation de connaissances opérationnelles utiles pour concevoir des systèmes agroécologiques, à partir d'expérimentations en conditions de production : le cas de l'utilisation des plantes de services pour la santé des plantes en horticulture	
Titre anglais : Capitalisation of actionable knowledge useful to design agroecological systems, from experiments carried in production conditions : the case of service plants used for crop health in horticulture	
Résumé (1600 caractères maximum) :  <p>Dans la mise en œuvre de la transition agroécologique, favoriser la biodiversité pour réduire l'utilisation de produits phytosanitaires est un enjeu crucial, en particulier en production horticole. Si les plantes de services constituent des alternatives prometteuses dans la conception des systèmes qui s'appuient sur la biodiversité végétale pour réguler les bioagresseurs, leur utilisation fait l'objet d'interrogations pratiques. La mise en expérimentation de tels systèmes dans des conditions proches de la production est une étape-clé. Dans ce travail exploratoire, nous faisons l'hypothèse que cette étape questionne i. la reconception du système technique en fonction des modalités d'utilisation des plantes de services, ii. l'acquisition et valorisation de connaissances opérationnelles et iii. la nature des freins rencontrés. Des enquêtes ont été menées auprès d'expérimentateurs travaillant sur une diversité de cultures horticoles, de types de plantes de services, de bioagresseurs ciblés et sous différents climats. Nous avons mis en évidence i. une volonté modérée de modification du système pour insérer la plante de service (62% des cas enquêtés), motivée pour un souci d'acceptabilité par les producteurs, ii. une faible diffusion des nombreuses connaissances opérationnelles produites (diffusées dans 55% des cas seulement), iii. une diversité de freins pratiques liés à des composantes internes ou externes au système, en particulier à des difficultés d'implantation des plantes de services et d'organisation générale du travail. Les expérimentateurs, qui gagnent en expertise pratique, sont en mesure de proposer des leviers pour dépasser les difficultés rencontrées à la mise en œuvre au champ. Ces connaissances doivent être capitalisées, diffusées et appropriées pour une utilisation plus large des plantes de service en production horticole.</p>	
Abstract (1600 caractères maximum) :  <p>To support the agroecological transition, reducing the use of synthetic crop protection products by fostering biodiversity is a fundamental challenge, especially in horticulture. While service plants are a promising alternative in the design of systems that rely on plants' biodiversity to control pests, their use is the subject of practical questions. The experimentation on such systems in conditions similar to production conditions is a key step. In this exploratory study, the hypothesis is that this step queries i. the redesign of the technical system depending on the conditions in which the service plants are implemented ii. the development and spread of technical actionable knowledge and iii. the characteristics of the barriers faced by doing. Surveys were carried with experimenters who work on diverse horticultural crops, service plants types, pests and in a diversity of climates. We showed that there is i. a moderate will about modifying the system to insert the service plant (62% of the investigated cases are concerned), motivated by the worry of acceptability for the producers ii. a low spread of the acquired actionable knowledge (it is only spread in 55% of the cases) and iii. a diversity of practical barriers linked with internal and external components of the system, growth difficulties for service plants specifically, or work organisation difficulties. The experimenters are acquiring a practical expertise and are able to suggest levers to overcome difficulties in the field implementation. This knowledge has to be capitalised and spread for a wider use of service plants in horticulture.</p>	
Mots-clés : Connaissances opérationnelles, plantes de services, expérimentation, horticulture  Key Words: Actionable knowledge, service plants, experiments, horticulture	

