



HAL
open science

Accompagnement numérique en maraîchage agroécologique : les couverts végétaux

Jordon Vincent

► **To cite this version:**

Jordon Vincent. Accompagnement numérique en maraîchage agroécologique : les couverts végétaux : Accompagner, via les outils numériques GECO et La Pépinière, la mise en place de pratiques pour la transition agroécologique des productions légumières : exemple des couverts végétaux.. Sciences de l'Homme et Société. 2021. hal-03967352

HAL Id: hal-03967352

<https://hal.inrae.fr/hal-03967352>

Submitted on 1 Feb 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.



ISARA
23 rue J. Baldassini
69364 LYON CEDEX 07



UMR Agronomie, INRAE
AgroParisTech Paris Saclay
1 avenue Lucien Bretignières 78850

ACCOMPAGNEMENT NUMERIQUE EN MARAICHAGE AGROECOLOGIQUE : LES COUVERTS VEGETAUX

Accompagner, via les outils numériques GECO et *La Pépinière*, la mise en place de pratiques pour la transition agroécologique des productions légumières : exemple des couverts végétaux.



Illustration 1 : photographie de Yann Lopez, 2020

Mémoire de Fin d'Etudes

49^e promotion (2016-2021)
Date de la soutenance : 20 septembre 2021

Tutrice Pédagogique :
PEYRIC Marion

Jordon Vincent
Elève Ingénieur ISARA-Lyon

Directrice de Mémoire :
Jeuffroy Marie-Hélène
Directrice de recherche
UMR Agronomie, INRAE

Co-encadrant :
Morel Kevin
Chargé de recherche
UMR SADAPT, INRAE, AgroParisTech

Ce document ayant été réalisé par des Élèves-Ingénieurs de l'ISARA dans le cadre d'une convention avec L'INRAE Versailles-Grignon, toute mention, communication ou diffusion devra faire état de l'origine Isara.

Table des matières

Remerciements.....	1
Table des abréviations.....	2
Liste des annexes.....	2
1. Introduction.....	3
1.1 Un besoin d'outils numériques pour soutenir l'agroécologie en maraîchage.....	3
1.2 Enjeux et objectifs des deux outils :.....	3
1.2.1 La Pépinière.....	3
1.2.2 GECO.....	5
1.3 Présentation de la problématique initiale posée par le projet PACON.....	6
1.4 Un stage en deux étapes.....	6
2. Phase exploratoire : Etat de l'art général.....	7
2.1 Le défi de la transition agroécologique en production de légumes.....	7
2.2 Des outils numériques pour intégrer les pratiques agroécologiques en maraîchage.....	8
2.3 Spécificités et objectifs de démarches de co-conception avec les acteurs.....	9
3. Phase exploratoire : Méthode.....	10
3.1 La gestion des bioagresseurs en agroécologie.....	10
3.2 Interactions avec les partenaires pour la gestion des BA.....	11
3.2.1 Mise au point de supports pour alimenter les discussions.....	11
3.2.2 Premier échange : Atelier « experts » avec les partenaires de La Pépinière.....	12
3.2.3 Deuxième partie des échanges : Entretiens avec 4 experts.....	12
3.2.4 Troisième partie des échanges : Ateliers avec les futurs utilisateurs.....	13
4. Phase exploratoire : Les résultats.....	13
5. Précision de la problématique.....	17
6. Phase d'approfondissement : Méthode.....	18
6.1 Réalisation d'un état de l'art sur les couverts végétaux.....	18
6.2 Réalisation d'entretiens semi-directifs.....	18
6.2.1 Les objectifs.....	18
6.2.1 Les maraîcher.ère.s enquêtés.....	19
6.2.2 Préparation du guide d'entretien.....	19
6.2.3 Déroulement des entretiens.....	20
6.2.4 Analyse des entretiens.....	20
6.3 Création des fiches GECO.....	21
7. Etat de l'art sur les couverts végétaux.....	22
7.1 Objectifs.....	22
7.1.1 Limiter les fuites de nitrates.....	22
7.1.2 Limiter le développement des BA (adventices, ravageurs telluriques et aériens).....	22
7.1.3 Maintenir ou améliorer la fertilité des sols.....	23
7.1.4 Réduction d'intrants.....	25
7.2 Qu'est-ce qu'un couvert végétal ?.....	25
7.2.1 Des noms différents pour des finalités différentes.....	25
7.2.2 Des périodes d'implantation différentes.....	25
7.3 Composition des couverts végétaux : Choix des espèces.....	27
7.4 Conditions de réussite.....	28
7.5 Les erreurs à ne pas commettre.....	29
7.6 La conduite des couverts végétaux selon la bibliographie explorée.....	29
7.7 Inconvénients.....	31
8. Phase d'approfondissement : Résultats.....	32
8.1 Les fermes étudiées.....	32
8.2 Les couverts végétaux étudiés.....	32
8.2.1 Environnement (sous abris/plein champ).....	32

8.2.2	Composition.....	33
8.2.3	Classification des couverts.....	34
8.2.4	Les types de couverts étudiés.....	35
8.2.5	Fréquence.....	36
8.2.6	Ajustement de la composition des couverts.....	37
8.3	Facteurs influençant le choix des couverts.....	37
8.3.1	Fonction des couverts végétaux visées par les maraîcher.ère.s étudiés.....	38
8.3.2	Choix techniques du maraîcher influençant le choix des couverts végétaux.	41
8.3.3	Particularités du contexte rentrant dans le schéma de réflexion du maraîcher.	41
8.4	La conduite des couverts sur les fermes enquêtées.....	42
8.4.1	Préparation du sol.....	42
8.4.2	Semis.....	43
8.4.3	Interventions.....	44
8.4.4	Destruction.....	45
8.4.5	Culture suivante.....	46
8.5	Evaluation des couverts.....	47
8.5.1	Agronomique.....	47
8.5.2	Environnement.....	47
8.5.3	Economique.....	47
8.5.4	Social.....	48
8.6	Facteurs limitants.....	48
8.7	Intérêt des outils numériques.....	49
8.8	Fonctionnement des outils numériques envisagé.....	50
9.	Discussion générale.....	52
9.1	Complexité de l'agroécologie en maraîchage.....	52
9.2	Les couverts végétaux en maraîchage.....	52
9.2.1	Les types de couverts rencontrés.....	52
9.2.2	Adaptation des couverts.....	53
9.2.3	Fonctions des couverts.....	53
9.3	Les termes utilisés.....	53
9.4	La place des couverts végétaux dans le maraîchage.....	54
9.5	Perspectives pour le développement futur des outils numériques.....	54
9.5.1	La pépinière.....	54
9.5.2	GECO.....	55
9.6	Limites de l'étude.....	55
9.6.1	Le temps.....	55
9.6.2	Les personnes enquêtées.....	55
10.	Qualité de Vie au Travail.....	56
11.	Conclusion.....	57
11.1	Synthèse.....	57
11.2	Bilan personnel.....	58
12.	Bibliographie.....	60
	Glossaire.....	64
	Table des figures.....	64
	Annexes.....	65

Remerciements

Ce stage a été l'occasion de travailler, ou de vivre, avec des personnes qui ont compté dans le bon déroulement de ces six mois passés à Thiverval-Grignon.

Tout d'abord je veux remercier ma maître de stage Marie-Hélène Jeuffroy et mon co-encadrant Kevin Morel pour m'avoir donné l'opportunité de travailler sur ce sujet passionnant. Tous deux ont toujours été présents pour me guider et m'encourager dans mon travail, même à distance, merci pour cela. Merci aussi à Kevin pour m'avoir fait découvrir un bout de sa Bretagne, belle par ses paysages et par les gens qui l'habitent.

Je ne peux ensuite continuer sans remercier ma tutrice Marion Peyric, qui a été essentielle tout au long du stage. Merci beaucoup pour toute cette écoute attentive, cette bienveillance et cette sympathie sans limite. Son exigence a toujours été juste et m'a permis de gagner énormément en rigueur et en qualité dans mes travaux, merci encore.

Je souhaiterais aussi adresser un immense merci à Michèle Fanucci qui me faisait commencer chaque journée avec le sourire. Son second degré et son extrême bienveillance m'ont apporté tellement de joie et de réconfort pendant ce stage ! Mille merci pour tous ces bons moments.

Je remercie également mes collègues de bureau, Estelle, Mariem, Benoît et Anaïs qui ont rempli cet espace de travail de plein de bonne humeur. Ce jardin des stagiaires a été très agréable grâce à eux !

Merci à Alex pour tous ces rires et ces confidences du premier au dernier jour !

Merci à Marine pour son amitié, son soutien à toute épreuve et toutes ces parties de tennis !
Merci à Tristan et Florent pour avoir accepté mes intrusions dans leur bureau et pour leurs bonne humeur.

Merci à tous les membres du Pavillon de l'Horloge pour ces quelques mois de colocation plein de vie !

Pour finir, merci à ma famille, à tous mes amis d'école, du lycée ou du tir-à-l'arc pour tous ces week-end d'escapades partout en France.

Table des abréviations

BA : Bioagresseurs

CI : Couvert Intermédiaire

CIS : Couvert Intermédiaire Spontané

CIL : Couvert Intermédiaire Long

CA : Couvert Attenant

CR : Couvert Relai

PC : Plein Champ

PPP : Produits Phytopharmaceutiques*

SA : Sous Abris

Liste des annexes

Annexe 1 : position du projet par rapport aux différents outils portés par le collectif Mesclun.

Annexe 2 : Les partenaires de MESCLUN et *La Pépinière*.

Annexe 3 : Schéma fonctionnel du projet PACON.

Annexe 4 : Exemple d'une arborescence de pratiques agroécologique pour la gestion des adventices.

Annexe 5a : Caractérisation des 5 types de systèmes de productions imaginaires.

Annexe 5b : Caractéristiques des 5 types de systèmes imaginaires.

Annexe 5c : Exemple (cas 2) d'arbre de pratiques d'un des 5 types de systèmes imaginaires.

Annexe 6 : Arborescence des pratiques préventives utilisées dans les ateliers utilisateurs.

Annexe 7 : Exemple d'une fiche « logique d'action » développée en grande culture.

Annexe 8 : Guide d'entretien utilisé lors de la phase d'approfondissement.

Annexe 9 : Exemple de résumé réalisé pour chaque ferme afin de faciliter la synthèse des entretiens.

Annexe 10 : Caractéristiques des différentes techniques de semis

Annexe 11 : Caractéristiques des différentes techniques de destruction

Annexe 12 : Carte des maraîcher.ère.s enquêté.e.s pour cette étude.

Annexe 13 : Tableau des couverts présents sur les 13 fermes étudiées.

Annexe 14 : Tableau des fonctions des couverts identifiées par les maraîchers enquêtés.

1. Introduction

1.1 Un besoin d'outils numériques pour soutenir l'agroécologie en maraîchage

Dans les filières légumes en France, repenser la production devient de plus en plus indispensable. En effet, le nombre des produits phytosanitaires (conventionnels ou biologiques) disponibles est en forte diminution (Eckert 2020, Eckert et al., 2020), et on assiste à une montée en puissance des controverses majeures concernant les résidus de pesticides sur les légumes frais (Jeannequin, Dosba, Amiot 2005). Il existe, de plus, des débats en agriculture biologique autour des exploitations qui se rapprochent du modèle conventionnel de production (2 ou 3 cultures seulement sur des surfaces importantes). Ces systèmes de production spécialisés ont souvent recours à un niveau d'intrants (pesticides et fertilisants) plus élevé (Pépin, Morel, van der Werf 2021). La transformation des systèmes agricoles vers l'agroécologie est donc un réel enjeu pour la production légumière conventionnelle et biologique.

Cependant, la transformation des systèmes agricoles vers l'agroécologie pose un certain nombre de défis aux agriculteurs en termes d'accès aux connaissances disponibles, de complexité de gestion, et de charge de travail (cf. la partie état de l'art). Une des pistes envisagées pour accompagner les agriculteurs dans les transformations de leurs systèmes sont les outils numériques. Ces derniers pourraient, en effet, soutenir des démarches agroécologiques valorisant au mieux les processus naturels dans la production alimentaire (Mendéz et al., 2013).

Par rapport à cet enjeu global du numérique pour l'agroécologie en production de légumes, deux projets portés par des chercheurs INRAE visent à développer des outils numériques permettant de soutenir les chef.fe.s d'exploitations dans des démarches de conception ou de reconception (on utilisera par la suite le terme de (re)conception) agroécologique en production de légumes à différentes échelles (ferme et culture). Ces outils seront gratuits pour être accessibles à tou.te.s et accompagner la transition agroécologique.

1.2 Enjeux et objectifs des deux outils :

1.2.1 *La Pépinière*

Le premier de ces outils, nommé *La Pépinière*, est en cours de construction pour être disponible en 2023. Il sera un outil d'appui à la planification* (organisation des cultures dans le temps) et à l'assolement* (dans l'espace).

Objectifs de La Pépinière

Les objectifs visés par l'outil sont de :

- Concevoir et apprendre à concevoir une planification et un assolement qui répondent à la fois à des critères agroécologiques, d'adéquation avec le marché et de temps de travail.
- Simuler, explorer et évaluer différents scénarios de planification et d'assolement.
- Communiquer sur son projet.

Cet outil entend également intégrer une dimension pédagogique pour être mobilisée dans les parcours de formation et d'installation.

Financement et partenaires

Le développement de *La Pépinière*, initié en 2020, est financé par la fondation Daniel et Nina Carasso, la région Bourgogne Franche-Comté, la région Nouvelle-Aquitaine et par le collectif MESCLUN DURAB. Ce dernier, financé par le plan ECOPHYTO II+ et l'OFB est coordonné par Kevin Morel, chercheur à l'UMR SADAPT de l'Inrae Versailles-Grignon.

Le collectif MESCLUN regroupe des personnes de l'UMR SADAPT, Educagri et Bio-occitanie, ainsi que deux jeunes structures associatives : l'AFAUP (<http://www.afaup.org/>), l'ADN (<http://lassembleedesnoues.fr/>) et une entreprise privée de l'économie sociale et solidaire, Elzeard (<https://www.elzeard.co/>). Ces acteurs aux expertises complémentaires (recherche, enseignement, accompagnement, design, informatique), regroupés de manière informelle, ont décidé de mutualiser leurs efforts pour le développement d'outils numériques au service des maraîcher.ère.s (voir : <https://maraichage.wixsite.com/mesclun>). Ensemble, ils ont posé les jalons conceptuels de trois outils numériques, dont *La Pépinière* (voir annexe 1).

Enfin, MESCLUN DURAB a regroupé un panel plus large de partenaires (cf. annexe 2) pour rassembler les compétences supplémentaires nécessaires et couvrir une large diversité de systèmes de production de légumes.

Enjeux spécifiques de La Pépinière

La Pépinière est développée pour accompagner la planification des cultures. Cette dernière peut, en effet, s'avérer complexe dans les exploitations maraîchères. D'une part, plusieurs cycles de légumes peuvent se succéder sur une même parcelle au cours de l'année. D'autre part, pour répondre à la demande, il est aussi nécessaire d'échelonner les périodes d'implantation afin d'étaler les périodes de récolte (Navarrete et Le Bail, 2007). Or pour leur planification, les maraîcher.ère.s utilisent, s'ils ne sont pas sous format papier, des tableurs Excel ou d'autres outils comme QROP qui sont souvent compliqués à utiliser, peu ergonomiques et difficiles à mobiliser pour ceux qui n'en sont pas à l'origine (Lasalle 2019).

Avancement du projet

Ce stage arrive après la première étape de la démarche de co-construction de *La Pépinière* initiée en 2020 par Kevin Morel (agronome) et Paul Appert (designer). Ils sont allés une première fois à la rencontre des futurs utilisateurs (agriculteurs, conseillers et professeurs). Les huit ateliers qu'ils ont organisés à travers la France leur ont permis de recueillir les besoins et attentes des acteurs de terrain.

1.2.2 GECO

Le deuxième outil numérique, dont le prototype a été développé par INRAE et aujourd'hui géré par l'ACTA, s'intitule GECO (GEstion des CONnaissances). C'est un outil évolutif actuellement disponible pour les grandes cultures, et il est à adapter pour le maraîchage. Bien qu'ayant un développement qui lui est propre, il sera complémentaire de *La Pépinière*. Portant sur les pratiques à l'échelle de l'itinéraire technique* voire de la rotation culturale, GECO regroupe un espace de connaissances, « la base de connaissances », et un espace d'échanges, « le forum ».

Les objectifs de GECO

Ces deux espaces correspondent aux deux objectifs ci-dessous (Guichard et al. 2015) :

- Capitaliser, sous forme de fiches techniques, les connaissances agroécologiques déjà formalisées par différents acteurs d'accompagnement et de recherche, actuellement dispersées.
- Partager, à travers un forum ouvert à tous, des nouveaux systèmes de culture, des observations de terrain, et des expériences de techniques alternatives et leurs combinaisons.

Enjeux spécifiques de GECO

Sa création, en 2011 sous le nom d'AgroPEPS (Produire, Echanger, Pratiquer, S'informer), fait suite à un besoin, de la part des conseillers et ingénieurs du Développement Agricole, de partager et mettre en circulation des connaissances, notamment sur des techniques innovantes contribuant aux systèmes agroécologiques, récemment mises au point par la recherche ou produites à partir de l'expérience d'agriculteurs innovants (Guichard et al. 2015). En effet, les agriculteurs innove mais leurs innovations, et les connaissances qui en sont issues, restent souvent confinées dans leur ferme (Salembier 2019). GECO a été conçu comme un outil collaboratif, en ligne, pour faciliter la construction, la capitalisation, la formalisation et les échanges de connaissances en agroécologie (Guichard et al. 2015).

Depuis, GECO est devenu un outil du plan Ecophyto en 2015, piloté par les ministères en charge de l'agriculture, de l'écologie, de la santé et de la recherche, avec l'appui financier de l'Office Français

de la Biodiversité. Il est géré par des membres de l'ACTA, en partenariat avec INRAE, et vient en complément de la base de données EcophytoPIC (Protection Intégrée des Cultures) (<https://geco.ecophytopic.fr/a-propos-de-geco>).

1.3 Présentation de la problématique initiale posée par le projet PACON

Pour favoriser le développement de l'agriculture biologique, le projet PACON (PARTage, interopérabilité et mobilisation des CONnaissances par le Numérique pour la conception/gestion de fermes biologiques), dans lequel s'inscrit ce stage, a pour objectif global de contribuer au développement de ces deux outils et à leur articulation. Ce projet coordonné par Kevin Morel, et dont le schéma général se trouve en annexe 3, propose, en premier lieu, deux questions relatives aux deux outils :

Question 1 : Quel type de connaissances, quel niveau de détail, et quels modes de visualisation doivent être développés dans chaque outil ?

Question 2 : Comment penser l'articulation des connaissances entre ces deux outils qui présentent des utilisations (simulation et partage de connaissances) et des échelles différentes (la ferme pour *La Pépinière*, et le système de culture pour GECO) dans des démarches de (re)conception pour une production de légumes agroécologiques ?

1.4 Un stage en deux étapes

Cette problématisation de départ était très large en portant sur la nature et l'articulation des connaissances. Elle consistait finalement à rechercher quelles connaissances devaient être développées dans chaque outil. Il était en effet impossible de préciser l'ensemble des pratiques contribuant à la transition agroécologiques existantes pour les renseigner dans les outils en six mois de stage. Après une réflexion collective, nous avons proposé de décomposer le stage en deux parties :

- Une **phase exploratoire** qui consistait à répondre à la problématique initiale posée par le projet PACON. Cette partie comporte un premier état de l'art général, un descriptif de la méthode et la présentation des résultats.
- Une **phase d'approfondissement** : les résultats de la première phase ont permis de préciser la problématique et les questions de recherche autour des couverts végétaux. La structure développée est la même que la partie exploratoire.

Ces deux phases, l'une générale et l'autre approfondie sur une pratique, seront ensuite discutées au sein d'une même partie.

2. Phase exploratoire : Etat de l'art général

2.1 Le défi de la transition agroécologique en production de légumes

La transition agroécologique passe par la modification des pratiques. Ces dernières tendent à mieux valoriser les ressources offertes par l'agroécosystème et à favoriser l'autonomie des agriculteurs et la rentabilité des systèmes (Meynard 2017; Wezel et al. 2009; MAA 2013; FAO 2015). La gestion des bioagresseurs*, sujet de départ de cette étude, est un enjeu important de la transition agroécologique (Jeannequin, Dosba, Amiot 2005). Les cultures légumières sont en effet exposées à un nombre important de bioagresseurs (telluriques, aériens et adventices). De plus, les organes attaqués sont souvent les organes récoltés, ce qui peut rapidement provoquer des pertes économiques en cas de dégâts (Aubertot et al. 2005), faisant de la gestion des bioagresseurs un vrai challenge (Lefèvre et al. 2020).

L'objectif est alors de passer de pratiques essentiellement curatives via les PPP à des pratiques plus préventives pour réduire les risques de bioagresseurs en amont de l'épidémie (Meynard 2017). Dans le deuxième cas, ces pratiques sont combinées pour favoriser l'agrobiodiversité (David et al., 2011). Cette dernière a ensuite pour objectif de se substituer aux intrants chimiques de synthèse (Aubertot et al. 2005). Cependant, la régulation naturelle des bioagresseurs, par compétition ou prédation, n'est pas spontanée dans un système productif artificialisé (Navarrete et al. 2017). Cela met en avant l'importance de combiner les pratiques pour une production agroécologique dans le temps et dans l'espace (Lefèvre et al. 2020; Navarrete et al. 2017).

Par ailleurs, la diversification des cultures qui est observée sur les fermes maraîchères¹ est une pratique majeure pour maîtriser les bioagresseurs dans le cadre de l'agroécologie. Un nombre plus important d'espèces cultivées sur la ferme permet, en général, d'allonger le temps de retour d'une culture sur une même parcelle, favorisant ainsi un bon contrôle des bioagresseurs (Aubertot et al. 2005; Lefèvre et al. 2020). Cependant cette diversité accrue d'espèces cultivées complexifie la gestion de la ferme (Morel & Léger 2015). Les légumes sont, en effet, des cultures à cycle court qui se succèdent tout au long de l'année (Lanciano et al. 2012), ce qui occasionne une importante charge de travail et une organisation rigoureuse (Morel & Léger 2015; Dumont & Baret 2017). Cette organisation est lourde pour les maraîcher.ère.s qui doivent effectuer des compromis entre les enjeux commerciaux, sociaux et agronomiques (Dumont, Baret 2017; Morel, Léger 2015; Aubry 2011). De plus, les chefs d'exploitations diversifiées, souvent en circuit courts², doivent, pour chaque semaine,

¹ Les fermes maraîchères présentent une plus grande diversité de production que les exploitations légumières spécialisées.

² Système de commercialisation composé au maximum d'un intermédiaire entre le producteur et le consommateur

réfléchir l'adéquation entre la production et la demande des consommateurs désirant une large gamme de produits (Lanciano et al. 2012). La planification et l'assolement sont alors très complexes à définir et doivent prendre en compte de multiples dimensions (Lanciano et al. 2012; Morel, Léger 2015; Dumont, Baret 2017).

Les pratiques pouvant soutenir l'agroécologie, prenant place au sein de l'agroécosystème (Lefèvre et al. 2020), viennent donc soutenir une production de légumes écologiques dans un contexte socioéconomique tendu. Leur adoption ne sera possible que par l'intermédiaire de leur prise en compte au moment de la (re)conception du système (Lefèvre et al. 2020) si elles sont acceptables économiquement et socialement³ (Aubertot et al. 2005). Enfin, la mise en place de pratiques agroécologiques peut aussi être limitée par l'incomplétude des connaissances résultant de la complexité des processus agroécologiques mis en jeu et des incertitudes quant à l'ampleur et la vitesse à laquelle les régulations se mettent en place (Navarrete et al. 2017; Caquet, Gascuel, Tixier-Boichard 2020a).

2.2 Des outils numériques pour intégrer les pratiques agroécologiques en maraîchage

Les outils numériques sont présentés comme particulièrement prometteurs pour le renouvellement des dispositifs de partage de connaissances, d'accompagnement, d'enseignement et de communication (Agreenium 2018; Parache 2018).

En effet, pour accompagner le développement de l'agroécologie (Méndez, Bacon, Cohen 2014), et la capitalisation et le partage des connaissances qui peuvent la nourrir, les outils numériques pourraient faciliter l'innovation dans les fermes et le partage de connaissances des agriculteurs (De Tourdonnet et al. 2020; Chantre, Le Bail, Cerf 2014). La diversité de contextes locaux auxquels les agriculteurs font face, pourrait alors être mieux prise en compte (Gliessman 1990; Catalogna 2018). Cette diversité peut, en effet, conduire à certains verrouillages sociotechniques (Guichard et al. 2017) empêchant l'adoption de pratiques pour l'agroécologie. Strubbe et al. (2016) confirment que les problèmes, spécifiques à chaque exploitation, peuvent être résolus par des pratiques variables d'une ferme à l'autre (Caquet, Gascuel, Tixier-Boichard 2020a). Les solutions singulières, généralement basées sur des innovations rares, alors mises en place sur les exploitations, mériteraient d'être collectées, évaluées, analysées pour produire des connaissances et références génériques, et diffusées (Altieri 2002; Salembier et al. 2018; Navarrete et al. 2017).

En ce sens, des projets existent déjà pour référencer et faciliter l'accès aux connaissances pour l'agroécologie, via des portails de connaissances (VOA3R, Agrobiodoc, Organic.Edunet, Organic Farm

³ Également observé dans les fiches DEPHY trajectoire

Knowledge). Cependant, ces plateformes, peu renseignées pour le maraîchage, sont souvent assez génériques et très orientées vers la recherche de connaissances sans intégrer dans leur conception, et dans les interfaces associées, les usages possibles de ces connaissances (Martin-Moncunill et al. 2013).

De plus, l'ergonomie des outils numériques est un enjeu important pour que les outils soient adoptés par les utilisateurs (Parache 2018). A travers les outils, ces derniers pourront, en amont de la culture, savoir où, quand, comment et pourquoi utiliser une pratique pour l'insérer dans une démarche de conception systémique d'un système agroécologique.

2.3 Spécificités et objectifs de démarches de co-conception avec les acteurs

Les outils GECO et *La Pépinière* étant développés à destination des agriculteurs, des conseillers et des enseignants, il est important d'impliquer ces futurs usagers dans la conception de tels outils. En effet, pour que des connaissances soutiennent la (re)conception des fermes et favorisent les apprentissages, elles doivent être jugées crédibles, pertinentes, fiables, mais surtout actionnables par les acteurs (Cash et al. 2003; Toffolini 2016).

Ainsi, la co-conception des outils avec les utilisateurs permet de « tenir compte des contraintes des agriculteurs pour leur mise en place sur leur exploitation » (Navarrete et al. 2017). Pour cela, les échanges avec les utilisateurs doivent se succéder tout au long de la création de l'objet (Meynard, Dedieu, Bos 2012). Ce processus itératif favorise alors l'adéquation entre le prototype coconçu et les besoins des futurs utilisateurs (Reau et al. 2012).

D'autre part, pour échanger lors des rencontres avec les acteurs, il est intéressant d'utiliser des supports concrets comme des cartes mentales ou d'autres représentations visuelles (Strubbe et al. 2016; Dogliotti 2013). Ces supports de discussions peuvent notamment permettre d'aider à clarifier les défis et difficultés des outils en cours de développement (Strubbe et al. 2016). D'autres auteurs comme Dogliotti (2013) ont aussi utilisé des représentations graphiques en arborescence pour mettre en lumière les points de blocage du système que ce soit du point de vue des agriculteurs que des scientifiques. Il a alors été plus aisé d'échanger et de coconstruire le nouveau système selon des axes de travail identifiés.

Comme on vient de le voir, la production légumière, par sa complexité, pourrait bénéficier d'un accompagnement numérique pour la planification et l'assolement des légumes. Certaines pratiques, identifiées comme participant à une démarche agroécologique, pourraient être prises en compte dès cette planification dans une démarche systémique. La méthodologie de la phase exploratoire consiste alors à coconstruire, avec les acteurs du maraîchage, l'intégration des connaissances agroécologiques dans les futurs outils numériques pour qu'ils correspondent à leurs besoins.

3. Phase exploratoire : Méthode

En accord avec les encadrants, il été convenu, dans un premier temps, de traiter uniquement les leviers relatifs à la protection phytosanitaire des légumes. Ce choix restrictif se justifie par les ressources bibliographiques et techniques que nous avons facilement à disposition sur le sujet, notamment dans les fiches du réseau DEPHY (réduction des produits phytosanitaires) et du GIS PIClég (Groupement d'Intérêt Scientifique pour la Production Intégrée en Cultures légumières), et par l'importance du problème en systèmes maraichers.

La première moitié du stage a donc été très exploratoire en partant d'un sujet d'étude large. Dans une démarche de co-construction (Meynard, Dedieu, Bos 2012), les avancées de chaque étape ont été présentées et discutées lors des suivantes pour aboutir à l'identification des besoins précis des maraîchers en termes de connaissances agroécologiques.

3.1 La gestion des bioagresseurs en agroécologie

Afin de mieux connaître les différentes pratiques agroécologiques pouvant participer à la réduction des produits phytopharmaceutiques, des recherches approfondies ont été menées sur le sujet avant d'interroger les acteurs. Ce travail de bibliographie avait pour objectifs de mieux connaître les pratiques agroécologiques pour la gestion des bioagresseurs (BA), ainsi que les combinaisons de pratiques mises en place par les agriculteurs pour limiter la pression des BA. Il apparaît que les pratiques sont nombreuses. Leur utilisation et les éventuelles combinaisons sont singulières à chaque système de production (Lamichhane et al. 2015; Caquet, Gascuel, Tixier-Boichard 2020a). Le nombre limité de fiches trajectoires et expérimentation du réseau DEPHY et la diversité de systèmes n'ont pas non plus permis d'identifier des similitudes de gestion des bioagresseurs dans les exploitations étudiées (Eckert et al. 2015).

De plus, les cultures maraîchères sont exposées à un grand nombre de bioagresseurs (BA) (Lefèvre et al. 2020). Ces derniers peuvent créer des dégâts (altération visible du végétal (symptôme)), entraînant souvent des dommages (perte de récolte qualitative ou quantitative) et enfin, des pertes économiques (Launais et al. 2014). Pour ne pas franchir les seuils biologiques et économiques de nuisibilité, la protection des légumes se réfléchit alors sous le prisme d'un tétraèdre « Peuplement végétal - Bioagresseurs - Environnement – Homme » (Aubertot et al. 2005). Cette structure polynomiale entraîne des choix spécifiques de pratiques de la part de l'agriculteur pour gérer la pression des BA, que l'on appellera « stratégie » (Lefèvre et al. 2020). Cette dernière prend en compte trois axes d'intervention pour prévenir et limiter le développement des BA (Aubertot et al. 2005; Ecophytopic 2021) :

- **Prévenir** : limiter l'apparition d'une épidémie de bioagresseurs. Pour cela, il est possible d'agir sur le matériel végétal, les pratiques culturales, les infrastructures agroécologiques et l'hygiène et le nettoyage.
- **Piloter** : décider, le cas échéant, une intervention au meilleur moment. Pour cela, il est possible d'agir sur l'identification et le diagnostic, la surveillance, l'évaluation des risques et l'utilisation d'outils d'aide à la décision.
- **Protéger** : limiter le développement des bioagresseurs lorsqu'ils sont installés et présentent un risque de dégâts ou de pertes. Pour cela, il est possible d'agir avec les méthodes physiques, les produits de biocontrôle, la lutte biologique, l'optimisation des méthodes chimiques et les matériels et technologies.

Les maîtrise des bioagresseurs est donc un enjeu important en maraîchage. Leur gestion est complexe car elle dépend de plusieurs facteurs. Les stratégies de protection des cultures sont nombreuses, mais doivent être adaptées à chaque contexte. Intégrer dans les outils une telle diversité de pratiques est une difficulté majeure qui nécessitait d'être discuté avec les partenaires du projet.

3.2 Interactions avec les partenaires pour la gestion des BA

La démarche de co-conception a suivi le développement de *La Pépinière* car les rendez-vous avec les acteurs du maraîchage étaient déjà planifiés et les utilisations de l'outil étaient plus précises (planification et assolement) que GECO (toute pratique contribuant à la transition agroécologique). Cette méthode avait donc pour objectif d'identifier essentiellement les connaissances agroécologiques qui pouvaient être intégrées dans *La Pépinière* mais aussi de voir lesquelles seraient nécessaires d'être apportées via un autre outil (GECO).

3.2.1 Mise au point de supports pour alimenter les discussions

Pour préparer les échanges avec les acteurs, nous avons d'abord envisagé de mettre au point des supports pour discuter des nombreuses connaissances agroécologiques pour la gestion des BA. D'une part, les supports visuels en arborescence répondaient en effet au besoin de soutenir les échanges comme cela a été développé dans la partie état de l'art général (Hatchuel, Weil 2009; Dogliotti 2013; Strubbe et al. 2016; Salembier 2019; Salembier et al. 2018). D'autre part, la représentation sous forme d'arborescences permettait de structurer les pratiques et de toutes les avoir sur une seule page de diaporama. Les échanges étant pour moitié à distance, ce support visuel semblait être adéquat même s'il était très condensé.

Ainsi, pour structurer et représenter les pratiques, trois arbres de pratiques pour la gestion des BA ont été créés, dont l'un est présenté pour exemple en annexe 4. Ils répondent chacun à un type de BA : telluriques, aérien et adventices. Les pratiques étaient en effet classées et évaluées en fonction

de ces trois types de BA dans la littérature scientifique (Aubertot et al. 2005; Lefèvre et al. 2020) et technique (Lefèvre 2019; Launais et al. 2014; Eckert et al. 2015). Les pratiques agroécologiques relevées dans les documents techniques DEPHY et du GIS PICLEG (Launais et al. 2014; Lefèvre 2019; Eckert et al. 2015) ont ensuite été classées en 3 « branches » principales correspondant aux trois axes d'interventions explicités plus haut (prévenir, piloter, protéger).

3.2.2 Premier échange : Atelier « experts » avec les partenaires de La Pépinière

Les allers-retours avec les acteurs de terrain, essentiels dans une démarche de co-conception ont commencé par un atelier « experts » avec les partenaires de *La Pépinière*. Cet atelier, organisé le 08 mars 2021 pour présenter les premières maquettes de *La Pépinière*, était l'occasion d'amorcer les discussions autour des connaissances agroécologiques qu'il serait possible d'intégrer dans l'outil.

Les arbres de pratiques ont été présentés dans un premier temps afin de proposer concrètement l'ensemble des pratiques qui pourraient être intégrées dans l'outil. Nous avons ensuite interrogé les partenaires du projet sur :

- Quelles pratiques seraient pertinentes à développer dans *La Pépinière* ?
- Quel niveau de détail serait à renseigner pour chaque pratique ?
- Quelle structure pourrait être développée dans l'outil pour présenter et rendre accessible les pratiques dans l'outil ?
- Quelle évaluation serait-il envisageable de développer lors de l'utilisation des pratiques dans la simulation d'un système maraîcher.

Cette première étape d'échange a eu pour mission de servir de base de réflexion en s'appuyant sur l'expérience des acteurs du maraîchage. Des pistes de réflexions ont été attendues plutôt que des réponses concrètes et chiffrées.

3.2.3 Deuxième partie des échanges : Entretiens avec 4 experts

A la suite de l'atelier « experts » du 8 mars, les arbres ont été retravaillés pour servir à nouveau de support dans 4 entretiens. Ces entretiens avaient pour objectif d'ajuster les propositions qui seraient faites aux futurs utilisateurs en termes de fonctionnalités de *La Pépinière*.

Les experts rencontrés, Mathieu Conseil de l'ITAB de Bretagne, Romain Roche de l'INRAE Avignon, Amélie Lefèvre de l'INRAE Montpellier et Cathy Eckert du CTIFL, sont des partenaires de *La Pépinière* qui étaient invités au premier atelier. Ces quatre experts ont nourri, un peu plus en détail, les réflexions autour des questions abordées dans l'atelier « experts ». Chaque entretien a duré près d'une heure en visio-conférence.

3.2.4 Troisième partie des échanges : Ateliers avec les futurs utilisateurs

Avec les échanges précédents qui devaient nous offrir une vision générale, nous pensions pouvoir présenter une première proposition du « volet agroécologique pour la protection des légumes » de *La Pépinière* proche des besoins des maraîcher.ère.s.

Quatre ateliers ont été organisés pour rencontrer les maraîcher.ère.s, les conseiller.ère.s et les professeur.e.s des structures partenaires de *La Pépinière*. Le premier était en distanciel avec 6 conseiller.ère.s et 3 maraîcher.ère.s du Sud-Ouest, et les trois suivants se sont déroulés en Bretagne en présentiel. Ce fut l'occasion de rencontrer 2 conseiller-ère-s du GAB 29, puis 2 maraîcher.ère.s proches de Saint Malo et enfin 2 membres de la FRAB Bretagne.

Ces ateliers commençaient par la présentation des interfaces générales de *La Pépinière* puis de la proposition qui avait été élaborée au fil des échanges précédents. Un temps de discussion pour partager les avis, critiques, questions et attentes, a ensuite été proposé. Ces échanges avaient alors pour objectif de modifier la proposition élaborée lors des étapes précédentes, pour répondre aux besoins concrets des futurs utilisateurs de *La Pépinière*.

4. Phase exploratoire : Les résultats

Deux questions de recherche exploratoires étaient posées au début de ce stage. Les résultats de cette première partie seront présentés en réponse aux deux questions générales, l'une faisant suite à l'autre.

Question 1 : Quel type de connaissances, quel niveau de détail, quels modes de visualisation, et quelles articulations entre les échelles de la ferme, des itinéraires techniques, et des systèmes de culture, doivent être développées dans chaque outil ?

L'atelier « experts »

Lors du premier atelier « experts » le 8 mars, les experts ont semblé être surpris de la volonté d'intégrer un volet de protection phytosanitaire dans l'outil de *La Pépinière*. Ils ont eu des difficultés à apporter des éléments de réponse aux questions qui leurs étaient posées sur la nature, le niveau de détail et l'évaluation des pratiques pour réduire l'usage des PPP. Cela s'explique notamment par le questionnement large autour des leviers agroécologiques qui ne s'accordaient pas à l'utilisation précise de *La Pépinière* pour définir très concrètement l'assolement et la planification. D'autres réponses ont pu être apportées par les experts :

- La réduction de l'IFT est bien un objectif pour aller vers une production plus agroécologique a confirmé Hayo Van Der Werf, chercheur Inrae. Cependant il précise que cela pouvait entraîner

l'augmentation d'autres sources de pollution créées par les pratiques de substitution (carburant, plastique...).

- Dans l'idéal, il aurait été bien de développer plusieurs stratégies de lutte contre les BA pour chaque culture afin d'inspirer l'utilisateur et de montrer les variations d'impacts économiques, sociaux et environnementaux entre ces stratégies. Cependant les cultures sont nombreuses, et il existe une grande diversité de pratiques phytosanitaires pour chacune d'elles, parfois au sein même de l'exploitation.
- Renseigner les pratiques agroécologiques de façon très précise serait très long et les données peuvent manquer pour leur évaluation au sein du système (non évaluée ou non évaluable). Pour éviter cette impasse, l'évaluation des stratégies de gestion des BA pourrait être très générale en indiquant seulement des tendances (telle stratégie a tels avantages par exemple).
- Enfin, il a été bien spécifié que l'outil ne devait pas être prescriptif. Il doit simplement aider à représenter les choix de l'utilisateur et proposer les options disponibles ou des exemples.

Ces discussions ont montré que ce serait une impasse de chercher à présenter précisément des stratégies évaluées et contextualisées de gestions des BA. De ce constat, une approche globale de la santé des plantes à l'échelle de la ferme semblait plus adaptée. Cette hypothèse a mené à la création de 5 grandes orientations de protection phytosanitaire des légumes, du plus intensif en intrant, au plus économe (cf annexe 5). Ces nouvelles arborescences représentent les pratiques de protection des légumes mobilisées dans les 5 systèmes théoriques présentant des échelles différentes de réduction des PPP. Ces 5 schématisations de systèmes ont été élaborées en s'inspirant de l'expérimentation de réseau DEPHY « 4SYSLEG » et des observations faites dans les autres ressources techniques utilisées pour la création des premiers arbres. Les pratiques ont été sélectionnées pour chaque système selon les mêmes ressources.

Les 4 entretiens experts

Ces nouvelles représentations ont alors servi de support pour les 4 entretiens experts individuels qui ont suivi l'atelier « experts » général. Ces derniers ont confirmé l'impression d'impasse concernant la précision des informations à renseigner sur chaque pratique et la charge de travail que cela représenterait de relever et d'intégrer de telles données dans l'outil.

Comme nous l'avions imaginé, le nouveau support présenté n'est pas apparu comme pertinent à insérer tel quel dans les outils car les pratiques n'étaient pas reliées à des objectifs de maîtrise d'un bioagresseur donné. Les experts ont, en effet, insisté sur le fait qu'une stratégie de protection phytosanitaire devait répondre à la pression d'un BA sur une culture. Chaque BA et chaque culture ont en effet des caractéristiques qui leur sont propres, rendant la généralisation des stratégies de protection phytosanitaire impossible. Les arborescences à développer devraient au moins répondre à

un « couple » BA-culture(s) pour être suffisamment informatives et pertinentes. Or ce travail aurait pu être long à mener pour identifier les « couples bioagresseur-culture » prioritaires et pour ensuite créer les arbres de leviers correspondants. Ce stage, par sa trop courte durée, n'aurait pas pu permettre de créer une diversité suffisante d'arbres pour couvrir la grande diversité de situations que *La Pépinière* pouvait créer. De plus, l'objectif d'évaluation des pratiques restait difficile à remplir à cause de la diversité de contextes des exploitations.

L'hypothèse de créer 5 grandes logiques de gestion des BA à l'échelle de la ferme pour simplifier le raisonnement a donc été jugée non satisfaisante car ces orientations ne seraient pas assez précises et concrètes.

Les ateliers utilisateurs

N'ayant pas abouti à une proposition concrète pour intégrer des connaissances agroécologiques dans *La Pépinière*, les hypothèses émises pendant les précédents échanges ont été expliquées aux utilisateurs. Il leur a ensuite été demandé quels éléments (parmi ceux de l'arborescence en annexe 6) étaient intéressants pour eux lorsqu'ils concevaient leur assolement et leur planification et quelles idées supplémentaires ils avaient.

Tout d'abord, nous avons relevé que la diversification et l'allongement des rotations de cultures ainsi que la résistance variétale, tous trois permis par le maraîchage diversifié, étaient les leviers principaux mis en place pour limiter la pression des BA. Cependant, la réduction des produits phytosanitaires n'était pas la priorité en maraîchage diversifié face à la complexité de produire une grande diversité de légumes sur les plus longues périodes possibles afin de satisfaire la demande. Au-delà de ces pratiques essentielles pour soutenir un système de production agroécologique citées plus haut, il est, en effet, apparu que certains leviers étaient difficiles à mettre en œuvre pour des raisons d'organisation. Ces leviers mis en place de façon non systématique sont : **l'occultation⁴, les couverts végétaux (engrais verts en interculture, couverts intercalaires, insertion prairie et cultures céréalières dans la rotation), la solarisation et le faux-semis**. Tous ont une influence sur la planification et l'assolement et seraient intéressants à développer. Cependant les utilisateurs ont témoigné un intérêt tout particulier pour les couverts végétaux. Ces derniers, répondant à plusieurs enjeux agroécologiques, pourraient faire l'objet d'une attention particulière au moment de la planification. Un maraîcher nous a en effet confié : « en saison si je les (couverts) ai pas planifiés, je n'ai pas le temps d'y penser, c'est dommage ».

Les utilisateurs ont donc identifié que l'outil de *La Pépinière* pouvait permettre de planifier

⁴ L'occultation consiste à couvrir le sol avec une bâche opaque ou un paillage organique, afin d'éliminer les adventices qui, du fait de l'absence de lumière, ne peuvent se développer.

plus facilement dans le temps et dans l'espace certains leviers agroécologiques. Ces derniers, qui étaient plutôt mis en place en lien avec une opportunité, comme ont déclaré les utilisateurs, pourraient être positionnés dans la frise de planification (figure 1) pour combler un « trou » entre deux cultures par exemple, de la même manière que les légumes.

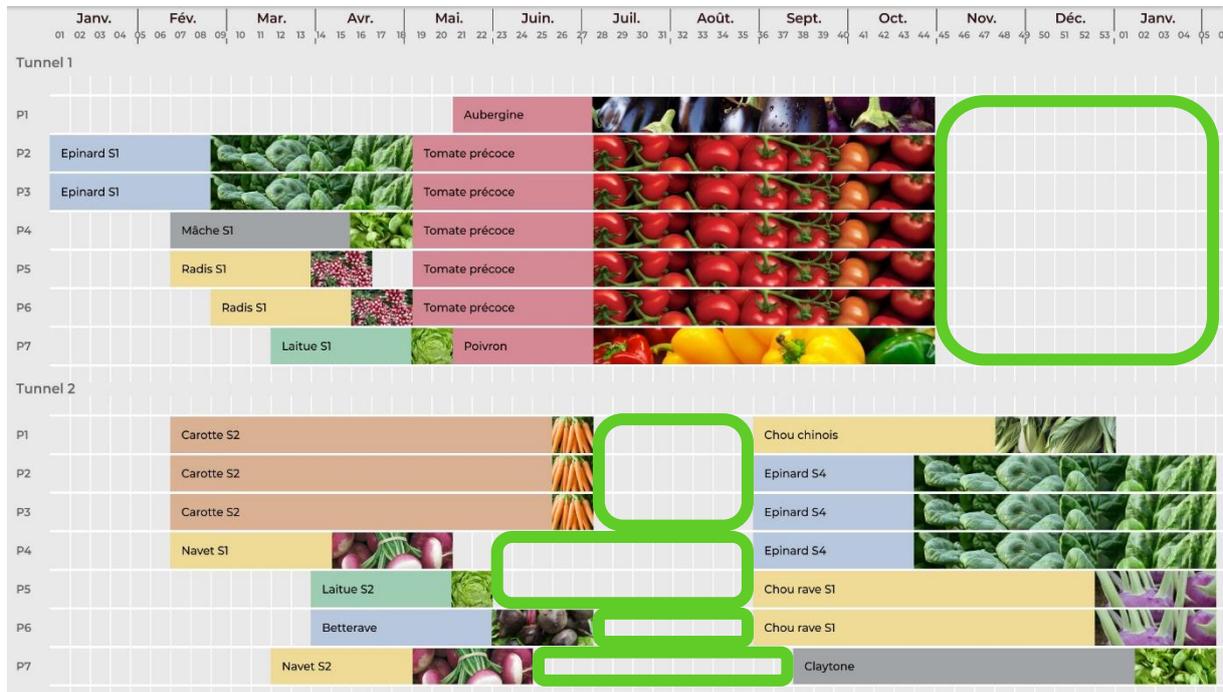


Figure 1 : Exemple de « trous » présents dans la planification d'un système de légumes diversifié sous abris. Capture d'écran d'une maquette de La Pépinière créée par Paul Appert, 2021.

Question 2 : Comment penser l'articulation entre ces deux outils qui abordent des échelles différentes (la ferme pour *La Pépinière*, et le système de culture ou l'itinéraire technique pour GECO) dans des démarches de (re)conception pour une production de légumes agroécologiques ?

Les échanges ont permis de voir que les connaissances à mobiliser dans *La Pépinière* devaient être très synthétiques : « le plus important c'est de savoir si on a la place et quand » disait un conseiller au sujet des couverts végétaux. Cependant, d'autres informations sur les propriétés des couverts végétaux et leur itinéraire technique (techniques de semis ou de destruction par exemple) pourraient être intéressantes à développer en dehors de *La Pépinière*. C'est ici que le lien entre *La Pépinière* et GECO pourrait être fait. GECO pourrait alors compléter les pratiques proposées dans *La Pépinière* pour apporter plus de connaissances afin de répondre au besoin d'informations perçu dans les échanges.

Les résultats de la première phase ont confirmé les limites et difficultés à intégrer des connaissances et références contextualisées en termes de gestion agroécologique des BA au sein de *La Pépinière*. En effet, la diversité de contextes sur les fermes met en jeu de nombreuses combinaisons de pratiques différentes, difficiles à évaluer, relever et intégrer dans l'outil. A l'inverse une approche globale de la gestion des BA au niveau du système n'a pas été jugé pertinent par les partenaires et utilisateurs. Enfin, plutôt que tenter d'intégrer des pratiques pour la protection des cultures, les futurs

utilisateurs ont préféré que les couverts végétaux soient développés dans les outils en considérant que c'était un levier agroécologique central dont l'intégration dans la planification et l'assolement était un vrai défi.

5. Précision de la problématique

Les résultats de la phase exploratoire ont montré que les deux outils numériques étudiés pourraient être utilisés de manière complémentaire pour soutenir l'intégration des couverts végétaux lors de la définition de l'assolement et de la planification. Cette pratique, mobilisable lors de la (re)conception des systèmes légumiers et jusqu'à maintenant difficile à mettre en place au sein de la complexité d'une ferme maraîchère, pourrait être planifiée dans *La Pépinière*. De plus, un lien serait proposé dans *La Pépinière*, pour accéder à plus d'informations contextualisées sur cette pratique dans GECO.

La suite du stage s'est alors focalisée sur les couverts végétaux, mobilisant à la fois des connaissances techniques fines et leur prise en compte dans la planification.

Venant approfondir la première phase exploratoire à travers une pratique concrète, la problématique suivante a été définie : **Comment concevoir et accompagner l'adoption des couverts végétaux, dans la planification et l'assolement en maraîchage grâce à des outils numériques ?**

Cette problématique permettait de répondre à un objectif opérationnel pour *La Pépinière* : synthétiser et caractériser les connaissances sur les couverts végétaux pour leur mobilisation dans *La Pépinière*. Pour cela, les informations à rechercher furent :

- Les périodes d'occupation des sols en fonction des climats et modes de production (plein champ, abri).
- Les informations clés pour les maraîcher.ère.s (équipement nécessaire, fonctions remplies par les couverts végétaux, coûts, techniques adaptées pour leur gestion).

Pour l'outil numérique GECO, il s'agissait de relever les informations/connaissances présentes sur les fermes pertinentes à présenter pour explorer plus finement l'intégration de couverts dans un contexte donné. Ces connaissances seraient présentées sous la forme de « fiches logiques d'action » déjà développées dans l'outil (exemple en annexe 7) pour partager les savoirs des agriculteurs innovants. Ainsi l'hypothèse faite était la suivante : présenter plusieurs options contextualisées de mise en place des couverts végétaux peut inspirer la conception d'une nouvelle option adaptée au contexte de la ferme.

6. Phase d'approfondissement : Méthode

6.1 Réalisation d'un état de l'art sur les couverts végétaux

Le départ de la phase d'approfondissement consistait à mieux connaître les couverts végétaux avant de rencontrer les maraîcher.ère.s. L'objectif était de synthétiser ce que l'on connaît sur les types de couverts végétaux existants, sur les fonctions qu'ils assurent et sur les itinéraires techniques possibles. Ces informations tirées d'une bibliographie scientifique et technique ont permis d'établir un guide d'entretien adapté aux couverts végétaux. Lors des enquêtes, une bonne connaissance de ces derniers permettait d'être plus précis dans les échanges avec les maraîcher.ère.s. L'enjeu était en effet d'être le plus complet possible dans l'acquisition des connaissances techniques liées à la mise en place des couverts.

6.2 Réalisation d'entretiens semi-directifs

Pour étudier les pratiques des maraîcher.ère.s, la méthode de l'entretien semi-directif a été choisie (Chia, Brossier, Marshall 1991). Cette méthode d'enquête qualitative permet de questionner les maraîcher.ère.s sur leurs pratiques pour conduire les couverts végétaux de façon précise, et sur la justification de l'emploi de ces dernières (Adams 2015). Ainsi le pourquoi et le comment ont été explorés dans le détail en laissant à la fois la liberté de développer une réponse et en recueillant toutes les informations nécessaires à l'étude.

6.2.1 Les objectifs

Les objectifs principaux des entretiens semi-directifs sont présentés sous formes de questions dans les encadrés jaunes du schéma ci-dessous :

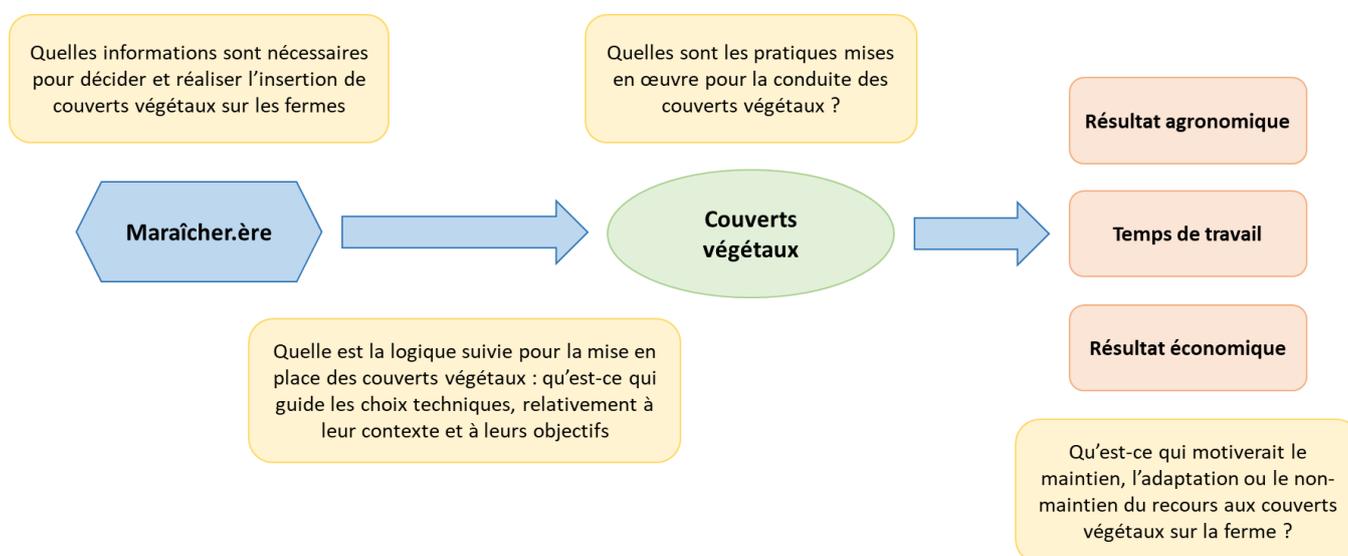


Figure 2 : Objectifs des entretiens (encadrés jaunes) pour mieux connaître ce qui justifie la mise en place des couverts végétaux (et leur conduite) par les maraîchers en fonction de leurs attentes et contraintes ainsi qu'en fonction de la satisfaction obtenue des couverts végétaux (encadrés rouges) et des informations dont ils avaient à disposition. Vincent Jordon, 2021.

6.2.1 Les maraîcher.ère.s enquêtés

10 à 15 maraîcher.ère.s enquêtés

En accord avec mes maîtres de stage, nous nous sommes fixé l'objectif de réaliser entre 10 et 15 entretiens avec des maraîcher.ère.s utilisant des couverts végétaux sur leur exploitation. Ce chiffre s'explique par (1) la volonté d'explorer une certaine diversité de pratiques et d'objectifs concernant les couverts végétaux, (2) le temps disponible pour réaliser et valoriser les entretiens.

Profil des maraîcher.ère.s recherché

Les 10 à 15 maraîcher.ère.s devaient utiliser des couverts végétaux depuis plusieurs années pour avoir un retour d'expérience sur leurs pratiques, pour qu'ils aient eu le temps de faire une analyse critique de leurs couverts végétaux et imaginé (voire mis en œuvre) des améliorations. Pour atteindre l'objectif de donner un exemple de couverts végétaux pouvant inspirer d'autre maraîcher.ère.s, il était nécessaire de relever des pratiques déjà éprouvées par le maraîcher sur sa ferme, qui remplissent la majeure partie des objectifs qu'il s'était fixés. Une expérience de 2 cycles de culture complets de couverts végétaux minimum était alors requise.

Contact des maraîcher.ère.s

Il n'y avait pas de liste de contact établie pour cette enquête, dans le temps contraint, il s'est avéré judicieux de se tourner vers les partenaires du projet MESCLUN avec qui le contact était déjà établi lors des étapes précédentes. Bio-Occitanie et la Fédération Régionale d'Agriculture Biologique (FRAB) de Bretagne étaient les deux organismes d'accompagnement agricole qui ont donc été contactés en premier lieu. De plus, nous avons demandé à ces deux organismes s'ils avaient des contacts de leurs homologues en chambre d'agriculture ou autre structure d'accompagnement agricole sur leur zone d'activité. Afin d'être certains de remplir l'objectif d'au moins dix entretiens, il a été décidé de contacter dans un second temps les chambres d'agriculture et le réseau FRAB de la région PACA et de l'ex-région Rhône-Alpes. Le quart Nord-Est de la France n'a alors pas été exploré car le travail de prise de contact était chronophage et le nombre d'agriculteurs disponibles pour un entretien s'est avéré suffisant dans les régions explorées.

Une fois les contacts de maraîcher.ère.s obtenus, dont 1 donné par un maître de stage, un repéré sur YouTube et un dernier via AGROSEMENS, un rendez-vous a été fixé avec les maraîcher.ère.s.

6.2.2 Préparation du guide d'entretien

Un guide a été conçu dans le but de lister les informations à acquérir lors des entretiens pour répondre aux objectifs présentés précédemment (annexe 8). L'ensemble des informations présentes dans le guide d'entretien répondait aux questions générales suivantes :

- Quel est le contexte de la ferme ?

- Quelles pratiques mobilise le maraîcher (types de couverts, dates, technique/outils pour le semis et la destruction, les interventions éventuelles, ...)
- Pour quelles raisons le maraîcher a-t-il mis en place des couverts végétaux (Fertilité, gestion adventices, gain socio-économique...) ?
- Quel lien y a-t-il entre les pratiques et les objectifs : pourquoi choisit-il ces pratiques par rapport à ses objectifs et pas d'autres ?
- Quelle satisfaction a-t-il de ses couverts, quelles améliorations a-t-il déjà réalisé et/ou envisage-t-il ?
- Quelles adaptations du système de production sont nécessaires pour utiliser des couverts végétaux ?
- Quelles informations a-t-il- utilisées et a-t-il besoin pour mettre en place les couverts végétaux ?

Enfin le guide d'entretien devait être relativement court pour que les entretiens ne durent pas plus de 45 minutes pour respecter la faible disponibilité des maraîcher.ère.s sur la période de l'étude.

6.2.3 Déroulement des entretiens

Réalisation des entretiens

Les entretiens ont été réalisés pour 11 d'entre eux par téléphone et les 2 autres sur la ferme du maraîcher. Les entretiens téléphoniques ont été privilégiés car les fermes étaient souvent éloignées les unes des autres et les maraîcher.ère.s pas toujours disponibles au même moment lorsqu'ils étaient proches. La durée des entretiens se situait entre 40 minutes et une heure.

Les réponses des maraîcher.ère.s ont été prises en note sous les questions du guide d'entretien au maximum.

Reprise des entretiens

Après chaque entretien, une mise en forme des notes a été réalisée. Les informations manquantes ou à préciser ont été identifiées pour questionner les maraîcher.ère.s lors d'un second appel. Tous les maraîcher.ère.s ont alors été rappelés une seconde fois entre 5 et 20 minutes pour compléter les informations recueillies lors du premier échange. Les prises de notes nouvellement réalisées ont ensuite été ajoutées au compte-rendu initial des entretiens.

6.2.4 Analyse des entretiens

Afin de comparer les pratiques des couverts végétaux, plusieurs étapes ont été réalisées.

Dans un premier temps, une vue d'ensemble des pratiques était recherchée pour avoir une première idée très visuelle de la diversité des couverts végétaux étudiés. Il est alors apparu pertinent de réaliser des frises chronologiques des itinéraires techniques des couverts végétaux, des successions

dans lesquelles ils étaient insérés et quand cela était nécessaire de l'espace qu'ils occupaient sur la parcelle (figure 3). Cela permettait de voir rapidement la période d'implantation des couverts, les espèces semées, les précédents et suivants ainsi que les interventions réalisées. Ces frises, sont par ailleurs insérées dans les fiches « logique d'action » de l'outil GECO.

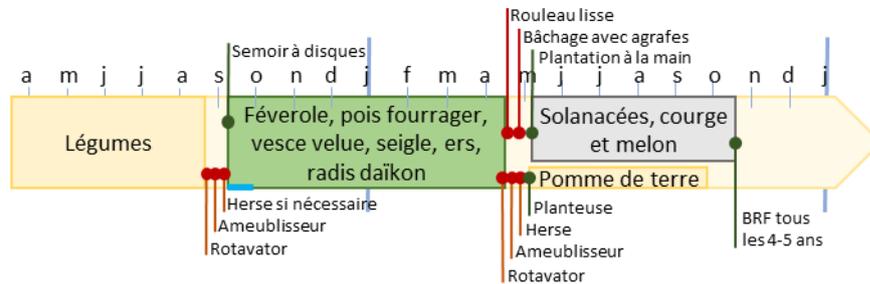


Figure 3 : Exemple de frise chronologique de la mise en place d'un couvert végétal. V. Jordon 2021.

Ensuite, pour analyser la logique poursuivie par chaque maraîcher dans la conduite de ses couverts en fonction de son contexte et ses objectifs, un résumé sous la forme d'un petit récit synthétique pour chaque ferme a été rédigé (exemple en annexe 9). Ces récits comportent alors un condensé d'information (contexte, objectifs et pratiques majeures) pour comprendre pourquoi le maraîcher a choisi ces couverts et pourquoi il les a conduits de cette façon.

Par la suite, une analyse transversale a été menée en comparant les récits et les frises de toutes les fermes. Cette synthèse qualitative avait pour objectif d'étudier la diversité rencontrée dans les entretiens, de regarder si certains choix techniques sont mis en place par plusieurs maraîcher.ère.s pour les mêmes raisons et s'il y a des stratégies différentes pour atteindre le même objectif. Cette étape permettait aussi d'apporter des réponses quant aux informations à renseigner dans les deux outils numériques en compilant les réponses des maraîcher.ère.s.

Ces deux niveaux d'analyse, de la logique individuelle puis de l'analyse transversale, correspondent aux méthodes d'analyses des cas d'études développées par Eisenhardt (1989) et Yin (2009).

6.3 Création des fiches GECO

Les fiches GECO ont été créées à la suite de l'analyse transversale. Ces fiches ont ensuite été envoyées aux maraîcher.ère.s pour qu'ils valident les informations renseignées.

7. Etat de l'art sur les couverts végétaux

Les couverts végétaux sont des cultures intermédiaires mises en place pour couvrir le sol dans le temps et/ou dans l'espace où la culture de rente ne le fait pas, pour que le sol soit occupé par des plantes maîtrisées (Loubes, Brasiles, Sarthou 2016). Ce sont des cultures qui ne sont pas destinées à la vente (CA PdL 2015; Celette, Duchene 2020). Le terme « couvert végétal » regroupe une grande diversité d'espèces et d'associations d'espèces, d'objectifs et de pratiques (Ghesquière J. et al. 2012).

Cette diversité de couverts végétaux sera détaillée à la suite de la première partie de cet état de l'art, consacrée à leurs objectifs. Ces derniers explicités, il sera alors plus confortable de comprendre les différents types de couverts existants et espèces qui les composent.

7.1 Objectifs

« L'objectif principal de ces plantes cultivées n'est pas une production commerciale mais plutôt de valoriser les interactions avec les autres cultures de la rotation (directes et indirectes) » (Celette, Duchene 2020). Les services rendus par les couverts végétaux sont multiples, entraînant des choix d'espèces particuliers. Il est possible de ne sélectionner qu'une espèce ou plusieurs pour créer un mélange (Sudres et al. 2016).

D'une manière générale, l'intégration des couverts végétaux « permet de repenser les rotations, de gérer la nutrition azotée des cultures en faisant moins appel aux engrais minéraux et de mieux gérer les fins de culture » (CA PdL 2015).

Plus précisément, les couverts végétaux peuvent viser les objectifs suivants :

7.1.1 Limiter les fuites de nitrates

Les couverts végétaux, nommés CIPAN⁵ (décrits plus loin) dans cet objectif-là, permettent de prélever les nitrates contenus dans le sol (Masiunas 1998) issus de la fertilisation et de la minéralisation de la matière organique (dont les résidus de la culture précédente). Ainsi, la lixiviation des nitrates est diminuée, permettant en conséquence la réduction de la pollution des cours d'eau et des nappes phréatiques (Loubes, Brasiles, Sarthou 2016; GABB 32 2013). De plus, cet azote, capté par les couverts, peut ensuite être restitué à la culture suivante suite à la décomposition de l'interculture.

7.1.2 Limiter le développement des BA (adventices, ravageurs telluriques et aériens)

Le contrôle des adventices est un enjeu majeur lorsqu'il est question de réduction des herbicides (Creamer et al., 1997). Ce contrôle peut passer par l'installation de couverts végétaux par compétition hydrominérale et lumineuse (Loubes, Brasiles, Sarthou 2016) afin d'étouffer les

⁵ Culture Intermédiaire Piège à Nitrates

adventices (CA PdL 2015). Dans ce cas, un couvert multi-espèces est recommandé pour assurer le développement du couvert si une espèce venait à ne pas germer (à cause du climat, d'un BA...) (Ghesquière J. et al. 2012).

Outre la compétition, certaines espèces comme le sarrasin et le seigle ont un effet allélopathique, produisant des exsudats racinaires toxiques, qui inhibent le développement des adventices (CA PdL 2015). En plus de leur rôle de gestion des adventices pendant leur période d'installation, les couverts peuvent être laissés et servir de paillage pour la culture suivante (Creamer et al., 1997).

D'autres bioagresseurs que les adventices peuvent être limités grâce aux couverts végétaux. En effet, leur implantation peut favoriser l'installation de prédateurs entomophages et granivores. Par exemple, « la phacélie attire les carabes ou d'autres prédateurs de pucerons » (Ghesquière J. et al. 2012). D'autres espèces peuvent aussi contribuer à la régulation de certaines maladies et ravageurs. C'est le cas, par exemple, de certaines crucifères utilisées pour la bio désinfection ou de la tagète et du sorgho utilisés pour leur effet nématocide.

D'une manière générale, l'introduction de nouvelles espèces dans la rotation diminue ainsi la pression parasitaire (Loubes, Brasiles, Sarthou 2016; CA PdL 2015). Ainsi, les couverts peuvent aider à la réduction de l'utilisation de produits phytopharmaceutiques sur les cultures récoltées.

7.1.3 Maintenir ou améliorer la fertilité des sols

Limiter l'érosion du sol

Par protection mécanique, les couverts végétaux limitent la battance et l'érosion en ralentissant les gouttes de pluie (érosion hydrique) et le vent (érosion éolienne) à la surface du sol (Loubes, Brasiles, Sarthou 2016; CA PdL 2015; Masiunas 1998). La présence des racines des couverts stabilisent d'autant plus la structure du sol (CA PdL 2015).

Dans cet objectif et dans le cas d'une culture intermédiaire d'automne/hiver, les espèces à développement rapide sont intéressantes pour couvrir le sol immédiatement après la récolte de la culture de rente : crucifères, avoine, vesce, sorgho...

Améliorer l'autonomie en azote du système

Certaines espèces, les fabacées, ont la capacité de prélever l'azote de l'air, via les bactéries symbiotiques fixatrices d'azote, qui sera restitué au moment de leur décomposition (CA PdL 2015). On retrouve les espèces suivantes : pois fourrager, vesce commune, velue ou pourpre, lentille, féverole, gesse, fenugrec, les trèfles (d'alexandrie, de perse, incarnat, de micheli, souterrain, blanc, violet), luzerne, lotier, mélilot... (Thomas, Archambeaud 2015).

Exemple sur les apports en Azote :

Les couverts intermédiaires restituent différentes quantités d'azote dans le sol pour la culture suivante qui peuvent varier en fonction du contexte pédoclimatique (Ghesquière J. et al. 2012):

- 20-30 U/t de MS produite pour les légumineuses ;
- 15-20 U/t de MS pour les crucifères ;
- 10-15 U/t de MS pour les graminées.

Favoriser l'activité biologique

La couverture végétale permanente des sols induit aussi des effets indirects. En effet, elle accroît l'activité biologique du sol et améliore ses propriétés physico-chimiques (température tamponnée, fertilité chimique, circulation et rétention de l'eau, aération du sol...). Les racines des plantes utilisées y contribuent elles-aussi (Loubes et al, 2016).

Lecourtier (2021) relève « une augmentation de 27 % de l'abondance et de 22 % de l'activité biologique, à condition que le développement des couverts végétaux soit suffisant.

Améliorer la structure du sol

Par leur apport de matière organique et par la stimulation de l'activité biologique du sol qui en découle, les couverts végétaux participent à l'amélioration de la structure du sol (CA PdL 2015). Les associations d'espèces dans le couvert peuvent être intéressantes pour diversifier les types racinaires (chevelu, pivot, profond,...) afin d'explorer et de travailler toute le profil de sol (Ghesquière J. et al. 2012).

Dans cet objectif les espèces à fort potentiel de production de biomasse sont intéressantes : sarrasin, sorgho, phacélie, féverole, crucifères, chanvre... (CA PdL 2015).

Stocker de la matière organique et du carbone dans le sol

Les engrais verts ayant un rapport C/N élevé de leur biomasse permettent d'augmenter le taux de matière organique, à condition que les résidus de récolte et la culture intermédiaire soient laissés et se décomposent sur place (Loubes, Brasiles, Sarthou 2016).

Pour atteindre une production de biomasse maximale, il faut augmenter la diversité des espèces présentes dans le couvert. En effet, plus les espèces sont différentes selon leur développement dans l'espace (architecture, phénologie), dans le temps et dans les ressources exploitées (physiologie), plus la biomasse sera importante (Finney, White, Kaye 2016). Ainsi, en grande culture par exemple, une légumineuse peut fixer de l'azote dans le sol via les bactéries symbiotiques

fixatrices d'azote. Cette fixation d'azote peut soutenir le développement d'une graminée, en plus de capter l'azote excédentaire du sol (Finney, White, Kaye 2016). Si les deux familles botaniques se développent bien, la production de biomasse est souvent égale ou meilleure qu'une monoculture (Finney, White, Kaye 2016). D'autre part, l'association d'espèces gélives (pic de biomasse en automne) et d'espèces résistantes à l'hiver (pic de biomasse au printemps) permet d'augmenter la biomasse produite par une sorte de relai de ces deux types d'espèces (Finney, White, Kaye 2016).

7.1.4 Réduction d'intrants

Les couverts végétaux, par leurs bénéfices agronomiques cités plus haut, permettent le plus souvent de réduire l'usage des pesticides et des fertilisants (Masiunas 1998; Creamer, Benett, Stinner 1997). Aussi, les couverts végétaux permettent d'amender le sol sans importer de matières exogènes à la parcelle (CA PdL 2015).

7.2 Qu'est-ce qu'un couvert végétal ?

On sait maintenant que les couverts végétaux ont tout intérêt à être mis en place dans les fermes. Mais quels sont-ils ?

7.2.1 Des noms différents pour des finalités différentes

On retrouve parmi les couverts végétaux les sous-ensembles suivants : CIPAN, Engrais vert, ou culture en dérobé.

CIPAN

Les Cultures Intermédiaires Piège A Nitrates (CIPAN) ont pour objectif d'éviter la lixiviation des nitrates (pertes d'azote minéral nitrique) durant la période hivernale de drainage des eaux de pluie (Ghesquière J. et al. 2012; Sudres et al. 2016).

Engrais vert

Ils ont pour objectif de fournir des éléments nutritifs à la culture suivante (fonction d'engrais à proprement parler grâce aux légumineuses) ou d'enrichir le sol en activant la biologie du sol (fonction d'amendement grâce à des espèces non légumineuses) (Ghesquière J. et al. 2012). Les engrais verts restituent les éléments minéraux et organiques (carbone et azote) captés dans le sol ou synthétisés au moment de leur destruction (Sudres et al. 2016). L'engrais vert va alors être minéralisé au profit de la culture suivante.

7.2.2 Des périodes d'implantation différentes

Comme représenté sur la figure 4 ci-dessous, les couverts végétaux peuvent s'implanter à différents moments de l'année par rapport aux cultures. Ils prennent alors les noms de culture

intermédiaire, couvert permanent vivant, association relais et association simultanée (ou couvert intercalaire).



Figure 4 : Les différents moments d'implantation des couvert végétaux (Celette et Duchene, 2020)

Cultures intermédiaires ou couvert d'interculture

Ce sont des couverts végétaux implantés entre deux cultures de rente. Ils sont semés après la récolte de la première culture et détruits avant le semis de la seconde (Sudres et al. 2016). Ces cultures intermédiaires ne sont pas exportées et sont donc restituées au sol. Lorsque les objectifs de ces couverts sont multiples, on parle de Cultures Intermédiaires Multi-Services (CIMS) (Justes et Richard 2017). Les couverts d'interculture sont souvent implantés à deux périodes distinctes sur une année. Dans un premier cas, ils peuvent s'insérer en été (de fin juin à début septembre) entre un légume primeur (début de printemps) et un légume d'automne sous abris (CA PdL 2015). Par exemple, un engrais vert (sorgho-sarrasin-pois fourrager) peut être semé en août après une culture de concombre primeur sous serre. Il est ensuite enfoui en septembre pour une plantation de laitue d'hiver plantée en octobre (Lefèvre 2019). Dans le deuxième cas les couverts sont implantés en septembre/octobre en plein champ le plus souvent pour être détruits au printemps entre février et mai (CA PdL 2015). Les couverts intermédiaires doivent de préférence appartenir à une famille différente de celle de la culture de rente, permettant ainsi de diversifier la rotation (Ghesquière J. et al. 2012).

Couvert permanent vivant

Le couvert permanent vivant est, en général, une légumineuse qui est présente sur une parcelle sur la même période qu'une culture de rente, ainsi que pendant l'interculture et au minimum jusqu'au début de la seconde culture de rente. Les bénéfices d'une durée d'installation longue sont plus importants que pour une culture intermédiaire à condition que la concurrence avec la culture de rente soit limitée (Labreuche 2021). Par exemple, du trèfle incarnat peut être semé en même temps

que des navets d'automne en juillet, laissant, une fois les navets récoltés à l'automne, le trèfle continuer à se développer jusqu'à la culture suivante au printemps, dans lequel un légume pourra être implanté.

Association relais

Ce couvert végétal est semé avant la récolte de la culture de rente (tardive) pour qu'il germe et se développe suffisamment avant l'hiver pour remplir sa fonction de couvert (Amossé et al. 2013). L'autre avantage d'un semis sous la culture de rente est de ne pas avoir de période de sol nu favorable aux adventices (Ghesquière J. et al. 2012). Les espèces adaptées à cette conduite sont celles qui ne peuvent prendre le dessus sur la culture et qui se sèment facilement (Ghesquière J. et al. 2012).

Association simultanée

Aussi appelées plantes compagnes, celle-ci sont semées et détruites en même temps que la culture. Le couvert a alors pour objectif principal de couvrir le sol (concurrence adventices) et d'apporter de l'azote à la culture de rente (Lorin et al. 2017).

7.3 Composition des couverts végétaux : Choix des espèces

« La réussite du couvert passe par plusieurs étapes, de l'implantation à la destruction, mais elle débute avant tout par des choix judicieux d'espèces, adaptées à la parcelle, aux objectifs de l'agriculteur et au système d'exploitation » (Ghesquière J. et al. 2012).

Toutes les espèces peuvent prétendre à être intégrées dans les couverts végétaux. Les espèces, voire les variétés, sont dans un premier temps choisies en fonction de leur période d'implantation (définie par la culture précédente et suivante ou présente) et des objectifs hiérarchisés de l'agriculteur (Ghesquière J. et al. 2012). Puis, le choix des espèces est précisé en fonction du matériel disponible pour le semis, du type de sol et de climat, du mode de destruction (physique ou chimique), du prix et de la disponibilité des semences et du temps de travail disponible (Arvalis 2020; GABB 32 2013; GIS PIClég 2013; Ghesquière J. et al. 2012).

Couvert Végétal intermédiaire d'été (de 1 à 3 mois) :

Ce sont des couverts de cycle court, généralement sous serre. Ils sont composés d'espèces résistantes à la chaleur (sorgho fourrager, moha de Hongrie, sarrasin, radis fourrager ou chinois) (GABB 32 2013). Le tableau 1 présente les principales familles botaniques des couverts végétaux d'été et leurs avantages et inconvénients.

Tableau 1 : principales familles botaniques présentes dans les couverts végétaux d'été et leurs avantages et inconvénients (GABB 32, 2013).

Famille botaniques (été)	Avantage (+)	Inconvénient (-)
Graminées	Bonne concurrence aux adventices et résistantes à la chaleur (abri)	Attention aux risques de maladies et ravageurs (fusariose, ...)
Crucifères	Développement rapide, biomasse élevée	Attention aux risques de maladies et ravageurs (sclérotinia, rhizoctonia...)
Polygonacées	Bonne concurrence aux adventices, effet structure, sol pauvre et bonne résistance à la chaleur (abri)	Risque virus CMV

Couvert Végétal intermédiaire d'hiver (2 à 5 mois) :

Ces couverts sont composés d'espèces adaptées au froid (gélives ou non) et aux jours courts. Le tableau 2 présente les principales familles botaniques des couverts végétaux d'hiver et leurs avantages et inconvénients.

Tableau 2 : principales familles botaniques des couverts végétaux d'hiver et leurs avantages et inconvénients (GABB 32, 2013).

Type d'espèce ou espèce (hiver)	Avantage (+)	Inconvénient (-)
Graminées (Avoine, triticales, blé, RGI, RGA, seigle)	En général bonne couverture du sol, avoine intéressant en CIPAN (CA Normandie 2020)	Attention aux risques de maladies et ravageurs (fusariose, ...)
Crucifères	Excellent piège à nitrate (septembre)	Attention aux risques de maladies et ravageurs (sclérotinia, rhizoctonia...)
Phacélie	Intéressante en CIPAN (CA Normandie 2020)	Risque Sclerotinia s'il y a production de sclérotés.

Les couverts végétaux d'hiver sont plus utilisés que les engrais verts de printemps/été car il y a moins de production en automne/hiver en maraîchage (contrairement aux grandes cultures) (GABB 32 2013).

7.4 Conditions de réussite

Les objectifs présentés précédemment ne peuvent être atteints que lorsque certains principes sont respectés (CA PdL 2015) :

- Le couvert doit être suffisamment dense pour être efficace, impliquant un semis dense et de bonnes conditions de germination.

- La destruction doit être effectuée à un stade précis du développement du couvert pour répondre aux objectifs visés.
- Si le couvert à faible proportion de légumineuses est enfoui, il est nécessaire d'observer un temps de dégradation allant jusqu'à 2 mois avant l'implantation de la culture suivante pour éviter un risque de faim d'azote⁶.
- Dans un mélange, il est plutôt intéressant « d'associer des plantes aux développements végétatifs différents qui vont se compléter dans l'utilisation de l'espace que se concurrencer » (Ghesquière J. et al. 2012).

7.5 Les erreurs à ne pas commettre

Le choix du couvert doit être réfléchi en fonction de la pression des BA. Par exemple, les espèces suivantes sont à éviter en présence de certains BA car elles peuvent les favoriser (plante hôte) ou être directement impactées :

- L'avoine ou le seigle en présence de nématodes du collet (*Ditylenchus dipsacii*) (Ghesquière J. et al. 2012).
- Le pois, la vesce ou la lentille en présence d'aphanomyces (Ghesquière J. et al. 2012).
- Si le couvert est enfoui, il faut faire attention à ce qu'il ne soit pas trop lignifié afin d'éviter une trop importante faim d'azote (Ghesquière J. et al. 2012).

7.6 La conduite des couverts végétaux selon la bibliographie explorée

Etant donné qu'il n'est pas destiné à la vente, l'itinéraire technique de l'engrais vert doit être simple pour limiter la perte de temps.

Le semis

Le type de préparation du sol pourra varier selon les systèmes, d'un lit de semence très préparé à du semis direct sur un sol peu ou pas travaillé avec ou sans outil. Le semis peut en effet s'effectuer à la volée ou au semoir à céréales. Dans le cas d'un précédent de graminées, prairie ou céréales, il est possible d'utiliser du matériel de semis direct (Ghesquière J. et al. 2012). Le tableau présenté en annexe 10 montre les avantages et inconvénients des 3 techniques de semis en grande culture, qui peuvent être adaptées en maraîchage.

⁶ Survient lorsqu'un apport de carbone est fait au sol. Les microorganismes métabolisent cette énergie et prélèvent alors de l'azote dans le sol pour leur développement, diminuant la quantité d'azote disponible pour la culture. (https://www.supagro.fr/ress-pepites/processusecologiques/co/FaimAzote_1.html)

La conduite du couvert végétal

Pour le bon développement du couvert, il est possible de l'irriguer et de le fertiliser (Ghesquière J. et al. 2012). Le couvert peut aussi être fauché comme pour le sorgho afin d'éviter sa lignification et sa montée à graine.

La destruction

Le moment choisi pour la destruction du couvert varie en fonction de l'objectif du couvert, de son stade de développement et de la culture suivante. Si le couvert est conduit pour un objectif de production de biomasse, l'idéal est de le détruire au stade floraison avancée⁷, là où la biomasse est la plus importante (GABB 32 2013). Cependant un couvert lignifié ou détruit peu de temps avant la culture suivante ne pourra être enfoui pour éviter une faim d'azote (Lecourtier 2021; Ghesquière J. et al. 2012).

La destruction du couvert peut être naturelle (couverts gélifs en hiver), mécanique (outil à disque, broyage, roulage...) ou chimique (herbicides)⁸.

Destruction par le gel : Elle ne nécessite pas d'intervention humaine mais n'est généralement possible que dans les régions où la température est suffisamment basse, toutes les années (climat continental du Nord-Est et zones montagneuses notamment) (Brun, Labreuche 2020). Cette technique peut aussi favoriser des adventices non gélives lorsque le couvert a été détruit par le gel (Brun, Labreuche 2020). Pour éviter cela, il est possible de rouler le couvert au moment des gelées pour une meilleure couverture du sol et la destruction des adventices du couvert (Brun, Labreuche 2020).

Destruction mécanique : Elle peut mobiliser des outils nécessitant un tracteur (covercrop, gyrobroyeur, ...) ou des outils manuels (planche, rouleau, ...). Le **broyage** des couverts permet d'obtenir des résidus plus fins et de réduire le volume du couvert s'il est très développé (GABB 32 2013). Cette pratique facilite ainsi le travail du sol ou le semis suivant (Brun, Labreuche 2020). Pour incorporer le broyat au sol, il est éventuellement possible de faire des incorporations de plus en plus profondes (GABB 32 2013). A noter que, si aucun travail du sol suivant n'est effectué après le broyage, la technique ne convient pas en présence de graminées qui peuvent repousser (Brun, Labreuche 2020). Si le couvert n'est pas trop développé, il est possible de **labourer** la parcelle directement dans le couvert. Par contre, cette technique est moins adaptée avec des espèces ayant des organes de réserves comme le radis et la navette et qui peuvent repartir (Brun, Labreuche 2020). Il est également possible de faire un **déchaumage** pour détruire le couvert. Cette technique convient bien aux couverts peu

⁷ Après formation de la fleur et avant la formation de la graine

⁸ L'usage du glyphosate n'est autorisé qu'en non-labour ou en sols hydromorphes à une dose maximale de 1080 g/ha/an (<https://www.arvalis-infos.fr/opter-pour-la-technique-de-destruction-des-couverts-la-plus-appropriee-@/view-11589-arvarticle.html>).

développés (Ghesquière J. et al. 2012). Les outils sont les déchaumeurs à disques indépendants, les bèches roulantes, les cultivateurs à deux ou trois rangées de dents, etc. (Brun, Labreuche 2020) Il en résulte une bonne préparation du sol pour la culture suivante (Ghesquière J. et al. 2012). L'annexe 11 propose plus de détails sur les techniques de destruction.

Enfin, les couverts végétaux peuvent être roulés ou écrasés, souvent au rouleau FACA, puis éventuellement bâchés (GABB 32 2013).

Destruction chimique : Le glyphosate est l'herbicide souvent utilisé pour détruire un couvert chimiquement. Facile d'utilisation, court en temps de traitement et peu dépendant de l'état hydrique du sol, son utilisation permet dans certaines situations de ne pas travailler le sol et de détruire efficacement le couvert (Brun, Labreuche 2020). Cependant, cette technique peut être questionnée par rapport à son impact négatif sur l'environnement (Sudres et al. 2016).

7.7 Inconvénients

L'implantation de couverts végétaux peut augmenter le temps de travail (préparation du semis, implantation, destruction), les charges opérationnelles et de mécanisation suivant l'espèce implantée et les techniques utilisées ((GIS PICléG 2013). Le coût de certaines semences peut aussi être important mais peut être limité si les espèces en question sont en associations avec des espèces dont les semences sont moins coûteuses (Ghesquière J. et al. 2012).

En cas de couvert diversifié, il peut être nécessaire de réaliser deux semis, un profond et un autre superficiel pour que chaque graine ait une profondeur de semis adaptée (Ghesquière J. et al. 2012).

L'implantation de couverts végétaux rend les parcelles indisponibles pour la culture de légumes de rentes sur une certaine période de l'année, voire jusqu'à plusieurs années (CA PdL 2015). Cette contrainte rend la mise en place de couverts végétaux difficile chez les maraîchers disposant de petites surfaces.

Cette recherche bibliographique a permis de voir les possibilités en termes de choix des couverts et de leur conduite. Cette synthèse a servi de base à l'élaboration du guide d'entretien, et a permis de rendre plus aisée l'acquisition des connaissances sur les fermes. Cela a permis, de plus, de se rendre compte des innovations mises en places par les maraîchers qui différaient des ressources bibliographiques explorées.

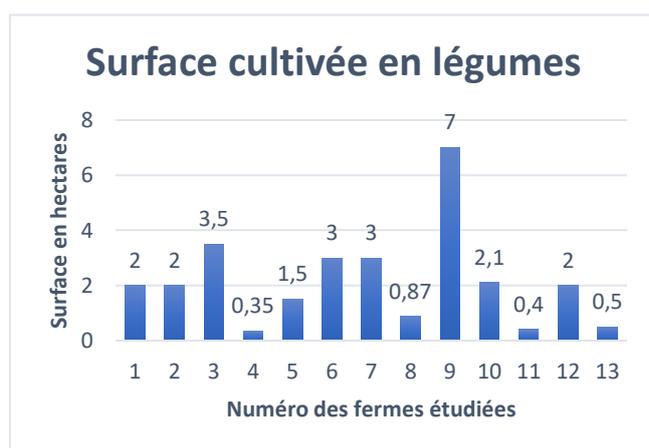
Par la suite, les cultures de rente autres que légumières (prairie, et céréales) seront prises en compte dans l'étude et considérés comme des couverts végétaux, car elles permettent de diversifier et d'allonger les rotations, levier intéressant identifié lors de la phase exploratoire.

8. Phase d'approfondissement : Résultats

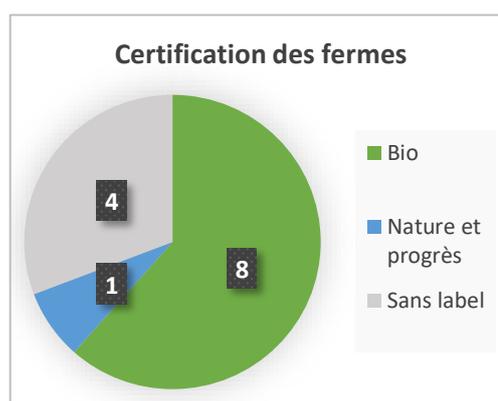
8.1 Les fermes étudiées

Les contextes pédoclimatiques des 13 fermes étudiées sont différents comme le montre la localisation des fermes sur la carte en annexe 12. Ces fermes se situent dans 10 départements différents des régions d'Auvergne-Rhône-Alpes (5), de Bourgogne-Franche-Comté (1), de Bretagne (1), de Nouvelle Aquitaine (3), d'Occitanie (2) et de Provence-Alpes-Côte d'Azur (1).

Comme représenté sur le graphique 1, la surface cultivée de légumes varie de 0,35 ha à 7 ha, pour une moyenne de 2,2 ha. De plus, on observe sur le graphique 2 que la majorité des fermes sont certifiées *Agriculture Biologique* et une ferme est labellisée *Nature et Progrès*⁹.



Graphique 2 : Surface cultivées en légumes des fermes étudiées. V. Jordon, 2021.

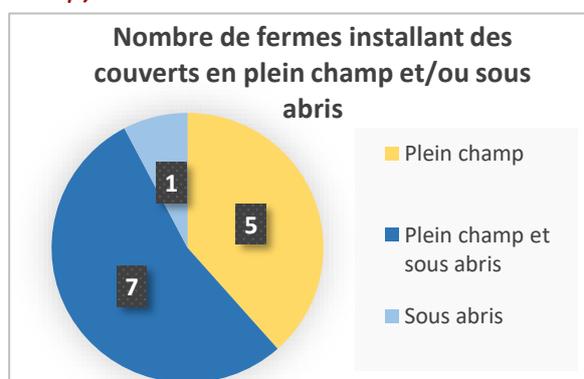


Graphique 1 : Répartition des fermes selon leur labellisation. V. Jordon, 2021.

8.2 Les couverts végétaux étudiés

8.2.1 Environnement (sous abris/plein champ)

Toutes les exploitations disposent de surfaces de plein champ et d'abris. Cependant, les couverts végétaux ne sont pas toujours installés dans ces deux types de situations. Le graphique 3 ci-contre montre que 5 maraîcher.ère.s font le choix de n'installer des couverts qu'en plein champ et un seul uniquement sous abris¹⁰.



Graphique 3 : Proportion de ferme installant des couverts en plein champ et/ou sous abris. V. Jordon, 2021.

⁹ Label de l'association Nature et Progrès pour le développement d'une agriculture biologique éthique, équitable, respectueuse du vivant et des cycles naturels. (<https://www.natureetprogres.org/la-mention-cest-quoi-2/>)

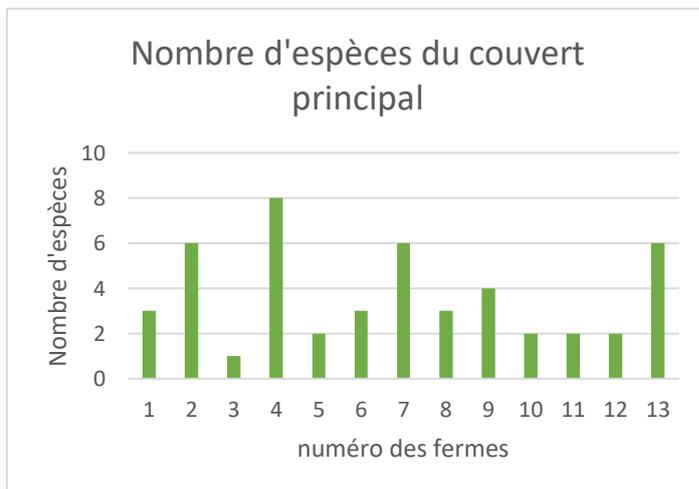
¹⁰ Tunnel à structure métallique recouverte d'une bâche plastique transparente.

8.2.2 Composition

Pour avoir une idée de la nature des couverts mis en place sur les fermes avant d'entrer dans une présentation plus fine des résultats, les espèces présentes dans les principaux couverts étudiés sont les suivantes (tableau complet en annexe 13) :

- En plein champ en hiver : Seigle, avoine, avoine noir, orge, triticale, blé, épeautre, ers, vesce, pois, féverole, trèfle incarnat, radis daïkon radis rode de chine, moutarde, phacélie.
- En plein champ en été : chanvre, sorgho Piper, millet perlé, tournesol, sarrasin, pois, vesce, phacélie.
- Sous abris en hiver : seigle forestier, avoine noir, féverole, pois, vesce velue, phacélie, ray-grass, légumes feuilles.
- Sous abris en été : Sorgho, tournesol, sarrasin, phacélie, trèfle incarnat, maïs, pois, millet, sainfoin, féverole, trèfle perse, chanvre, vesce.

Ces espèces sont volontairement de « familles différentes de celles des légumes » (maraîcher 6). Ainsi les maraîchers n'utilisent que peu de brassicacées dans les couverts, car c'est une famille fréquente chez les légumes : « c'est un risque car les choux sont très présents dans la rotation »



Graphique 4 : Nombre d'espèces composant le couvert principal des fermes étudiées. V. Jordon, 2021.

Diversité

La diversité dans les couverts peut être recherchée. Elle permet notamment d'assurer la levée du couvert si les conditions pédoclimatiques ne sont pas favorables au développement de certaines espèces du couvert à l'image de la maraîchère 4 qui « sème tout ce qui traîne, le plus diversifié possible pour éviter les échecs ». Le maraîcher 6 remarque par ailleurs que « souvent deux ou trois espèces prennent le dessus, mais ce ne sont pas toujours les mêmes, cela dépend du temps, du sol... ». Le maraîcher 13 recherche, pour sa part, une grande diversité d'espèce en suivant la logique suivante :

selon le maraîcher d'Ille-et-Vilaine.

La composition des couverts végétaux étudiés est très variable. On retrouve en moyenne 3,7 espèces différentes dans les couverts mais ce nombre est très variable en fonction des objectifs poursuivis (cf. partie objectif). Comme présenté sur le graphique, les couverts sont composés de une à huit espèces.

« Plus il y a d'espèces, plus il y a de racines différentes, de bactéries et de champignons¹¹ ». De plus, les couverts sont « intéressant pour la biodiversité » (maraîcher 9), et le maraîcher 8 observe « plus d'insectes » comme le maraîcher 10 qui observe « beaucoup d'auxiliaires dans [ses] couverts ».

Cependant certains maraîcher.ère.s comme le maraîcher 10 utilisent des couverts assez simples, composés uniquement d'une ou deux espèces, pour réduire les coûts (espèces peu onéreuses ou disponibles chez un voisin), ou une espèce qui se détruit très facilement, la féverole (maraîcher 3).

8.2.3 Classification des couverts

La question de la définition d'un engrais vert n'a pas été abordée avec les maraîcher.ère.s. Ils utilisaient les termes « couverts végétaux », ou « engrais vert », parfois les deux. Seul le maraîcher en Haute-Vienne (87) a insisté sur le besoin de faire « la différence entre un couvert végétal strict et un engrais vert qui est un couvert végétal pour la fertilité azotée avec essentiellement des légumineuses ».

Les termes utilisés n'étant pas clairement définis, et afin de pouvoir les analyser et les comparer, les couverts¹² étudiés peuvent être regroupés en fonction de leurs caractéristiques de la façon suivante :

- Les couverts inférieurs à un an, sans exportation hors de la parcelle, semés après la récolte d'un légume et détruits avant l'implantation de la culture suivante. On les nommera **couverts intermédiaires (CI)**. Ils peuvent être implantés à toutes les saisons.
- Les couverts inférieurs à un an, sans exportation, spontanés (non semés) après la récolte d'un légume et détruits avant l'implantation de la culture suivante. On les nommera **couverts intermédiaires spontanés (CIS)**. Ils peuvent être implantés à toutes les saisons.
- Les cultures de **céréales**, considérées comme des couverts inférieurs à un an, avec exportation, semés après la récolte d'un légume et détruits avant l'implantation de la culture suivante.
- Les couverts inférieurs à un an, sans exportation, semés avant la récolte d'un légume et détruits avant l'implantation de la culture suivante. On les nommera **couverts relais (CR)**.
- Les couverts supérieurs à un an, sans exportation, semés après la récolte d'un légume et détruits avant l'implantation de la culture suivante. On retrouve dans cette catégorie les **couvert végétaux intermédiaire longs (CIL)**.

¹¹ Le maraîcher 13 évoque ici la théorie de l'équilibre des populations, plus il y a de diversité, moins les populations pathogène ont de chances de prendre le dessus.

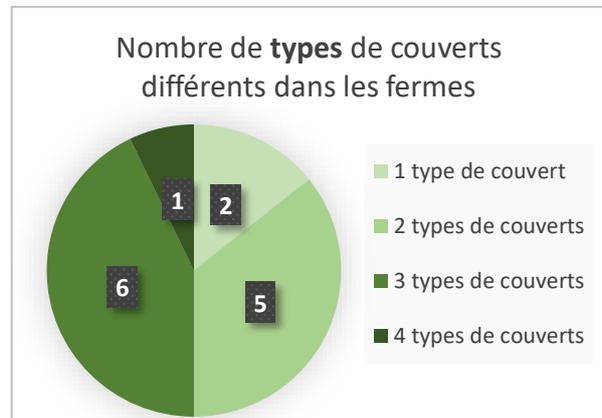
¹² Au sens non restrictif, toutes espèces cultivées autres que les légumes dans le but d'avoir un effet positif sur ces derniers.

- **Les prairies**, qui sont des couverts supérieurs à un an, pâturés, semés après la récolte d'un légume et détruits avant l'implantation de la culture suivante.
- Les couverts inférieurs ou supérieurs à un an, sans exportation, installés entre les zones cultivées (Allées, passe pieds, bords de serre). On les nommera **couverts attenants aux cultures (CA)**.

Pour compléter, seuls les couverts intermédiaires semés (CI) étudiés pouvaient être implantés en plein champ (PC) et sous abris (SA). Les autres types de couverts n'ont été rencontrés qu'en plein champ.

8.2.4 Les types de couverts étudiés

Sur les 13 fermes enquêtées, 11 maraîcher.ère.s mettent en place **plusieurs types de couverts végétaux**, comme le montre le graphique 5. En moyenne, on observe 2,5 types de couverts végétaux différents sur les fermes étudiées.



Graphique 5: Nombre de types de couverts différents observés dans les fermes. V. Jordon, 2021.

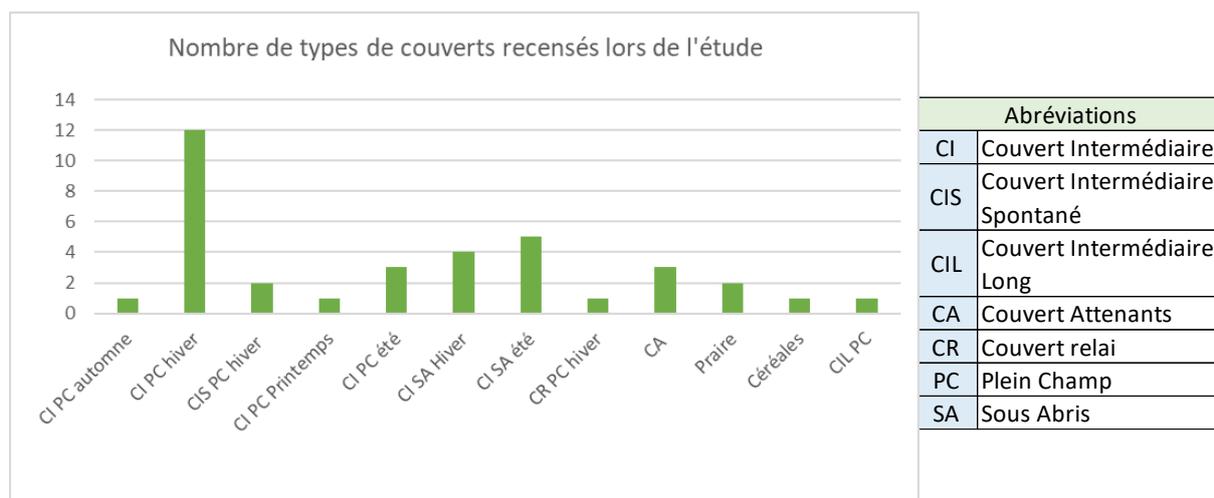
Les CI d'hiver sont essentiellement en plein champ (14 sur les 18 couverts d'hiver) quand les parcelles ne sont pas ou très peu occupées par les légumes car les températures sont trop fraîches pour leur développement « un sol c'est fait pour être couvert, en hiver les sols ne sont pas occupés par les légumes » (maraîcher 5). La période hivernale est encore plus propice à l'installation de couverts car la charge de travail est moins importante qu'en été et c'est l'occasion « d'améliorer agronomiquement le sol » selon le maraîcher 2. Ainsi, tou.te.s les maraîcher.ère.s profitent de cette période pour installer un couvert.

En plein champ, les maraîcher.ère.s n'installent que peu de couverts en été (installation ponctuelle) car « il n'y a pas beaucoup de temps disponible », déclare le maraîcher 11.

A l'inverse, les CI d'été sont davantage présents sous abris qu'en plein champ (5 sur les 8 couverts d'été) entre les premières cultures de printemps récoltées jusqu'à juillet et les cultures tardives semées à partir de septembre.

Moins fréquent que les CI d'hiver en plein champ (12), les CI d'été sous abris (5)(graphique 6) sont, en général, seulement installés « s'il y a de la place », à l'image du maraîcher des Alpes de Haute Provence, qui cherche à « rentabiliser les tunnels le plus possible ». Ce dernier déclare en effet ne pas avoir « assez de surface et de temps » sous abris en été, choisissant de favoriser la production de légumes. Seuls les maraîchers 8 et 13 implantent systématiquement un couvert en été sous abris. Selon

le premier, ce CI « n’affecte pas la rentabilité de la serre car la période est trop chaude pour le semis (de



Graphique 6 : Effectifs des différents types de végétaux rencontrés dans l'étude. V. Jordon, 2021.

cultures de rente) ». Le second a fait le choix de suivre la même logique qu'en plein champ pour « maintenir la structure et la fertilité du sol ».

8.2.5 Fréquence

En plein champ, les CI d'hiver sont installés quasi « systématiquement entre 2 cultures de légumes » (maraîcher 8) par 11 des 13 maraîcher.ère.s enquêté.e.s. Comme l'exprime le maraîcher 7 « le couvert c'est la base des bases, on n'aurait jamais dû s'éloigner », les couverts végétaux sont considérés comme « essentiels en maraîchage » (maraîcher 1) par cette majorité de maraîchers. Le maraîcher 13 observe d'ailleurs que « le couvert a beau être hyper épais, à la fin d'une culture, il n'y a plus de résidus », obligeant l'installation d'un nouveau couvert pour recréer du paillage pour la culture suivante.

Les maraîcher.ère.s peuvent être amené.e.s à faire des exceptions comme le maraîcher 5 qui plante un CI d'hiver systématiquement « sauf sur les parcelles de choux et de poireaux, présents tout l'hiver dans les champs ».

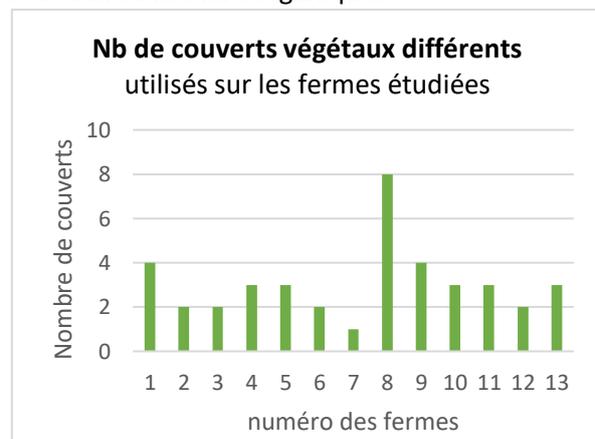
Le maraîcher des Alpes de Haute Provence choisit quant à lui d'installer des couverts en précédent de solanacées et de courges car « ce sont des cultures consommatrices d'azote qu'il est facile d'implanter sur une bâche », la destruction choisie étant le roulage et la bâche (cf. partie destruction des couverts). Enfin, le maraîcher 2 réfléchit l'implantation d'un couvert en fonction de la présence d'une bâche sur la culture précédente, car « ce serait trop de boulot de déplacer la bâche » qui remplit déjà la fonction de gestion de l'enherbement. Pour lui, le couvert n'est pas essentiel mais il permet « de faire mieux agronomiquement » au niveau de la structure du sol et de son fonctionnement.

8.2.6 Ajustement de la composition des couverts

Six maraîchers sur treize adaptent la composition des types de couverts utilisés. C'est-à-dire que, si le type « couvert intermédiaire d'hiver » est implanté sur la ferme, sa composition peut être différente sur certaines parcelles. Par exemple, un maraîcher du Rhône (69) utilise un mélange de seigle-avoine-vesce sur toute son exploitation sauf quand le couvert est semé après fin octobre car « ce n'est plus la peine de semer la vesce ». En effet les températures seraient trop basses pour un bon développement de la vesce qui « n'a pas le temps de se développer avant l'hiver et ne redémarre pas au printemps ». Seuls le seigle et l'avoine sont alors semés en novembre. Ces adaptations des principaux types de couverts, entraînent l'augmentation du nombre de couverts réellement mis en place sur la ferme. On passe alors de 2,5 types de couverts installés sur la ferme en moyenne à 3,1 couverts réellement mis en place en moyenne. Les évolutions de la composition des couverts sont faites en fonction de :

- La date d'implantation (maraîchers 5, 9 et 13) ;
- La culture suivante (maraîcher 8) ;
- La couverture de la surface du sol pour (maraîchers 2, 4 et 11) ;
- Le type de sol (maraîcher 8), notamment le taux de matière organique.

Ainsi, il y a entre 1 et 8 couverts de composition différente sur les fermes enquêtées (graphique 7). Au total, 35 couverts ont été recensés, tous différents selon leur composition, leur date d'implantation ou leur densité de semis. On retrouve une majorité de couverts intermédiaires d'hiver (18) et de couverts intermédiaires d'été (8).



Graphique 7: Nombre de couverts végétaux différents utilisés sur chaque ferme étudiée. V. Jordon, 2021.

8.3 Facteurs influençant le choix des couverts

En atteste la diversité de couverts végétaux rencontrés (35) en seulement 13 fermes étudiées, les couverts végétaux et leur conduite résultent d'une combinaison de facteurs, propre à chaque maraîcher et à chaque ferme. De par les zones climatiques différentes, la disponibilité des parcelles entre deux légumes est souvent la même pour tous les maraîchers, à 3 ou 4 semaines près. Pourtant, les périodes d'implantation des couverts sont bien plus variables (semis d'août à décembre, destruction de mars à juin pour un CI d'hiver en plein champs). L'objectif au sens large (objectif du

couvert et objectif général du maraîcher sur la ferme) semble être l'élément le plus déterminant pour justifier ces écarts d'implantation ainsi que pour le choix des couverts.

Les parties suivantes traiteront dans un premier temps des objectifs justifiant la mise en place des couverts végétaux. En d'autres termes, cela consiste à étudier quelles sont les fonctions attribuées aux couverts par les maraîcher.ère.s. Puis les objectifs généraux poursuivis par le maraîcher sur la ferme seront détaillés. Ce sera l'occasion de voir comment des choix comme le non-travail du sol peuvent influencer le choix des couverts. Enfin, la troisième partie traitera des particularités de la ferme qui influencent, décident ou contraignent le maraîcher dans le choix des options disponibles pour la conduite et la composition des couverts.

8.3.1 Fonction des couverts végétaux visées par les maraîcher.ère.s étudiés

Comme présenté dans le tableau en annexe 14, les maraîcher.ère.s recherchent plusieurs fonctions dans les couverts qu'ils mettent en place. A la question « qu'attendez-vous de vos couverts ? », chaque maraîcher a mentionné entre 2 et 7 intérêts pour mettre en place des couverts végétaux.

Classification des fonctions

Au total, huit fonctions différentes ont été citées par les maraîcher.ère.s : Fertilité (apport en carbone), fertilité (apport en azote), fertilité biologique, structure du sol, lutte contre l'érosion, lutte contre les pertes azotées, gestion des adventices et biodiversité.

Fertilité par un apport de matière organique riche en carbone

C'est la catégorie la plus citée, 11 maraîcher.ère.s ont identifié l'amélioration de la fertilité et/ou l'apport de carbone et/ou de matière organique comme une fonction recherchée des couverts.

Selon la maraîchère 4, les couverts permettent « d'occuper le terrain quand les planches sont vides et faire de la biomasse ». Cela permet selon elle de « maximiser l'énergie solaire », en faisant « fonctionner son système pour nourrir la culture suivante ». Cette volonté de « produire beaucoup de biomasse » (maraîcher 8) est associée à l'idée d'entretenir le sol, de « régénérer les sols dégradés à cause de l'intensification » explique le maraîcher de Haute Garonne. L'autre intérêt de produire de la biomasse « dans le sol et au-dessus » (maraîchère 4), est de compter sur « le travail que fournit la biologie du sol » pour dégrader la matière organique et rendre les éléments minéraux disponibles pour les systèmes racinaires des légumes dans un second temps.

Dans cet objectif les couverts choisis sont majoritairement composés d'espèces non-légumineuses, comme le maraîcher 13 qui souhaite un couvert composé à 80% d'espèces non-légumineuses (seigle forestier, avoine noir, phacélie) et de 20% de légumineuses (féverole, pois vesce velue). Un couvert composé majoritairement de céréales est implanté par le maraîcher 9 « sur les

parcelles pauvres en matières organiques qui est ensuite équilibré avec le fumier composté des brebis ». Enfin, le maraîcher 8 est le seul à installer une graminée « en pur » (orge), uniquement en précédant d'un légume de la famille des fabacées (Haricots, fève, pois...) ¹³.

A noter que l'objectif d'un important développement de biomasse n'est pas recherché par tous. En effet, le maraîcher 5 choisit de détruire les couverts très tôt pour avoir « peu de matière à dégrader » et de pouvoir implanter rapidement ses cultures. Il préfère alors la vesce au pois fourrager qui « se développe trop » selon lui.

Fertilité par un apport de matière organique riche en azote

Les maraîcher.ère.s sont généralement aussi intéressés par l'apport d'azote dans le système par les couverts végétaux. Ainsi le maraîcher 9 installe un couvert composé majoritairement de légumineuses pour les parcelles dont le taux de matières organiques est suffisant. Les maraîchers 3 et 7 sont les seuls qui n'utilisent que des légumineuses ou presque sur toute leur exploitation. Ces deux maraîchers améliorent leur « fertilité carbonée » par des apports importants de BRF et n'utilisent les couverts que dans l'objectif de « rééquilibrer en azote cet apport carboné » (maraîcher 3).

Fertilité biologique

Troisième composante de la fertilité, six maraîcher.ère.s cherchent à améliorer la fertilité biologique du sol, à « favoriser la biodiversité du sol » (maraîcher 2) et le « développement de la vie microbienne » (maraîcher 1).

La biologie du sol est reliée par les maraîcher.ère.s à l'apport de matière carbonée comme l'explique le maraîcher 11 : « La fertilité c'est du carbone. Il faut qu'il soit en quantité suffisante dans le sol pour avoir une biologie du sol active, propice au développement de la plante ». Dans cette théorie où « l'équilibre en azote est fait avec les microorganismes libres fixateurs d'azote » (maraîcher 11), « la production importante de biomasse de couverts riches en carbone permet de nourrir la biologie du sol » (maraîcher 13).

Structure du sol

Après la fertilité, c'est la structure du sol qui est revenue le plus souvent dans les entretiens. 10 des 13 maraîcher.ère.s utilisent notamment les couverts végétaux pour « améliorer la structure du sol » (maraîcher 10). Trois maraîchers considèrent les couverts essentiels pour la structure du sol car sans couvert « la structure s'écroulerait » (maraîcher 5, sol de limons fins), « le sol se compacte. » (maraîcher 8, luvisol) ou « la structure du sol se dégrade très vite en l'absence d'argile » (maraîcher 13, limons fins). Par ailleurs, le maraîcher 3 semble constater que « les racines sont de meilleurs

¹³ L'hypothèse suivie est la suivante : le couvert riche en carbone n'a pas besoin d'être « équilibré » en azote car les fabacées sont capables de synthétiser via les bactéries symbiotiques de fixer l'azote.

décompacteurs qu'un outil mécanique », ce qui le pousse à expérimenter l'arrêt du travail du sol l'année prochaine.

Généralement cet objectif n'entraîne pas un choix d'espèces spécifiques. Cependant deux maraîcher.ère.s ont relié le choix d'une espèce et l'objectif de structuration du sol. Le maraîcher 7 choisit d'ajouter du radis Daïkon (espèce à système racinaire pivotant) qui est un « fissurateur » selon lui, alors que la maraîchère 4 choisit au contraire des espèces à système racinaire fasciculé (graminées) pour venir « travailler finement la structure du sol plutôt que faire des gros trous » explique-t-elle.

Enfin la recherche de l'amélioration de la structure du sol peut aussi être atteinte avec d'autres pratiques. Le maraîcher 1 a fait le choix d'adapter tous ses outils à la taille des planches pour concentrer les passages de roues sur les passe-pieds (bande de sol non cultivée de chaque côté de la bande travaillée). Les couverts végétaux ne sont alors implantés que sur la planche et les allées sont binées régulièrement. Le maraîcher de la Loire déclare alors obtenir des « planches meubles phénoménales ».

Limitation de l'érosion

Trois maraîcher.ère.s ont déclaré mettre en place des couverts végétaux pour « tenir les sols » (maraîcher 6) et « éviter que la terre aille dans le chemin à chaque pluie » (maraîchère 12). Avec le maraîcher 9, ces maraîcher.ère.s sont installés sur des côteaux où il est « difficile de travailler autrement que dans le sens de la pente » sur des pentes allant jusqu'à 19%, déclare le maraîcher installé dans la Loire. Pour la maraîchère 12, les couverts végétaux se sont alors imposés : « On a commencé à penser aux couverts quand on s'est rendu compte que dans dix ans on n'aura plus de terre à cause de l'érosion. La préservation du sol implique de travailler autrement ».

Ces maraîcher.ère.s cherchent alors à couvrir le sol au maximum en installant les couverts juste après les cultures et en les détruisant juste avant les cultures suivantes. Dans cet objectif, deux d'entre eux sont passés ou sont en train de passer en planche permanente pour que les « dates d'implantation et de destruction soient adaptées à la planche au lieu d'attendre que tout le bloc soit au même stade » explique la maraîchère 12. Dans ce cas, un couvert de trèfle est installé dans le passe-pied.

Eviter les pertes dans le sol

Trois maraîcher.ère.s ont cité cet objectif parmi d'autres afin de récupérer « tout ce qui n'a pas été utilisé par le légume » (maraîcher 7) et ainsi « garder les fertilisants excédentaires » (maraîcher 1) avant les pluies importantes en saison hivernale (lixiviation). Les espèces utilisées sont diverses (seigle, avoine, Vesce ; Légumineuse ; Radis Daïkon).

Concurrence vis-à-vis des adventices et occultation

Sept maraîcher.ère.s identifient les couverts végétaux comme un moyen de gérer les adventices en tentant « d’avoir le minimum de sol nu possible » (Maraîchère 12). Le maraîcher 11 observe en effet que « le radis rose de Chine pousse très vite , c’est propre dessous¹⁴ ». Sous abris, le maraîcher 9 choisit de semer un couvert « super dense (2 fois la densité préconisée) car il faut tout de suite que le couvert vienne concurrencer les adventices ». En plus de concurrencer les adventices pendant l’implantation du couvert, cinq maraîcher.ère.s choisissent de ne pas enfouir le couvert pour s’en servir de paillage. Ce « paillage produit sur place » (maraîcher 11) est, selon la maraîchère 4, « meilleur qu’un paillage classique car le couvert a permis de travailler le sol et de nourrir la biodiversité aérienne (pollinisation) et du sol ».

8.3.2 Choix techniques du maraîcher influençant le choix des couverts végétaux.

Le travail du sol ou non

C’est une volonté du maraîcher de travailler ou non son sol, ce qui va influencer la préparation du sol avant le semis du couvert et qui aura un impact sur le choix des couverts (cf. partie préparation du sol). Tolérer le travail du sol ou non influencera aussi le choix de la méthode de destruction des couverts, avec incorporation ou non, ce qui aura un impact sur la culture suivante (cf. partie destruction).

L’irrigation

Par aspersion, certains maraîcher.ère.s choisissent de la mobiliser pour assurer le développement du couvert. Si la plupart de maraîcher.ère.s souhaitent conserver « un minimum d’humidité » (maraîcher 5), la maraîchère 12 choisit de « ne pas lésiner sur irrigation » dans un souci d’apporter autant de soin aux couverts qu’aux cultures. Sept maraîcher.ère.s choisissent de ne pas irriguer les couverts en comptant sur les pluies. Le maraîcher 13 parle par exemple de « couvert pluvial ». Dans la Drôme, la maraîchère 4, qui a fait le choix de ne pas installer de système d’irrigation, aimerait choisir des espèces « capables de germer avec 3 gouttes de pluies » en réalisant le semis « avant une grosse pluie ».

8.3.3 Particularités du contexte rentrant dans le schéma de réflexion du maraîcher.

Le matériel initialement disponible sur la ferme peut influencer le choix des couverts. Parmi les maraîcher.ère.s enquêtés, 2 ont choisi de ne pas investir dans un autre outil que celui qui était déjà disponible. Par exemple, le maraîcher 6 n’a pas investi dans un rouleau FACA car il utilisait déjà un broyeur à marteaux pour son atelier fruits. Les couverts mis en place ne pourront donc pas être roulés pour servir de paillage à la culture suivante.

¹⁴ Expression souvent utilisée en agriculture signifiant l’absence d’adventices.

8.4 La conduite des couverts sur les fermes enquêtées

De ces choix effectués en fonction des objectifs et des premières décisions prises en amont, en découle des choix techniques développés dans les parties suivantes.

8.4.1 Préparation du sol

Après la récolte du légume précédent, pour l'installation du couvert, trois options sont possibles :

- Après une culture sur bâche, retirer la bâche avec d'éventuels résidus de cultures. Cette solution permet aux maraîcher.ère.s 2, 3, 4 et 8 « d'avoir un sol pratiquement nu sans travail du sol » (maraîcher 2).
- Laisser les résidus de culture en surface avec ou sans un nouvel apport de matière organique. Cette solution permet aux maraîcher.ère.s 2, 3, 4, 8, 11 et 13 de ne pas travailler le sol. Dans ce cas, les maraîcher.ère.s choisissent généralement des espèces à « grosses

N° ferme	Nombre de passages	Outil	Semis
1	1	Rotavator	semoir
2	0		
3	0		
4	0		
5	1	Cultivateur	
6	1	Rotavator	combiné
7	3	Rotavator, ameublisseur, herse	semoir
8	0		
9	3	Rotavator, actisol ou vibroculteur, rouleau ondulé	semoir
10	2	Rotavator, cultibutte	combiné
11	0		
12	2	Labour, vibroculteur	
13	0		

Tableau 3 : Tableau de l'itinéraire technique suivie sur les fermes pour le semis et la préparation du sol. V. Jordon, 2021.

graines » (maraîchère 4) comme la féverole qui « est capable de pousser à travers le BRF » (maraîcher 3). Les maraîcher.ère.s 4 et 11 vont même parfois plus loin en laissant un couvert spontané qui ne nécessite aucune intervention.

- Enfourir les résidus. Sept des treize maraîcher.ère.s travaillent la surface du sol avant l'implantation du couvert. Il peut y avoir entre un et trois passages avec les outils suivants : rotavator, cultivateur, ameublisseur, herse, cultivateur, actisol, vibroculteur, cultirateur, cultibutte et labour. Dans l'échantillon de l'étude, l'utilisation d'un semoir était associée à travail du sol comme le montre le tableau 1 ci-contre.

Taille des graines

La tailles des graines des espèces du couvert doivent correspondre à la nature de la surface du sol. Par exemple les petites graines (radis Daïkon, moutarde et graminées) « germent sans avoir besoin d'être enfouies avec une grosse pluie » (maraîchère 4). Elles sont alors choisies si le sol n'est pas travaillé (pas d'enfouissement des graines) et si la surface du sol est nue (pas de résidus de cultures ni de matières organique comme le BRF, le broyat de végétaux ou la paille).

A l'inverse les grosses graines sont utilisées si les graines sont recouvertes par un outil à dents ou si la surface du sol est recouverte par un mulch.

Ainsi, et comme le résume le maraîcher 2 « plus le substrat est fin, plus c'est libre de faire les couverts que l'on veut ».

8.4.2 Semis

Dates

La date de semis est fonction de la période de récolte de la culture précédente. **Après une culture précoce**, comme la pomme de terre nouvelle récoltée en juillet par exemple, quatre options sont envisageables :

- Ne rien implanter tout de suite pour semer un seul et même couvert à partir de septembre, notamment par manque de temps en juillet et août.
- Semer un couvert d'hiver précoce de phacélie en juillet et le laisser en place tout l'hiver (maraîcher 5).
- Semer un couvert intermédiaire d'automne de sorgho-phacélie en août puis le détruire en octobre pour semer un nouveau couvert d'hiver (maraîcher 10).
- Semer immédiatement après la récolte de chaque culture, comme le fait le maraîcher 8 : « Les couverts sont semés à la volée au fur et à mesure et pendant que la culture est arrachée ».

A la suite d'un légume récolté entre août et début novembre, voire fin novembre dans certaines régions, les semis peuvent être étalés tout au long de cette période ou concentrés en une seule fois pour simplifier la gestion du couvert et prioriser le temps de travail sur les dernières récoltes.

Enfin, **après les cultures récoltées à partir de fin novembre et pendant tout l'hiver** (choux, poireaux), trois options sont possibles pour implanter un couvert :

- Avant la récolte, un couvert de vesce peut par exemple être semé au dernier binage des choux (maraîcher 1) ;
- Mettre en place un couvert intermédiaire de printemps, une féverole peut être semée dès fin février pour être détruite en juin avant un semis de carotte (maraîcher 8) ;
- Mettre en place un couvert intermédiaire d'été en mai avant un couvert intermédiaire d'hiver (maraîcher.ère.s 12 et 13).

Pour les autres maraîcher.ère.s, aucun couvert n'est installé avant la prochaine culture au printemps suivant.

En plein champ, les couverts d'été sont installés ponctuellement si une parcelle est libre (maraîcher 5) ou systématiquement pour les maraîchers 12 et 13 après une culture restée en place tout l'hiver pour respecter un « enchaînement obligatoire d'une culture et d'un couvert » (maraîcher 13). Ils sont semés de fin mai à Juin. Sous abris, ils font suite à une culture primeur et sont semés de juin à juillet.

Méthodes

Sur les 13 maraîchers, cinq maraîchers sèment leurs couverts avec un semoir (en jaune dans le tableau ci-contre). Deux maraîchers utilisent des semoirs à disques dont ils disposent déjà pour leur atelier grande culture et deux autres utilisent un semoir combiné à la herse étrille pour diminuer le nombre de passages. Le maraîcher 3 étant sous abris, on s'aperçoit (cf. tableau ci-contre), que ce sont les maraîchers disposant des surfaces les plus importantes qui utilisent un semoir. Pour le maraîcher 9, c'était même un objectif d'augmenter la surface et les productions pour permettre de rentabiliser l'investissement d'un semoir. Le maraîcher 11 est le seul à utiliser une « canne à semer pour la féverole » afin de « positionner la graine à une profondeur optimale ». Sans outil, la majeure partie des maraîchers sèment leurs couverts à la volée, avec ou sans recouvrement des graines.

N° ferme	Surface légume (ha)
1	2,3
2	2
3	3,5
4	0,35
5	1,5
6	3
7	3
8	0,87
9	7
10	2,1
11	0,4
12	2
13	0,5

Tableau 4 : Surface cultivées en légumes des fermes et, en jaune, les maraîchers utilisant un semoir pour les couverts. V. Jordon, 2021.

La densité de semis varie des densités préconisées à des densités doubles de celles préconisées. C'est le résultat de deux stratégies qui s'opposent, l'une vise à respecter la densité préconisée pour favoriser le bon développement de chaque plante comme l'explique le maraîcher 6 (100kg/ha) : « Pas de doses trop importantes pour éviter la concurrence des espèces [du couvert] en période de sécheresse ». L'autre consiste à assurer un développement maximal de biomasse en augmentant la densité de semis afin de pallier une éventuelle mauvaise levée de certaines espèces. De son côté, le maraîcher 13 a commencé avec des doses préconisées puis a augmenté de 20% par an « parce que ce n'était pas assez ». Cependant il observe parfois « des soucis de verse si le couvert se développe bien à 200 kg/ha. ». Enfin, le maraîcher 9 choisi de semer sous abris un couvert « super dense » (2 fois la densité préconisée) car « il faut tout de suite que le couvert vienne concurrencer les adventices ».

8.4.3 Interventions

Il y a très peu d'interventions réalisées pendant le cycle des couverts. Seuls les couverts sous abris et les couverts d'été en plein champ sont systématiquement irrigués, contrairement aux couverts

d'hiver en plein champ qui bénéficient généralement d'une pluviométrie suffisante. Cinq maraîchers de diverses régions se laissent la possibilité d'irriguer le couvert d'hiver si les pluies sont trop rares. Deux d'entre eux n'irriguent les couverts que pour la levée, mais de façon systématique pour augmenter les chances d'obtenir un couvert suffisamment dense.

Les maraîchers 1 et 10 réalisent un passage « agressif » (maraîcher 1) de herse étrille dans leur couvert en sortie d'hiver pour « aérer le sol et réactiver la minéralisation en sortie d'hiver » (maraîcher 10). Le couvert se développe ensuite plus vite selon le maraîcher de haute Saône : « On voit la différence ». Ce dernier choisit en plus de passer le roloflex de l'atelier paysan sur son couvert au printemps si « le seigle fait trop de paille » pour « casser le seigle qui vient étouffer la vesce qui reprend le dessus avant destruction et ainsi éviter trop de carbone qui consommerait trop d'azote ». De plus, le maraîcher de la Loire s'autorise un désherbage à la herse étrille en novembre, si le semis a été réalisé en septembre, pour éliminer les adventices qui n'auraient pas été « suffisamment concurrencées lors de cette période » (maraîcher 1).

8.4.4 Destruction

Dates

Dans l'idéal, les maraîchers souhaiteraient conserver leur couverts « le plus longtemps possible » (maraîchère 4) pour les détruire autour du stade floraison. Elle précise par exemple qu'« idéalement la destruction se fait au stade 'fin floraison' pour avoir plus de carbone dans le couvert et bénéficier de la floraison pour les pollinisateurs ». Le maraîcher 8 est le seul qui choisit d'ajuster la date de destruction de ses couverts en fonction de son objectif : « avant le stade floraison pour un C/N bas, et au stade floraison pour un C/N plus élevé pour une minéralisation plus lente ».

Autre exception, le maraîcher 13 est le seul à toujours respecter cet idéal en implantant toutes ses cultures à partir de mai, plus tard que les autres maraîchers. C'est un choix qui « oblige d'adapter la commercialisation car les légumes ne sont produits qu'à partir de juillet ».

Pour les autres maraîchers, la production de légumes est priorisée par rapport aux couverts. La date de destruction du couvert est choisie en fonction de la date de l'implantation de la culture suivante (la parcelle doit être disponible pour implanter le légume suivant). Entre la destruction du couvert et la plantation de la culture il s'écoule entre quelques jours pour le maraîcher 3 et 1 mois pour le maraîcher 1.

Cependant, cette période peut dépasser un mois dans certaines situations. Le maraîcher 2 préfère fixer la date de destruction des couverts en fonction de la pluviométrie annoncée : « Au moment où la pluie devient plus rare pour conserver l'humidité du sol ». Le maraîcher 5, qui n'a pas d'objectif de production de biomasse, choisit une « destruction des couverts sur toutes les parcelles

d'un coup ». Cela lui permet de simplifier la gestion des couverts et « de ne pas avoir trop de matière à dégrader » et donc de résidus à gérer. Le maraîcher 6 déclare détruire ses couverts « quand on a le temps » même si « l'idéal serait avant floraison, vers début mai).

Méthodes

Comme présenté dans le tableau 3, le couvert peut être broyé (broyeur à marteaux, tondeuse, débroussaileuse) afin de réduire la taille des résidus et « d'accélérer la minéralisation du couvert » (maraîcher 2). Par opposition, le couvert peut être roulé (rouleau FACA ou rouleau lisse). Les tiges, laissées entières en surface, mettront plus de temps à se dégrader créant « un paillage produit sur place » (maraîcher 11) et « empêchant la plantation mécanisée des cultures » (maraîcher 13). Une

N° ferme	Technique de destruction	Bâche pour destruction	Enfouissement
1	broyage	non	oui
2	broyage ou roulage	possible	non
3	covercrop	non	oui
4	broyage	possible	non
5	broyage	non	oui
6	broyage	non	oui
7	roulage	oui	non
8	broyage ou roulage	possible	non
9	broyage	non	oui
10	broyage	non	oui
11	planche à écraser	non	non
12	broyage	non	oui
13	roulage	non	non

Tableau 5 : méthodes de destructions mobilisées par chaque maraîcher. V. Jordon, 2021.

troisième solution est envisageable en « hachant » le couvert avec un outil à disques (covercrop) pour obtenir une taille intermédiaire de résidus et les incorporer aux premiers centimètres du sol. Les maraîcher.ère.s confirment que ces trois techniques de destruction sont efficaces (pas de reprise du couvert) au stade floraison et encore plus avec certaines espèces comme la féverole en comparaison à la vesce par exemple. Si la culture suivante impose une destruction plus hâtive, ces pratiques doivent être suivies d'un travail du sol ou d'une occultation par bâche car le couvert est « capable de repartir » (maraîcher 13).

Enfin, le maraîcher 2 choisit de broyer son couvert plutôt que de le rouler si la pression des adventices est forte, et si aucune occultation pour les maîtriser n'est prévue.

8.4.5 Culture suivante

La conduite de la culture suivante est généralement classique comme le témoigne le maraîcher 2 : « le couvert n'est pas gênant pour la culture, il y aurait eu un problème s'il fallait incorporer un couvert avec un C/N élevé ». Cependant des adaptations sont nécessaires dans certains cas :

- « Si le couvert est sale, la culture suivante sera installée sur bâche » (maraîcher 2).
- « Les pommes de terre sont lancées dans le couvert puis le couvert est roulé » chez le maraîcher 13. Pour la carotte et le panais il réalise un sillon à la machette ou à la scie-sabre

- « pour écarter le couvert roulé ». Sinon pour les plantations, il effectue un petit trou à travers le couvert roulé pour que la motte du plant soit en contact avec le sol.
- Les autres maraîcher.ère.s ne font pas de semis si le couvert est laissé en surface (plantation uniquement).
 - Le maraîcher 7 n'installe que des cultures sur bâche après le couvert.

8.5 Evaluation des couverts

8.5.1 Agronomique

Les couverts végétaux permettent de répondre aux différents objectifs développés plus haut. Mais d'autres avantages sont avancés par les maraîcher.ère.s comme l'augmentation des rendements des cultures suivantes chez le maraîcher 3 ou l'attrait visuel des couverts chez la maraîchère 4. Enfin, plusieurs maraîcher.ère.s sont convaincus que, « plus le soin apporté au couvert est important, plus les bénéfices apportés sur les légumes sont importants » (maraîcher 8). En termes de résultats, aucune mesure n'a été effectuée mais des observations montrent, chez le maraîcher 2 par exemple, que « la structuration du sol se fait rapidement avec les couverts ». Le maraîcher 13, en utilisant ses couverts comme paillage, déclare que les rongeurs sont « nourris et logés à l'année », ce qui l'oblige à palisser certaines cultures et augmenter la densité des légumes racines pour équilibrer les pertes.

8.5.2 Environnement

Les maraîchers 2, 11 et 13 déclarent ne pas avoir besoin de définir une rotation de légumes car cela n'aurait « aucun sens » (maraîcher 11). L'apport d'humus permet, selon le maraîcher 11 de ne pas avoir de problèmes « de fertilité, ni de maladies, ni de sélection de mauvaises herbes ». Cette baisse de la pression des bioagresseurs, et donc des traitements phytosanitaires, est aussi perçue par les deux autres maraîchers. Le maraîcher 13 n'utilise d'ailleurs aucun traitement chimique. Pour le maraîcher 2, les couverts permettent de compléter sa fertilisation basée sur l'apport de matières organiques en évitant les « fertilisants chimiques ». Enfin, le maraîcher 8 explique que les couverts végétaux permettent d'avoir un système à « faible coût énergétique car il n'y a pas de travail du sol ».

8.5.3 Economique

L'évaluation économique est variable selon les maraîcher.ère.s. Le maraîcher 7 estime que les couverts végétaux sont « assez onéreux » tout comme la maraîchère 12 : « ça coûte cher ». Cependant elle déclare être « gagnante par rapport à un engrais standard sur le long terme ». Pour la même raison, le maraîcher 3 confirme que le couvert « se paye par lui-même car la féverole apporte de l'azote ». Selon lui, c'est « au contraire, un gain économique ». Pour le maraîcher 6 « le coût du couvert est à relativiser avec le bénéfice retiré » tout comme le maraîcher 10 qui précise « ne pas penser investissement car la mise en place des couverts garantit de pouvoir faire des cultures au long terme ».

sur ce sol. ». Enfin les maraîcher.ère.s essaient de réduire les coûts des couverts en semant « ce qu'on trouve à pas trop cher et sur place » (maraîchère 4). Les maraîchers 11 et 8 se fournissent en semence chez un voisin pour diminuer les coûts. Ainsi le premier dépense « 0€ pour la féverole » provenant d'un don d'un voisin éleveur et le coût est « négligeable » pour le second qui se fournit en « semence paysanne de grande culture pas très cher ».

8.5.4 Social

En plus d'un coût supplémentaire, les couverts sont une « tâche à part entière » (maraîcher 10) supplémentaire à réaliser. Là aussi le ressenti de la charge de travail supplémentaire n'est pas perçue de la même façon par les maraîcher.ère.s. Ainsi le maraîcher 5 estime prendre « beaucoup de temps pour implanter un couvert, 1 journée pour 1 ha ». Tout comme le maraîcher breton, le maraîcher 2 confirme ce ressenti : « C'est toujours une contrainte mais le jeu en vaut la chandelle vu que j'en fais ». Pour le maraîcher 9, le temps alloué à la gestion des couverts est « très acceptable si on a une vue à long terme » par rapport aux bénéfices apportés (régénèrent le sol, augmentent la fertilité, et le taux de matières organiques). La maraîchère 12 accepte aussi ce temps de travail supplémentaire « pour plus de résultats » sur les légumes suivants. Le maraîcher 7 regrette lui d'avoir « plein d'options pas mises en place par manque de temps et d'organisation ».

De son côté, le maraîcher 13 déclare gagner en temps « si le couvert se développe bien sans adventices », ce qui lui permet de supprimer le temps alloué au désherbage (couvert laissé en paillage). Dans ce cas, le couvert c'est « que dalle niveau temps, il y a juste le semis et le roulage ». Cependant le choix de se servir du couvert comme paillage oblige de réaliser toutes les plantations à la main, ce qui est « plus chronophage et plus difficile physiquement qu'une planteuse où on est assis sur le tracteur ».

Deux maraîcher.ère.s tirent profit de l'enherbement naturel pour laisser se développer un couvert spontané. Ce couvert est intéressant car « il est gratuit, ne demande aucun travail, certaines espèces se mangent (non vendue), et il est adapté aux conditions pédoclimatiques » selon la maraîchère de la Drôme. Elle ajoute que « c'est une bonne solution s'il n'y a pas eu le temps d'implanter un couvert ».

8.6 Facteurs limitants

A la question « qu'est-ce qui peut freiner les autres maraîcher.ère.s à utiliser des couverts », le maraîcher 9 a répondu « il faut du temps, de la place, et de la volonté ». Selon lui, « les personnes en manque de main d'œuvre et de place ne peuvent pas les mettre en place ». Cet avis est partagé par le maraîcher 10 et 11 « il faut avoir de la place ». Le premier évoque « l'argument économique » priorisant la production des légumes par « manque de place à cause de la pression foncière ». Pour lui,

l'investissement dans les couverts c'est comme « mettre son portefeuille dans le jardin », mais estime que c'est essentiel : « je cherche à ce que mes enfants puissent cultiver ».

8.7 Intérêt des outils numériques

Les entretiens avec les maraîcher.ère.s et la réunion organisée par Bio-Occitanie avec les maraîcher.ère.s du GIEE couverts végétaux ont confirmé les résultats de la première phase. Pour mettre en place un couvert, « l'enjeu est surtout d'y penser » pour la maraîchère 12. Le maraîcher 5 souligne aussi l'importance « d'intégrer les couverts dans la planification pour commander les semences en même temps que les graines de légumes ». Pour le maraîcher 9, il est important de « savoir qu'est-ce qu'on recherche en mettant en place un couvert, combien de temps on a et quelle est la culture suivante ». Il précise par ailleurs que « c'est très bien de planifier mais en réalité aucune année n'est pareil, il n'y a que des adaptations, des opportunités ».

En termes de connaissances, le maraîcher 6 aimerait « connaître quelle espèce mettre après quel légume et à quelle densité, la période de semis, et les mélanges préconisés ». La maraîchère 12 aurait souhaité des informations techniques précises car « les infos MSV¹⁵ sur YouTube, ce n'est jamais très précis, ce n'est pas le même contexte ».

Concernant la création d'un outil d'aide à la décision, plusieurs maraîcher.ère.s du GIEE ont indiqué que la réflexion pour le choix du couvert ne pouvait être faite que par le maraîcher lui-même qui connaît son contexte. Le maraîcher 8 a aussi déclaré qu'il fallait avoir une certaine expertise des couverts pour effectuer les meilleurs choix. Pour lui, « on n'est pas dans une rigueur militaire d'application des choix, on fonctionne avec sens, on voit une chose, on apprend à la lire et cette lecture détermine l'action. C'est l'inconvénient des fiches techniques, ce n'est pas une recette ». Le choix du couvert résulte alors d'une « représentation globale mobile, complexe à mettre en œuvre ».

Cependant, les maraîcher.ère.s du GIEE aimeraient gagner du temps dans leur recherche en sélectionnant un ou deux critères pour réduire la multitude de choix possibles. Les critères des périodes d'occupation, des objectifs visés et des besoins de la culture suivante (besoins de préparation du sol) ont été prioritaires par les maraîcher.ère.s.

Lors de la réunion avec les maraîcher.ère.s du GIEE couvert végétaux, ils.elles ont, de plus, déclaré qu'un bon nombre d'informations sur les couverts étaient déjà disponibles sur internet, mais qu'elles étaient éparpillées et sous formes diverses, rendant difficile leur accès.

Enfin, les maraîcher.ère.s des entretiens ont déclaré s'être intéressés au couvert lors de visites d'exploitation en France et à l'étranger notamment, ainsi que sur les forums dédiés à l'agriculture.

¹⁵ Maraîchage sur Sol Vivant

8.8 Fonctionnement des outils numériques envisagé

Les échanges avec les maraîchers ont montré que (i) les périodes d'implantation possibles et (ii) la famille botanique de chaque espèce des couverts seraient à renseigner dans La Pépinière. Les dates précises de semis et de destructions devront être définissables par l'utilisateur. Car les couverts peuvent avoir de larges périodes d'implantation qui ne sont pas adaptés à tous les systèmes de production.

Les fonctions des couverts ne seraient pas pertinentes à renseigner dans *La Pépinière* car, comme on l'a vu, chaque couvert peut être utilisé pour répondre à plusieurs objectifs identifiés par les maraîchers de l'étude. Cette information ou ce critère ne serait de plus pas discriminant dans le choix de couverts car certains maraîchers de l'étude ont fait des choix antagonistes pour atteindre le même objectif (par exemple des systèmes racinaires fasciculés ou pivotants pour améliorer la structure du sol).

Par opposition, l'itinéraire technique dépend de l'objectif du maraîcher attribué au couvert. C'est pourquoi, dans GECO, les fiches de chaque ferme seront reliées à la fonction des couverts car leur itinéraire technique suivi par le ou la maraîcher sera détaillé. Ce système de « tags », en ovale sur la figure 5, permettra aussi de retrouver les fiches sur les couverts végétaux lorsque l'utilisateur recherche une solution pour améliorer son système (fertilité azotée organique par exemple) ou des informations techniques (méthode de destruction par exemple).

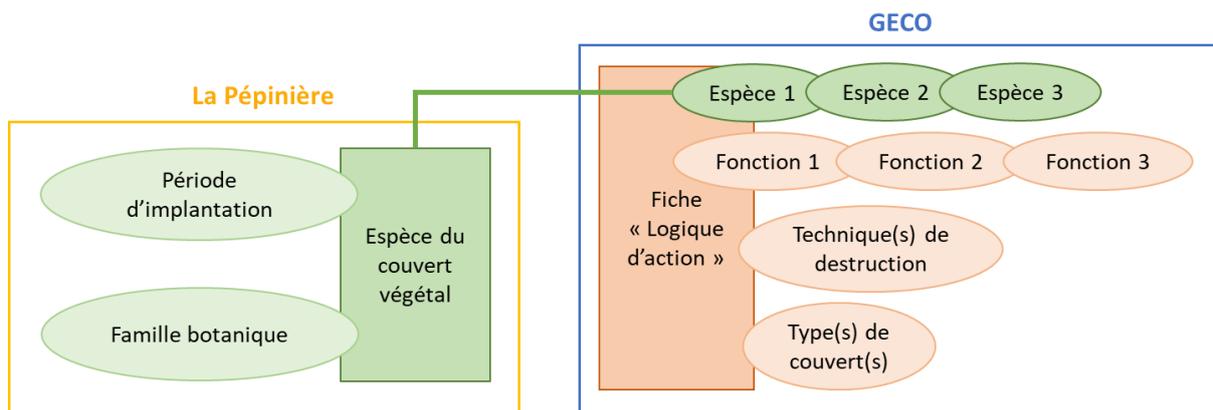


Figure 5 : Schéma des contenus (rectangles vert et rouge) proposés dans les outils numériques et identifiés dans GECO par les mots-clés faisant référence à la fiche « logique d'action ». V. Jordon, 2021.

Ces mots-clés répondent bien à l'impossibilité de hiérarchiser les éléments de raisonnement d'un maraîcher pour le choix d'un couvert comme l'a montré la singularité des choix effectués. Les « tags », attribués à chaque fiche, permettront de retrouver les fiches à partir d'une recherche par mots clé ou par catégorie à laquelle ils appartiennent. Ces mots clés, identifiés lors des échanges avec les maraîchers sont : les espèces utilisées dans les couverts, les fonctions attribuées aux couverts par les maraîchers, le type de couverts (saison, semé ou spontané, engrais vert, CIMS, CIPAN,

intermédiaire, en relais, en association, permanent) et la technique de destruction (broyage, roulage, enfouissement).

Ainsi à chaque recherche (« couvert végétal avoine-vesce » par exemple) une fiche correspondante pourra ressortir. Si une fiche comporte « avoine » ou « vesce » comme mot clé et aussi « structure du sol », GECO pourrait proposer par la suite d'autres fiches « structure du sol » en mot clé lorsque cette catégorie sera sélectionnée.

9. Discussion générale

9.1 Complexité de l'agroécologie en maraîchage

Lors de la phase exploratoire, les maraîcher.ère.s et les conseillers ont confirmé la complexité d'organisation à laquelle ils faisaient face (Lanciano et al. 2012; Morel, Léger 2015; Aubry 2011; Dumont, Baret 2017). Leur engouement devant la présentation des maquettes de *La Pépinière* témoigne du besoin en accompagnement numérique pour planifier les productions légumières de façon visuelle et pratique (Gliessman 1990; Catalogna 2018; Parache 2018).

Les maraîcher.ère.s déclaraient avoir du mal à assurer et à organiser les productions au point que penser les leviers agroécologiques en amont semblait être en décalage par rapport à leurs attentes de la Pépinière. Ils déclaraient que l'outil prenait en compte la diversification des productions, l'allongement des rotations et la sélection de variétés résistantes, leviers essentiels en agroécologie (Aubertot et al. 2005; Lefèvre et al. 2020), ce qui leur paraissait déjà être une belle avancée.

En approfondissant les échanges, et parmi la diversité de pratiques pouvant servir de leviers agroécologiques, les couverts végétaux sont apparus très intéressants à mobiliser dans l'outil de planification. Les couverts végétaux demandent un investissement économique et humain supplémentaire pouvant freiner leur mise en place (Aubertot et al. 2005). Cependant l'étude a révélé que les maraîcher.ère.s obtenaient une large compensation de ces investissements sur le court et long terme. L'adoption des couverts végétaux pourrait alors être favorisée par le retour d'expérience de maraîcher.ère.s dans GECO (fiches « logique d'action ») afin de peut-être résoudre l'incomplétude des connaissances sur le sujet (Navarrete et al. 2017; Caquet, Gascuel, Tixier-Boichard 2020b).

9.2 Les couverts végétaux en maraîchage

L'étude menée auprès de treize maraîcher.ère.s a permis de relever les pratiques singulières sur les fermes (Altieri 2002; Salembier et al. 2021; Navarrete et al. 2017) afin de les partager. Cette collecte de connaissances a notamment permis de se rendre compte des particularités des couverts végétaux, rendant leur intégration dans les outils difficiles. Les points saillants de ces pratiques collectées auprès des 13 fermes enquêtées sont discutés dans les parties suivantes. D'autres pratiques sont certainement présentes sur d'autres fermes et ne sont pas prises en compte ici.

9.2.1 Les types de couverts rencontrés

Les types de couverts végétaux qui ont été étudiés correspondent en général à ceux identifiés dans la bibliographie explorée. Cependant, on ne retrouve pas de couverts en association, implantés en même temps que les légumes. Cela pourrait s'expliquer par la technicité nécessaire pour réaliser

cette implantation et par le risque de concurrence à la culture. Cela ferait alors diminuer le rendement agronomique et commercialisable (Aubertot et al. 2005).

Aucun maraîcher n'a recours à un couvert gélif. On peut supposer que la destruction par le gel pourrait être trop incertaine ou ne correspondrait pas aux objectifs des maraîcher.ère.s. En effet, le développement des couverts était souvent recherché au printemps pour augmenter la biomasse produite.

Comme la bibliographie explorée l'avancait, certains maraîcher.ère.s recherchaient une importante diversité dans les couverts pour favoriser le développement du couvert et atteindre une biomasse importante (Finney, White, Kaye 2016).

9.2.2 Adaptation des couverts

La différence des moyennes des types de couverts installés sur la ferme (2,5 types de couverts) et la moyenne des couverts réellement mis en place (3,1 couverts différents) témoigne de l'adaptation nécessaire des maraîcher.ère.s en fonction de leur contexte et de leurs objectifs au sein même de la ferme. Ces adaptations sur la ferme montrent que le choix de la composition d'un couvert ou de sa conduite peuvent être propres à chaque contexte à l'échelle de la parcelle.

9.2.3 Fonctions des couverts

Les couverts végétaux remplissent à chaque fois plusieurs fonctions selon les maraîcher.ère.s. Ils.elles sélectionnent parfois même des couverts différents pour un même objectif, ce rend la classification des couverts difficile selon leurs fonctions.

Un autre point marquant a été celui de la logique de fertilisation des maraîcher.ère.s. L'apport d'azote par les couverts végétaux était le seul élément identifié pour améliorer la fertilité. Or, plusieurs maraîcher.ère.s recherchaient plutôt l'apport de matière organique carbonée pour améliorer la fertilité de leurs sols. Cette différence s'explique notamment par deux raisonnements différents. Le premier est basé sur un apport d'azote libéré rapidement pour la culture suivante. Les couverts sont alors composés majoritairement voire exclusivement de légumineuses. Le second a pour objectif d'enrichir le sol pour être minéralisé dans un pas de temps plus long par les organismes vivants du sol. Dans ce cas, les maraîcher.ère.s préfèrent un couvert composé majoritairement d'espèces non légumineuses, souvent des céréales. Cette différence d'approche de la fertilité montre encore une fois la difficulté d'attribuer une fonction à un couvert.

9.3 Les termes utilisés

Les termes utilisés par les maraîcher.ère.s ne sont pas bien définis ce qui peut amener de la confusion pour un maraîcher novice dans l'utilisation des couverts. En effet un maraîcher insistait sur

l'importance de faire la différence entre un engrais vert qui a pour objectif de nourrir la plante et le couvert végétal strict (comparable à la définition du CIMS retenu dans les fiches), qui a plutôt pour objectif d'amender le sol. Ces deux termes traitent de deux logiques différentes sur deux pas de temps différents en terme de nutrition des plantes.

Un autre maraîcher exprimait le regret de la connotation négative du mot « détruire » pour stopper le développement du couvert. Il aurait préféré le terme de « mobilisation » soulignant la valorisation du couvert pour la culture suivante.

9.4 La place des couverts végétaux dans le maraîchage.

Une vingtaine de maraîcher.ère.s ont été identifiés parmi peut-être plusieurs centaines de maraîcher.ère.s connus des personnes ressources contactées. On peut alors imaginer que les couverts végétaux sont encore peu utilisés dans les fermes de producteurs de légumes. Les éléments apportés par l'enquête (besoin de surface, de temps disponible, de matériel...) ne sont probablement pas exhaustifs. Pour les compléter, il faudrait mener une enquête quantitative sur les raisons de non mise en place des couverts afin de voir sur un plus grand échantillon, quels facteurs sont déterminants pour renoncer à l'idée des couverts végétaux. Le manque de connaissances ou de références sur les couverts végétaux est sans doute un frein pour la mise en place des couverts.

Les fermes étudiées ont une surface de légume cultivée assez petite au regard des producteurs de légumes. On peut alors se poser la question du succès des couverts chez les producteurs de légumes sur grande surface.

9.5 Perspectives pour le développement futur des outils numériques

Les outils numériques sont encore peu connus et la question de leur accessibilité pour le partage de connaissance se pose.

9.5.1 La pépinière

Encore en cours de développement, *La Pépinière* sera disponible dans sa version finale en 2023 après une année de mise à l'épreuve d'un prototype en 2022. Son mode de communication pour se faire connaître de tous les maraîcher.ère.s est encore à réfléchir. Cependant, grâce aux partenariats avec Educagri éditions, le réseau de la chambre d'agriculture et le réseau FNAB, la diffusion de l'outil sera facilitée.

Pour ce qui est de l'intégration des couverts végétaux, la suite du travail consistera à créer une base de données des espèces des couverts végétaux par défaut comportant leur période d'implantation par zone climatique et leur famille botanique. Cependant, il sera difficile de renseigner, comme on vient de le voir, toutes les espèces et mélanges existants. Ainsi l'utilisateur aura la possibilité de

compléter l'outil avec ses propres couverts. Un lien de renvoi vers le recueil de fiches GECO devra lui être proposé à ce moment-là afin de réfléchir à d'éventuels nouveaux couverts végétaux.

9.5.2 GECO

Cet outil de partage de connaissance est opérationnel mais encore peu utilisé. Il tend à s'enrichir dans les prochaines années et la plateforme sera amenée à évoluer pour faciliter son utilisation. En maraîchage, la communication autour de l'outil n'est pas encore lancée mais elle devrait aussi passer par les structures d'accompagnement agricole.

Par ailleurs, d'autres structures réalisant des fiches de partage de connaissances sur les couverts ont été identifiées : Bio occitanie (fiches fermoscopies) et la FRAB de Bretagne via le projet Persyst. Les fiches fermoscopies sont pour le moment accessibles sur leur site internet et sont vouées à être partagées sur une plateforme de partage de connaissance s'étant inspiré de GECO : TriplePerformance. Les fiches du projet Persyst sont, elles, accessibles sur le site ECOPHYTOPIC.

Il serait alors intéressant de rassembler les partages d'expériences au même endroit pour faciliter l'accès aux connaissances qui sont aujourd'hui éparpillées, dans un outil fournissant également d'autres types de connaissances (par exemple des arbres d'exploration permettant, d'un seul coup d'œil, d'envisager une diversité de manières de conduire les couverts, (Quinio, 2021)).

Pour la plateforme GECO, 13 fiches sur les couverts végétaux ont été créées pour partager les connaissances présentes sur les fermes (Altieri 2002; Salembier et al. 2018; Navarrete et al. 2017). Dans le futur, ces fiches pourraient être créées par les administrateurs de GECO, membres des structures d'accompagnement agricole.

9.6 Limites de l'étude

9.6.1 Le temps

Le temps pour réaliser ces entretiens était très court, couvrant uniquement le mois de Juin. La définition des objectifs des entretiens, la préparation du guide d'entretien et la prise de contact ont abouti fin mai et nous prévoyions minimum 4 semaines de traitement des entretiens et de rédaction des résultats, courant sur le mois de Juillet, le dernier des 6 mois de stage. Ce temps réduit de 1 mois pour réaliser les entretiens a fixé la limite supérieure du nombre d'entretiens à 15. Il n'était pas envisageable d'en réaliser plus, cela aurait été très compliqué de terminer dans les temps.

9.6.2 Les personnes enquêtées

Encore plus en période de forte activité, les maraîcher.ère.s ayant accepté de répondre à l'enquête sont ceux qui ont sûrement une sensibilité supérieure à partager leur expériences et leurs innovations. Cette volonté de pédagogie peut alors découler d'une certaine détermination à faire

évoluer les pratiques agricoles pour plus d'écologie « Je m'amuse, j'essaie de comprendre... » (maraîcher 2). Ceci a pour résultat que les maraîcher.ère.s enquêtés sont celles et ceux qui sont plutôt innovants, voire pionniers dans la mise en place des couverts végétaux. Cela répondait alors très bien à l'objectif de relever les connaissances et innovations pour les partager mais cela oblige aussi à relativiser la représentativité de l'étude. Le raisonnement ou les besoins des maraîcher.ère.s moins actifs sur la communication pourraient alors différer de ces « militants » des couverts.

Concernant l'évaluation des couverts, les maraîcher.ère.s ont été interrogés sur leur perceptions et leurs propres observations. Un travail de suivi et d'expérimentation pourrait alors être mené afin de quantifier et comparer précisément les résultats des couverts végétaux.

10. Qualité de Vie au Travail

Pendant mon stage, la qualité de vie au travail (QVT) a été très impactée par la crise sanitaire. Plutôt que de choisir une thématique de la QVT proposée, il semble plus adapté, pour ce stage, de parler de la détérioration de la qualité de vie au travail en temps de pandémie. Le stage, et surtout sa première moitié a assurément été plus compliqué à gérer avec les mesures sanitaires. Le travail en distanciel généralisé a réduit considérablement les rencontres en face à face. Cela a compliqué la prise en main du sujet car les échanges à distance sont toujours plus difficiles et ils ne laissent pas la possibilité de discuter plus largement du sujet lors de moments informels. La motivation et l'efficacité au travail s'en retrouvaient alors impactés car il était impossible d'être réellement intégré dans une dynamique d'équipe, habituellement permise par le présentiel. Cette impression de solitude était d'autant plus importante quand les autres stagiaires du bureau organisaient leurs sorties terrains avec leurs encadrants. Heureusement la bienveillance et la sympathie de mes encadrants permettaient de compenser en partie cette frustration. Les échanges en appel vidéo se sont toujours très bien passés, j'étais pleinement soutenu lors de ces rendez-vous hebdomadaires.

Ce stage a été l'occasion de prendre la pleine mesure de l'importance de travailler en équipe, de considérer le travail comme un lieu de vie à part entière. Il est presque essentiel d'avoir de bonnes relations humaines avec ses collègues de bureau et de couloir pour se sentir épanoui dans son travail et par conséquent dans sa vie.

11. Conclusion

11.1 Synthèse

Le sujet initial de ce travail de 6 mois portait sur les connaissances agroécologiques à mobiliser dans deux outils numériques pour la transition agroécologique à grande échelle des productions légumières.

Les résultats successifs de la phase exploratoire ont permis de prendre en compte les besoins des futurs utilisateurs des outils pour répondre au mieux aux besoins des maraîcher.ère.s. Les résultats obtenus lors de cette première phase exploratoire sont celles de maraîcher.ère.s et de conseillers déjà intéressés par l’outil de *La Pépinière*, qui sont acteurs et partenaires du projet Mesclun.

Toutes les pratiques pouvant participer à une démarche agroécologique ont été présentés aux acteurs du maraîchage partenaires du projet MESCLUN DURAB. Les discussions avec les « experts » de l’agroécologies en maraîchage ont montré la complexité de l’agroécologie en maraîchage qui allait être difficile à prendre en compte dans les outils numériques. En effet, les combinaisons de pratiques sont nombreuses, voire uniques en fonction de leur contexte. Les « experts » et maraîcher.ère.s souhaitaient avoir accès à des connaissances contextualisées. Ainsi, aucune règle générale ou caricature ne pouvait être pertinente à aborder. Cette option, dans un premier temps sélectionnée pour proposer des « tendances dans les outils » et inciter les utilisateurs à aller vers un « ensemble de pratiques » plus agroécologiques, a alors été abandonnée, faute de pertinence pour les acteurs du maraîchage. Fournir des informations ou connaissances précises, connectées à un contexte identifié, allait demander plus de temps, et il a alors fallu sélectionner une ou plusieurs pratiques pouvant participer à l’agroécologie. Avec les maraîcher.ère.s et les conseillers, il est apparu que la rotation culturale, la résistance variétale, l’occultation et les couverts végétaux étaient les principaux leviers agroécologiques mis en place en maraîchage. Ces pratiques correspondaient effectivement au fonctionnement de *La Pépinière*, par leur planification, tout comme les légumes. Les couverts végétaux étaient la pratique la plus plébiscitée par les interrogés, et ils ont été décrit comme une thématique de plus en plus présente en maraîchage et encore peu mobilisée. La deuxième partie de ce travail de six mois a alors consisté à l’acquisition de connaissances innovantes contextualisées sur les couverts végétaux afin de réfléchir à leur intégration dans les deux outils numériques.

Treize entretiens ont été menés auprès de maraîcher.ère.s des plusieurs régions françaises pour relever et partager sous forme de fiches « logique d’action » les connaissances présentes dans les fermes.

Les couverts végétaux sont majoritairement installés entre deux cultures de légumes mais quelques maraîcher.ère.s réfléchissent ou mettent déjà en place des couverts sur les passe-pieds ou

en culture relais avant la récolte du premier légume. L'hiver semble être la saison la plus propice pour l'installation d'un couvert en plein champ, et l'été, dans une moindre mesure, sous abris. Les couverts végétaux sont utilisés dans plusieurs objectifs par chaque maraîcher. Les plus poursuivis sont l'amélioration de la fertilité chimique et biologique, l'amélioration de la structure du sol et la gestion des adventices. Par ces différents objectifs et par les contextes variés, 35 couverts végétaux différents ont été relevés car les 13 maraîcher.ère.s utilisent plusieurs couverts sur leur ferme de façon générale. Cette importante diversité perçue seulement sur ce faible échantillon montre la multitude de choix possibles en termes de couverts végétaux.

Considérer les couverts végétaux comme des cultures à part entière est apparu essentiel pour leur réussite. Les maraîcher.ère.s ont aussi souligné l'importance de planifier les couverts pour les semer au bon moment dans une période encore occupée par les récoltes. L'hypothèse de présenter quelques connaissances succinctes dans *La Pépinière* au moment de la planification et de créer un lien vers GECO pour plus d'informations contextualisées, a alors été confirmée. Ainsi les utilisateurs de *La Pépinière* pourront retrouver les principaux couverts végétaux dans l'outil accompagné de leur période d'implantation et de leur famille botanique, deux éléments identifiés comme pertinents au moment de la planification par les maraîchers. Les fiches « logique d'action » de GECO seront, elles, accessibles en sélectionnant les espèces des couverts dans *La Pépinière* afin d'obtenir différents exemples contextualisés de mise en place de couverts végétaux.

Ainsi *La Pépinière* proposera une option agroécologique qui sera définie au moment de la planification des légumes, et GECO présentera des partages d'expériences d'une pratique encore innovante en maraîchage.

11.2 Bilan personnel

Ce stage de fin d'études a eu une importance toute particulière pour moi dans le cadre de ma formation ingénieur. Cela a été pour moi l'occasion de me rendre compte de ce qu'était réellement une partie de métier d'ingénieur. Ce travail d'une demie année a été l'occasion de concerter l'ensemble des parties prenantes du projet pour intégrer les besoins et attentes du corps scientifique et des futurs utilisateurs. La démarche exploratoire mise en place au début était difficile à gérer car les contradictions étaient nombreuses, tout comme les fausses pistes. De ce flou de départ, il était néanmoins intéressant de réfléchir à des solutions qui convenaient à tous. La deuxième phase a été pour moi l'occasion de découvrir en détail une pratique prometteuse en maraîchage agroécologique. Les entretiens ont été très enrichissants car ils permettaient de relever et de partager les connaissances développées par des maraîcher.ère.s continuellement en recherche d'améliorations. Ces nouvelles connaissances et partages d'expériences permettront, je l'espère, de faire avancer

l'agroécologie dans d'autres fermes, ce qui serait pour moi une grande satisfaction. Ce travail a aussi été l'occasion de me rendre compte de la rigueur nécessaire dans l'analyse des résultats. Plusieurs fois je me suis repris pour éviter de prendre pour résultat des suppositions ou interprétations des discours des maraîcher.ère.s qui pouvaient s'éloigner de leur sens premier. Au lieu d'écrire ce que j'avais retenu, je me suis attaché à citer les verbatims des maraîcher.ère.s dans l'analyse des résultats. Il est à espérer que cela rende ce travail rigoureux, intéressant et mieux compréhensible par tous, tout en servant d'illustration.

12. Bibliographie

- ADAMS, William, 2015. *Conducting_semi_structured_interviews.pdf*. août 2015. DOI 10.1002/9781119171386.ch19.
- AGREENIUM, 2018. Enseigner et apprendre l'agro-écologie. *Agreenium* [en ligne]. 9 octobre 2018. [Consulté le 5 mai 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.agreenium.fr/page/enseigner-et-apprendre-lagro-ecologie> Séminaire « Enseigner et apprendre l'agro-écologie » Toulouse-Auzeville (campus des sciences vertes, site de l'ENSFEA), 4 octobre 2018
- ALTIERI, Miguel A, 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. décembre 2002. Vol. 93, n° 1-3, pp. 1-24. DOI 10.1016/S0167-8809(02)00085-3.
- AMOSSÉ, Camille, JEUFFROY, Marie-Hélène, CELETTE, Florian et DAVID, Christophe, 2013. Relay-intercropped forage legumes help to control weeds in organic grain production. *European Journal of Agronomy*. août 2013. Vol. 49, pp. 158-167. DOI 10.1016/j.eja.2013.04.002.
- ARVALIS, 2020. Choix des couverts. *Arvalis, institut du végétal* [en ligne]. 2020. [Consulté le 7 juin 2021]. Disponible à l'adresse : <http://www.choix-des-couverts.arvalis-infos.fr/en-savoir-plus.php>
- AUBERTOT, Jean-Noël, CLERJEAU, Michel, DAVID, Christophe, DEBAEKE, Philippe, JEUFFROY, Marie-Hélène, LUCAS, Philippe, MONFORT, Françoise, NICOT, Philippe et SAUPHANOR, Benoît, 2005. Stratégies de protection des cultures. . 2005. pp. 104.
- AUBRY, Christine, 2011. Les circuits courts en agriculture revisitent-ils l'organisation du travail dans l'exploitation ? . janvier 2011. pp. 18.
- BRUN, Damien et LABREUCHE, Jérôme, 2020. OPTER POUR LA TECHNIQUE DE DESTRUCTION DES COUVERTS LA PLUS APPROPRIÉE. *Arvalis-infos.fr* [en ligne]. 12 novembre 2020. [Consulté le 10 juin 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.arvalis-infos.fr/opter-pour-la-technique-de-destruction-des-couverts-la-plus-appropriee-@/view-11589-arvarticle.html>
- CA NORMANDIE, 2020. CULTURES INTERMÉDIAIRES - CIPAN. *CHAMBRES D'AGRICULTURE NORMANDIE* [en ligne]. 2020. Disponible à l'adresse : <https://normandie.chambres-agriculture.fr/conseils-et-services/produire-thematiques/cultures/cultures-intermediaires-cipan/>
- CA PDL, Chambre d'agriculture des pays de la Loire, 2015. *Introduire des engrais verts dans les rotations en maraîchage diversifié* [en ligne]. janvier 2015. Disponible à l'adresse : https://draaf.pays-de-la-loire.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Fiche_Dephy_Engrais_verts_BAT_cle8335bd.pdf
- CAQUET, Thierry, GASCUEL, Chantal et TIXIER-BOICHARD, Michèle, 2020a. *L'agroécologie : des recherches pour la transition des filières et des territoires* [en ligne]. 2020. © Éditions Quæ. Disponible à l'adresse : <https://library.oapen.org/viewer/web/viewer.html?file=/bitstream/handle/20.500.12657/39949/9782759231300.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CAQUET, Thierry, GASCUEL, Chantal et TIXIER-BOICHARD, Michèle, 2020b. *Agroécologie : des recherches pour la transition des filières et des territoires* [en ligne]. éditions Quæ. [Consulté le 19 avril 2021]. ISBN 978-2-7592-3130-0. Disponible à l'adresse : <https://www.quae-open.com/produit/131/9782759231300/agroecologie-des-recherches-pour-la-transition-des-filières-et-des-territoires>
- CASH, David W., CLARK, William C., ALCOCK, Frank, DICKSON, Nancy M., ECKLEY, Noelle, GUSTON, David H., JÄGER, Jill et MITCHELL, Ronald B., 2003. Knowledge systems for sustainable development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 8 juillet 2003. Vol. 100, n° 14, pp. 8086-8091. DOI 10.1073/pnas.1231332100.
- CATALOGNA, Maxime, 2018. *Expérimentations de pratiques agroécologiques réalisées par les agriculteurs: Proposition d'un cadre d'analyse à partir du cas des grandes cultures et du maraîchage diversifié dans le département de la Drôme* [en ligne]. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse. Disponible à l'adresse : <https://archives-publications.inrae.fr/459081.pdf>

CELETTE, Florian et DUCHENE, Olivier, 2020. Améliorer la diversité végétale cultivée. . Isara. 16 novembre 2020.

CHANTRE, Émilie, LE BAIL, Marianne et CERF, Marianne, 2014. Une diversité de configurations d'apprentissage en situation de travail pour réduire l'usage des engrais et pesticides agricoles. *Activites* [en ligne]. 15 octobre 2014. Vol. 11, n° 2. [Consulté le 5 mai 2021]. DOI 10.4000/activites.1061. Disponible à l'adresse : <http://journals.openedition.org/activites/1061>

CHIA, Eduardo, BROSSIER, Jacques et MARSHALL, Eric, 1991. Démarche clinique et décisions : une méthode de recherche en gestion. *Économie rurale*. 1991. Vol. 206, n° 1, pp. 29-36. DOI 10.3406/ecoru.1991.4235.

CREAMER, Nancy G., BENETT, Marc A. et STINNER, Benjamin R., 1997. Evaluation of Cover Crop Mixtures for Use in Vegetable Production Systems. *HortScience*. août 1997. Vol. 32, n° 5, pp. 866-870.

DE TOURDONNET, Stephane, BRIVES, Hélène, DENIS, Michel, OMON, Bertrand et THOMAS, Frédéric, 2020. Accompagner le changement en agriculture: du non labour à l'agriculture de conservation. . 29 mai 2020. pp. 15.

DOGLIOTTI, S, 2013. Co-innovation of family farm systems: A systems approach to sustainable agriculture. . 2013. pp. 11.

DUMONT, Antoinette M. et BARET, Philippe V., 2017. Why working conditions are a key issue of sustainability in agriculture? A comparison between agroecological, organic and conventional vegetable systems. *Journal of Rural Studies*. novembre 2017. Vol. 56, pp. 53-64. DOI 10.1016/j.jrurstud.2017.07.007.

ECKERT, Cathy, HOUDIN, Angeline, BARRIERE, Karine, BEYER, Henri, BROUARD, Sophie, BZDRENGA, Ludovic, CADEZ, Thibaut, CAMOIN, Laurent, DUTERTRE, Rosalie, GAUVRIT, Damien, GINOUX, Valérie, GIRAULT, Marie et VALBUZZI, Sylvie, 2015.

ECOPHYTOPIC, 2021. Portail | Ecophytopic. [en ligne]. 2021. [Consulté le 6 mai 2021]. Disponible à l'adresse : <https://ecophytopic.fr/>

EISENHARDT, K. M., 1989. Building theories from case study research. *Academy of Management Review*. 1989. Vol. 14, n° 4, pp. 532-550.

FAO, 2015. ISBN 978-92-5-108696-4 : *Final report for the international symposium on agroecology for food security and nutrition* [en ligne]. Rome Italy. Disponible à l'adresse : <http://www.fao.org/3/i4327e/i4327e.pdf>

FINNEY, Denise M., WHITE, Charles M. et KAYE, Jason P., 2016. Biomass Production and Carbon/Nitrogen Ratio Influence Ecosystem Services from Cover Crop Mixtures. *Agronomy Journal*. janvier 2016. Vol. 108, n° 1, pp. 39-52. DOI 10.2134/agronj15.0182.

GABB 32, 2013. Utilisation des engrais verts en maraîchage biologique. . décembre 2013.

GHESQUIÈRE J., CADILLON A., FOURRIÉ L., et FONTAINE L., 2012. Choisir et réussir son couvert végétal pendant l'interculture en AB. ITAB. . 2012. pp. 15.

GIS PICLÉG, 2013. Guide Leg_FT1_couvert vegetal d'interculture.pdf. . septembre 2013. pp. 2.

GLIESSMAN, Stephen R, 1990. 1. Agroecology: Researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture. . 1990. pp. 8.

GUICHARD, Laurence, BALLOT, Rémi, HALSKA, J., LAMBERT, Eva, MEYNARD, Jean-Marc, MINETTE, S., PETIT, M.S., REAU, R. et SOULIGNAC, Vincent, 2015. AgroPEPS, un outil web collaboratif de gestion des connaissances pour Produire, Echanger, Pratiquer, S'informer sur les systèmes de culture durables. *Innovation Agronomiques*. 2015. N° 43, pp. 83-94.

GUICHARD, Laurence, DEDIEU, François, JEUFFROY, Marie-Hélène, MEYNARD, Jean-Marc, REAU, Raymond et SAVINI, Isabelle, 2017. Le plan Ecophyto de réduction d'usage des pesticides en France : décryptage d'un échec et raisons d'espérer. *Cahiers Agricultures*. janvier 2017. Vol. 26, n° 1, pp. 14002. DOI 10.1051/cagri/2017004.

HATCHUEL, Armand et WEIL, Benoit, 2009. C-K design theory: an advanced formulation. *Research in Engineering Design*. janvier 2009. Vol. 19, n° 4, pp. 181-192. DOI 10.1007/s00163-008-0043-4.

- JEANNEQUIN, B., DOSBA, Françoise et AMIOT, Marie Josèphe, 2005. *Un point sur les filières fruits et légumes : caractéristiques et principaux enjeux*. INRA éditions.
- JUSTES, E. et RICHARD, G., 2017. Contexte, concepts et définition des cultures intermédiaires multi-services. *Innovations Agronomiques*. 2017. Vol. 62, pp. 1-15. DOI 10.15454/1.5174017785695195E12.
- LABREUCHE, Jérôme, 2021. Exemples de couverts permanents implantés dans différentes cultures. *Arvalis-infos.fr* [en ligne]. 12 mai 2021. [Consulté le 9 juin 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.arvalis-infos.fr/les-couverts-permanents-une-alternative-aux-cultures-intermediaires-classiques-@/view-19086-arvarticle.html#:~:text=Un%20couvert%20permanent%20a%20un,18%20et%2036%20mois%20environ>.
- LAMICHHANE, Jay Ram, ARENDSE, Wilma, DACHBRODT-SAAYDEH, Silke, KUDSK, Per, ROMAN, Johan C., VAN BIJSTERVELDT-GELS, José E.M., WICK, Mario et MESSÉAN, Antoine, 2015. Challenges and opportunities for integrated pest management in Europe: A telling example of minor uses. *Crop Protection*. août 2015. Vol. 74, pp. 42-47. DOI 10.1016/j.cropro.2015.04.005.
- LANCIANO, Emilie, BON, Nicolas, HÉRAULT-FOURNIER, Catherine et AUBRÉE, Pascal, 2012. Diversité des logiques de travail dans les exploitations maraîchères en circuits courts. . 6 mars 2012. pp. 20.
- LAUNAI, 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 PICléq. 2014. 178p
- LECOURTIER, Mathieu, 2021. L'intérêt du couvert végétal évident pour le carbone, moins pour le rendement. *Cultivar* [en ligne]. 4 février 2021. [Consulté le 3 juin 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.cultivar.fr/technique/linteret-du-couvert-vegetal-evident-pour-le-carbone-moins-pour-le-rendement>
- LEFÈVRE, Amélie, 2019. *Recueil de fiches du projet 4SYSLEG* [en ligne]. 2019. Disponible à l'adresse : <https://ecophytopic.fr/recherche-innovation/concevoir-son-systeme/projet-4syslegConception> et évaluation multicritère de 4SYStèmes de production intégrée de cultures LEGumières sous abri non chauffé, adaptés à différents contextes technico-économiques
- LEFÈVRE, Amélie, PERRIN, Benjamin, LESUR-DUMOULIN, Claire, SALEMBIER, Chloé et NAVARRETE, Mireille, 2020. Challenges of complying with both food value chain specifications and agroecology principles in vegetable crop protection. *Agricultural Systems*. novembre 2020. Vol. 185, pp. 102953. DOI 10.1016/j.agsy.2020.102953.
- LORIN, M., BUTIER, A., JEUFFROY, Marie-Hélène et VALANTIN-MORISON, M., 2017. Choisir et gérer des légumineuses gélives associées au colza d'hiver pour le contrôle des adventices et la fourniture d'azote. *Innovations Agronomiques*. 2017. N° 60, pp. 77-89.
- LOUBES, Fabrice, BRASILES, Victor et SARTHOU, Jean-pierre, 2016. Couverture végétale permanente. *Dictionnaire d'agroécologie* [en ligne]. 7 août 2016. [Consulté le 7 juin 2021]. Disponible à l'adresse : <https://dicoagroecologie.fr/encyclopedie/couverture-vegetale-permanente/#:~:text=D%C3%A9finition%20%3A,occup%C3%A9%20par%20des%20plantes%20ma%C3%A9tris%C3%A9es>.
- MAA, 2013. Qu'est-ce que l'agroécologie ? *agriculture.gouv.fr* [en ligne]. 22 avril 2013. [Consulté le 20 avril 2021]. Disponible à l'adresse : <https://agriculture.gouv.fr/quest-ce-que-lagroecologie>
- MARTIN-MONCUNILL, David, ALONSO, Salvador Sánchez, GARCÍA, Gaona et MARIANOS, Nikolaos, 2013. Applying visualization techniques to develop interfaces for educational repositories: the case of Organic.Lingua and VOA3R. . 2013. pp. 9.
- MASIUNAS, John B, 1998. Production of Vegetables Using Cover Crop and Living Mulches—A Review. *Journal of Vegetable Crop Production*. 1998. Vol. 4, n° 1, pp. 11-31. DOI http://dx.doi.org/10.1300/J068v04n01_03.
- MÉNDEZ, V Ernesto, BACON, Christopher M et COHEN, Roseann, 2014. Agroecology as a Transdisciplinary, Participatory, and Action-Oriented Approach. . 24 avril 2014. pp. 18.

- MEYNARD, Jean-Marc, 2017. L'agroécologie, un nouveau rapport aux savoirs et à l'innovation. *OCL*. mai 2017. Vol. 24, n° 3, pp. D303. DOI 10.1051/ocl/2017021.
- MEYNARD, Jean-Marc, DEDIEU, Benoit et BOS, A. P., 2012. Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices. In : DARNHOFER, Ika, GIBBON, David et DEDIEU, Benoît (éd.), *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic* [en ligne]. Dordrecht : Springer Netherlands. pp. 405-429. [Consulté le 5 mai 2021]. ISBN 978-94-007-4502-5. Disponible à l'adresse : http://link.springer.com/10.1007/978-94-007-4503-2_18
- MOREL, Kevin et LÉGER, François, 2015. Strategies to manage crop planning complexity in very diversified direct selling farming systems: the example of organic market gardeners. . 2015. pp. 3.
- NAVARRETE, M., LEFÈVRE, A., DUFILS, A., PARÈS, L. et PERRIN, B., 2017. Concevoir et évaluer avec les acteurs des systèmes de culture adaptés à leurs cadres de contraintes et d'objectifs en production maraîchère sous abri. Mise en pratique et enseignements dans les projets GeDuNem et 4SYSLEG. [en ligne]. 2017. [Consulté le 20 avril 2021]. DOI 10.15454/1.5174003831099963E12. Disponible à l'adresse : <http://www6.inra.fr/ciag/content/download/6292/46262/file/Vol61-4-Navarrete.pdf>
- PARACHE, Pascal, 2018. Agriculture connectée, pour qui pour quoi ? *Pour*. 2018. Vol. N° 234-235, n° 2, pp. 103. DOI 10.3917/pour.234.0103.
- PÉPIN, Antonin, MOREL, Kevin et VAN DER WERF, Hayo M.G., 2021. Conventionalised vs. agroecological practices on organic vegetable farms: Investigating the influence of farm structure in a bifurcation perspective. *Agricultural Systems*. mai 2021. Vol. 190, pp. 103129. DOI 10.1016/j.agsy.2021.103129.
- REAU, Raymond, MONNOT, Laure-Amélie, SCHAUB, A, MUNIER-JOLAIN, Nicolas, PAMBOU, I, BOCKSTALLER, Christian, CARIOLLE, M, CHABERT, A et DUMANS, P, 2012. Les ateliers de conception de systèmes de culture pour construire, évaluer et identifier des prototypes prometteurs. . 2012. pp. 30.
- SALEMBIER, Chloé, 2019. *Stimuler la conception distribuée de systèmes agroécologiques par l'étude de pratiques innovantes d'agriculteurs*. Agroparistech Grignon : Paris-Saclay.
- SALEMBIER, Chloé, SEGRESTIN, Blanche, BERTHET, Elsa, WEIL, Benoît et MEYNARD, Jean-Marc, 2018. Genealogy of design reasoning in agronomy: Lessons for supporting the design of agricultural systems. *Agricultural Systems*. juillet 2018. Vol. 164, pp. 277-290. DOI 10.1016/j.agsy.2018.05.005.
- STRUBBE, M., BIJTTEBIER, J., VAN MEENSEL, J., MARCHAND, F. et LAUWERS, L., 2016. Cognitive mapping of organic vegetable production in Flanders to support farmers strategy design. *Acta Horticulturae*. août 2016. N° 1137, pp. 275-282. DOI 10.17660/ActaHortic.2016.1137.39.
- SUDRES, Marine, BASTIAN, Alix, BEDOUSSAC, Laurent et JUSTES, Eric, 2016. Culture intermédiaire : Définition. *Dictionnaire d'Agroécologie* [en ligne]. 2016. Disponible à l'adresse : <https://dicoagroecologie.fr/encyclopedie/culture-intermediaire/>
- THOMAS, Frédéric et ARCHAMBEAUD, Matthieu, 2015. *couverts végétaux d'interculture* [en ligne]. 2015. Disponible à l'adresse : https://agriculture-de-conservation.com/sites/agriculture-de-conservation.com/IMG/pdf/couverts_vegetaux_2018.pdf
- TOFFOLINI, Quentin, 2016. *Produire des connaissances actionnables pour la re-conception pas-à-pas de systèmes de culture vers l'agroécologie* [en ligne]. AgroParisTech. Disponible à l'adresse : <https://www6.inrae.fr/ideas-agrifood/content/download/3709/37064/version/2/file/Toffolini-2016-these-diffusion.pdf>
- WEZEL, A., BELLON, S., DORÉ, T., FRANCIS, C., VALLOD, D. et DAVID, C., 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. décembre 2009. Vol. 29, n° 4, pp. 503-515. DOI 10.1051/agro/2009004.
- YIN, R. K., 2009. Case study research: design and methods. *Sage Publications*. 2009.

Glossaire

Assolement : Répartition des cultures de l'année entre les différentes planches de légumes présentes sur l'exploitation maraîchère.

Bioagresseur : être vivant venant contraindre le bon développement de la culture de rente (Ravageurs, maladies et adventices).

Itinéraire technique : combinaison logique et ordonnée des techniques mises en œuvre avant, pendant et après la culture, qui permettent de contrôler le milieu, d'assurer le bon développement des légumes et d'en tirer une production donnée, selon les objectifs du maraîcher.

Maraîcher.ère.s : Ce sont des agriculteurs produisant des légumes diversifiés et possédant généralement une exploitation assez petite. Les légumes sont plutôt à destination des marchés locaux en frais avec un circuit de distribution court.

Planification : résultat d'un processus de réflexion et de conception, en amont de la mise en culture, visant à prévoir l'alternance des légumes sur chacune des planches (bande cultivée de 60 à 130 cm de large, délimitées de part et d'autre par les passe-pieds) sur une année.

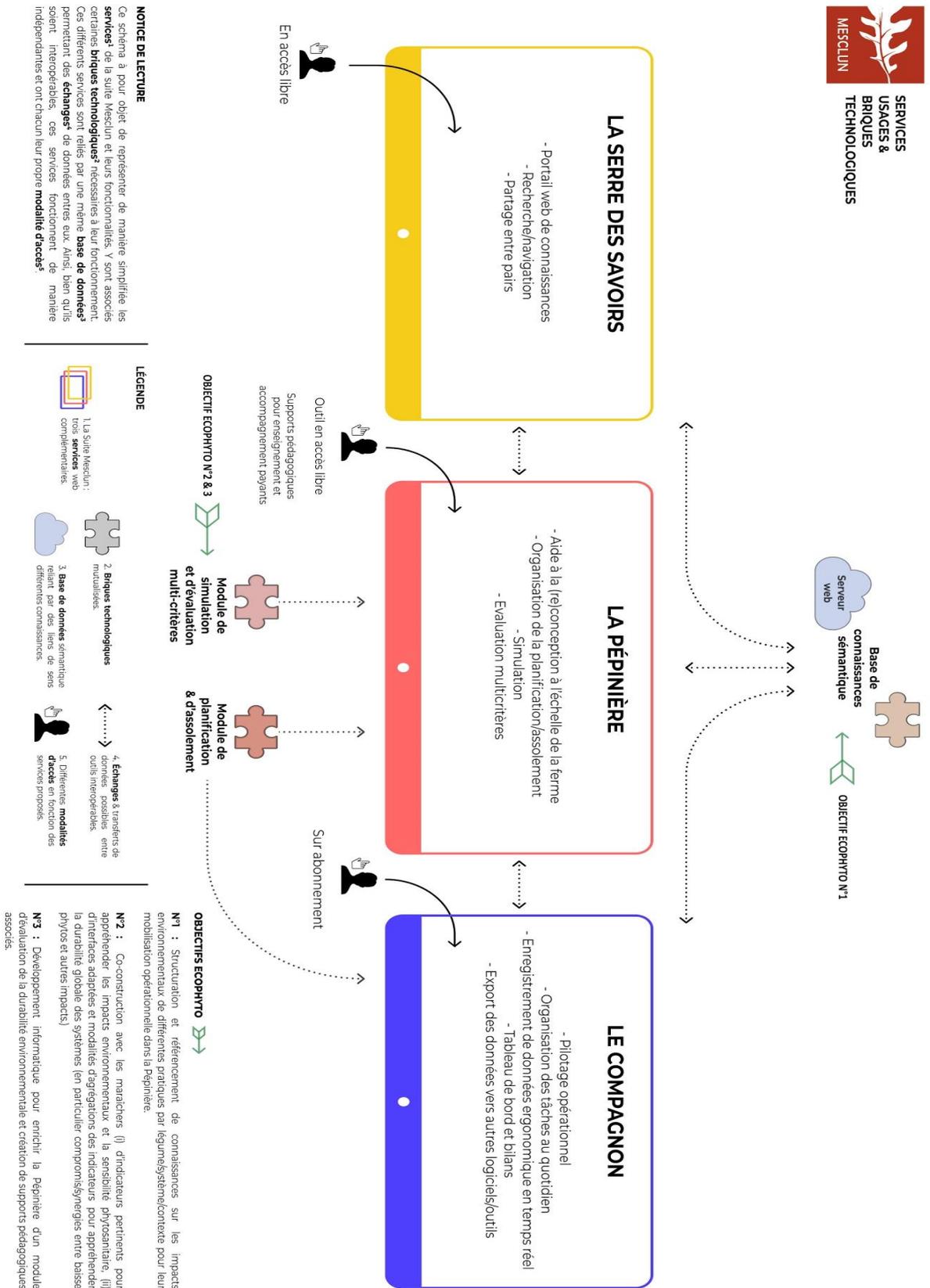
Produit phytopharmaceutiques (PPP) : désigne les produits de synthèse utilisés dans une optique de protection du végétale (herbicide, insecticide, fongicide...)

Table des figures

Illustration 1 : photographie de Yann Lopez, 2020	1
Graphique 1 : Surface cultivées en légumes des fermes étudiées.....	32
Graphique 2 : Répartition des ferme selon leur labellisation..	32
Graphique 3 : Proportion de ferme installant des couverts en plein champ et/ou sous abris..	32
Graphique 4 : Nombre d'espèces composant le couvert principal des fermes étudiées.....	33
Graphique 5 : Nombre de types de couverts différents observés dans les fermes..	35
Graphique 6 : Effectifs des différents types de végétaux rencontrés dans l'étude..	36
Graphique 7 : Nombre de couverts végétaux différents utilisés sur chaque ferme étudiée.	37
Tableau 1 : principales familles botaniques présentes dans les couverts végétaux d'été.....	28
Tableau 2 : principales familles botaniques des couverts végétaux d'hiver	28
Tableau 3 : Itinéraire technique suivie sur les fermes pour le semis et la préparation du sol	42
Tableau 4 : Surface cultivées en légumes des fermes	44
Tableau 5 : méthodes de destructions mobilisées par chaque maraîcher.	46

Annexe 1 : position du projet par rapport aux différents outils portés par le collectif Mesclun.

<https://maraichage.wixsite.com/mesclun>, 2020.



Annexe 2 : Les partenaires de MESCLUN et *La Pépinière* :

INRAE UE Maraîchage,

INRAE, UR Ecodéveloppement,

INRAE UMR SAS, ELZEARD (développement informatique),

Assemblée des Noues (design, Paul Appert),

Agrosup Dijon (Educagri Editions),

Association Français d'Agriculture Urbaine Professionnelle (AFAUP),

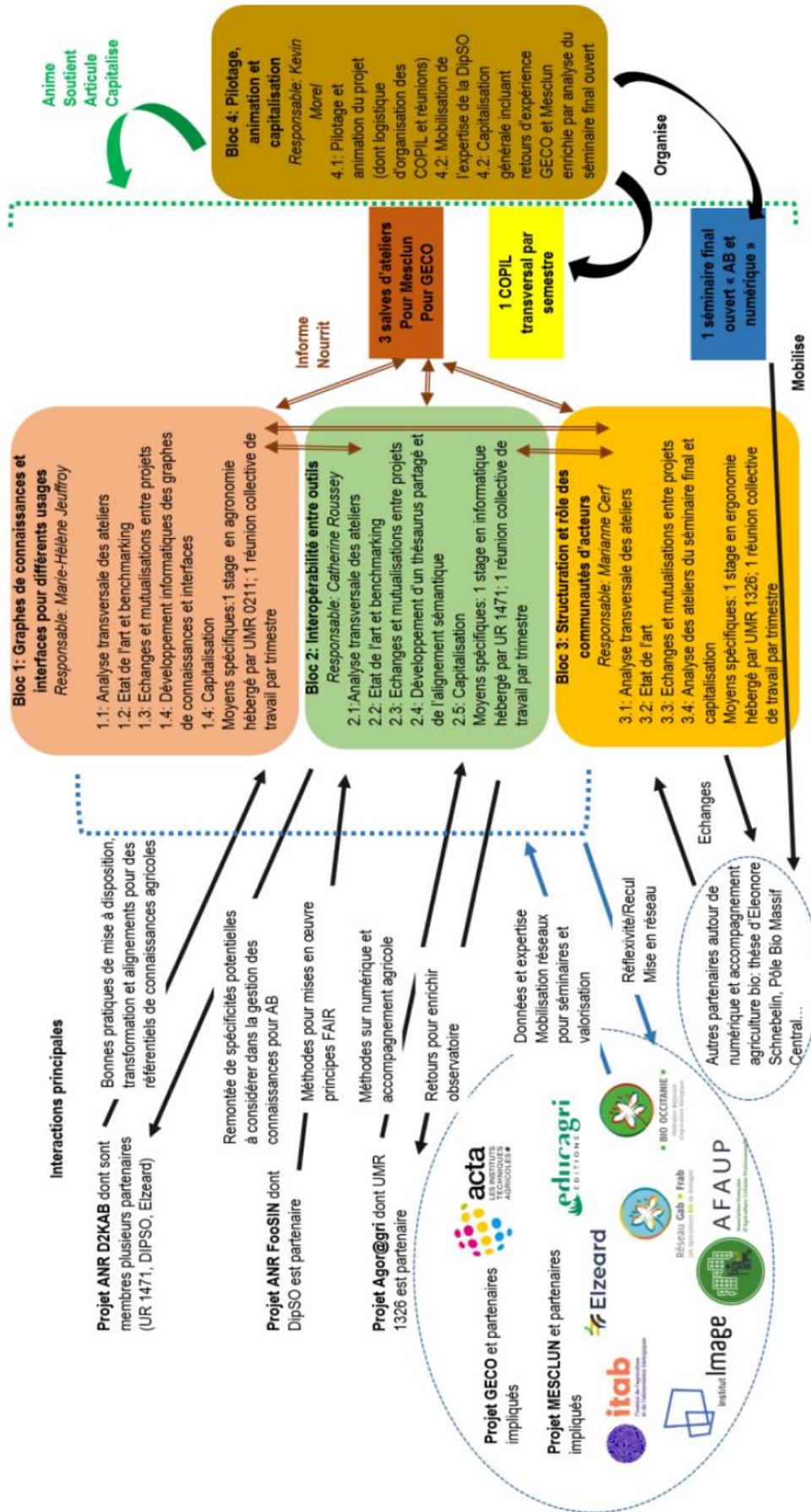
Bio-Occitanie,

Fédération Régionale d'Agriculture Biologique (FRAB) de Bretagne,

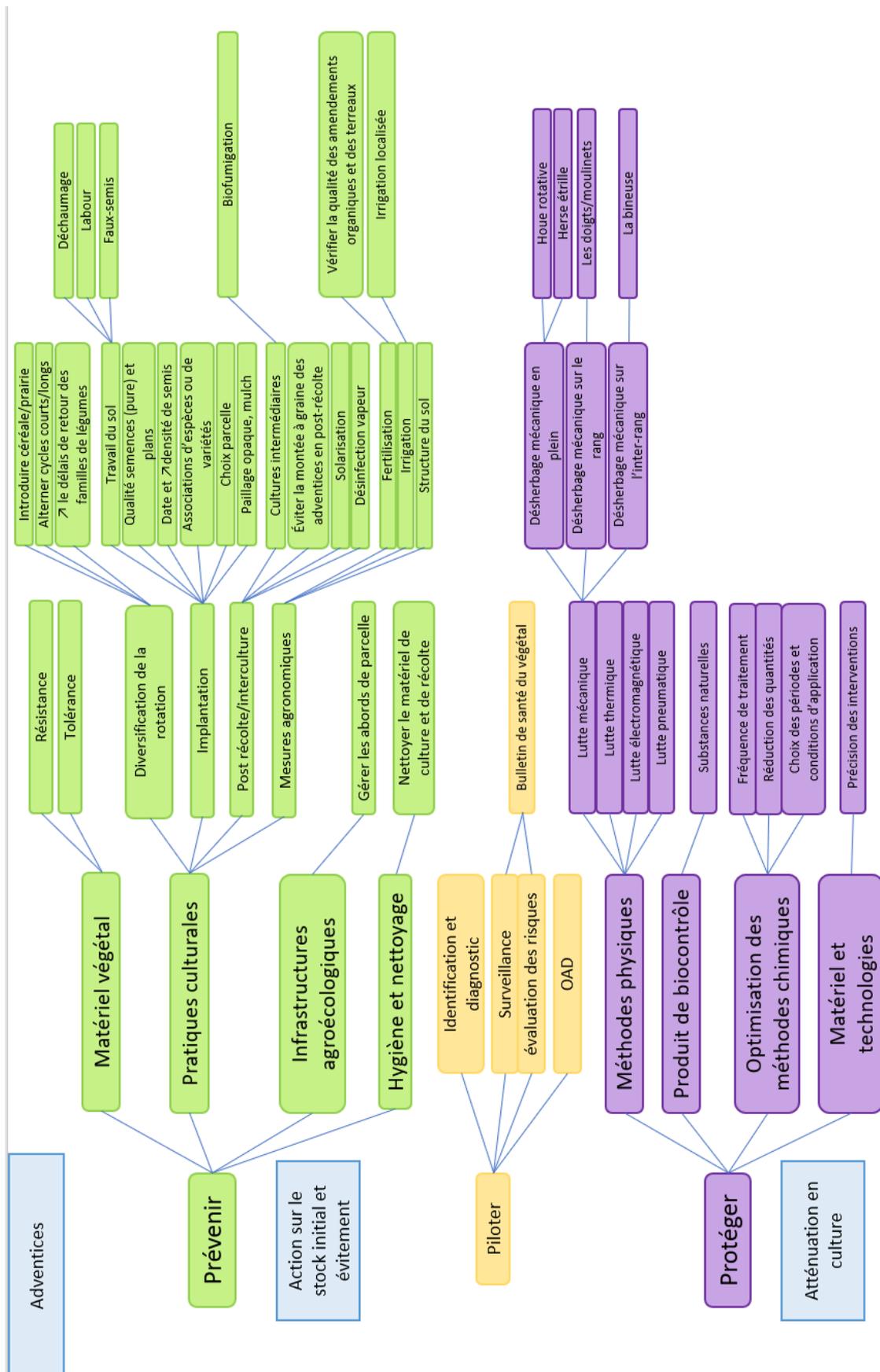
Chambre Départementale de Haute-Garonne (CDA 31),

Institut Technique de l'Agriculture Biologique (ITAB).

Annexe 3 : Schéma fonctionnel du projet PACON (Coordonné par Kevin Morel, 2020).



Annexe 4 : Exemple d'une arborescence de pratiques agroécologique pour la gestion des adventices. Les arbres pour la gestion des BA aérien et telluriques ne sont que peu différents. V. Jordon, 2021.

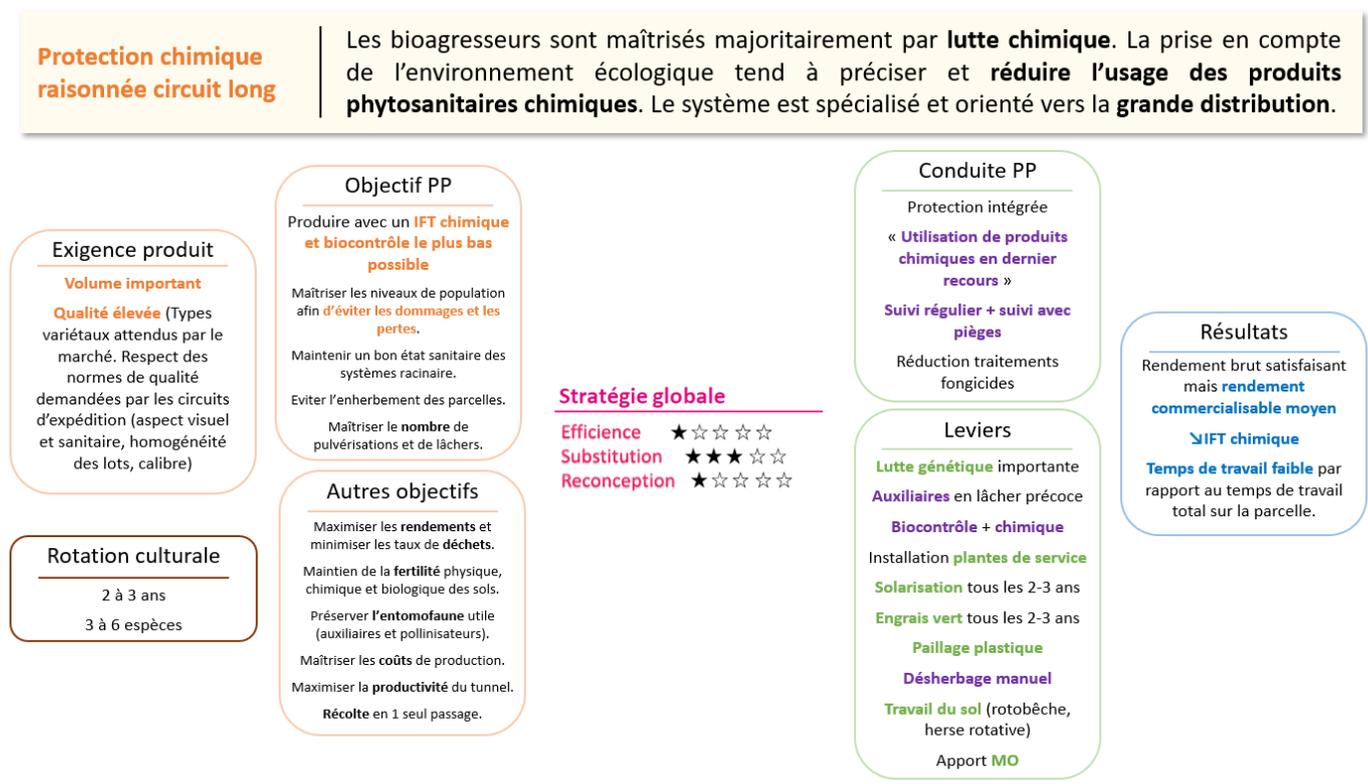


Annexe 5a : Caractérisation des 5 types de systèmes imaginaires. V. Jordon, 2021.

 <p>Protection chimique conventionnelle</p>	<p>Les bioagresseurs sont maîtrisés très majoritairement par lutte chimique. La prise en compte de l'environnement écologique est faible. Le système est spécialisé et orienté vers la grande distribution.</p>
 <p>Protection chimique raisonnée circuit long</p>	<p>Les bioagresseurs sont maîtrisés majoritairement par lutte chimique. La prise en compte de l'environnement écologique tend à préciser et réduire l'usage des produits phytosanitaires chimiques. Le système est spécialisé et orienté vers la grande distribution.</p>
 <p>Protection chimique raisonnée circuit court</p>	<p>Les bioagresseurs sont maîtrisés majoritairement par lutte chimique. La prise en compte de l'environnement écologique tend à préciser et réduire l'usage des produits phytosanitaires chimiques. Le système est diversifié et orienté vers les circuits courts.</p>
 <p>Protection biologique Circuit long</p>	<p>Les bioagresseurs sont maîtrisés par la lutte biologique et physique essentiellement. La lutte chimique est substituée par des produits de biocontrôle. La prophylaxie est peu mise en place. Le système est plutôt spécialisé et orienté vers les circuits longs.</p>
 <p>Protection biologique Circuit court</p>	<p>Les bioagresseurs sont maîtrisés par la lutte biologique, culturelle, génétique et physique. La prise en compte de l'environnement écologique est très forte. La prophylaxie est favorisée au maximum pour limiter les interventions et augmenter les interactions écologiques. Le système est diversifié et orienté vers les circuits courts.</p>

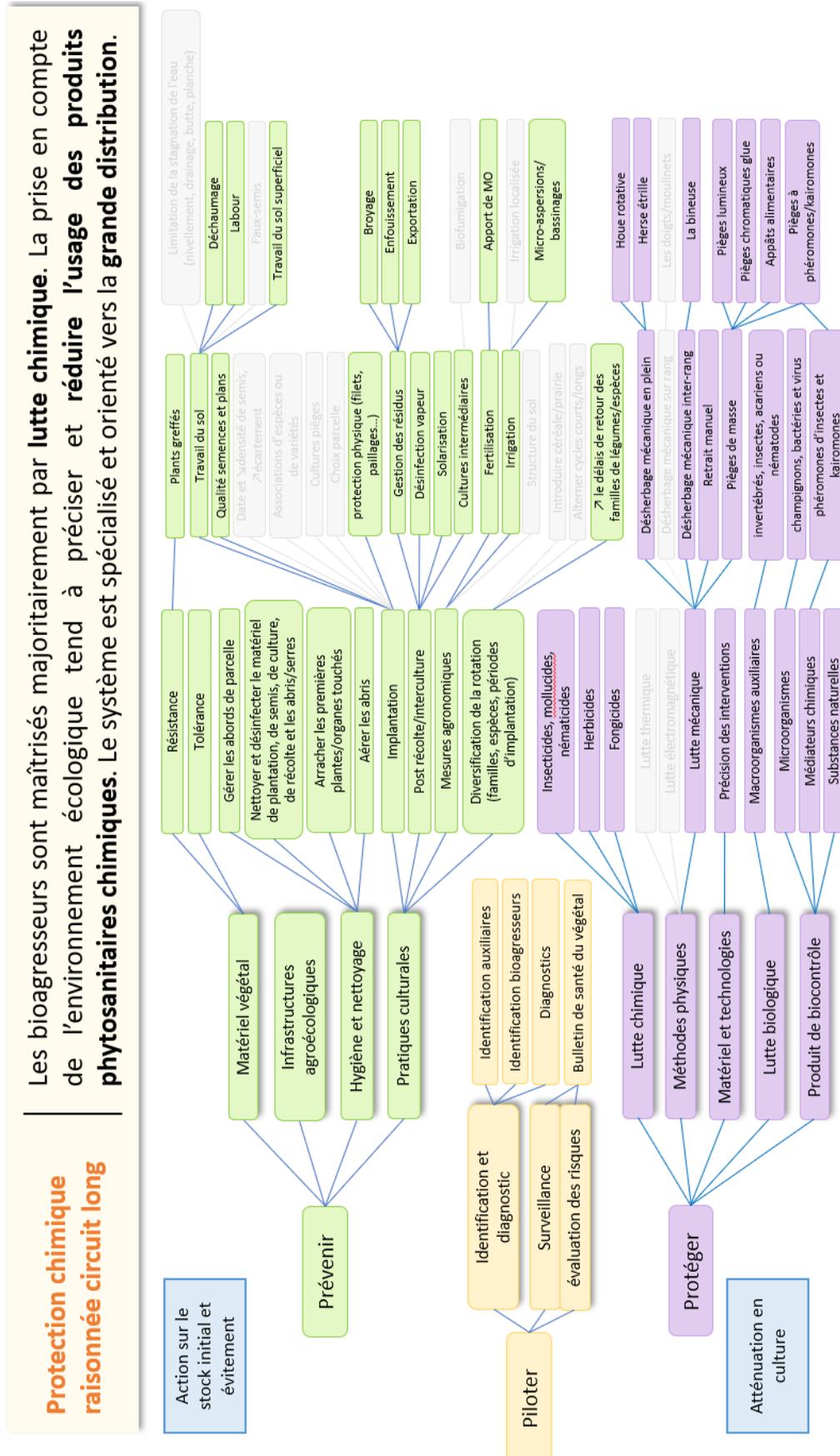
Annexe 5b : Caractéristiques des 5 types de systèmes imaginaires. Exemple du cas 2. V.

Jordon, 2021.



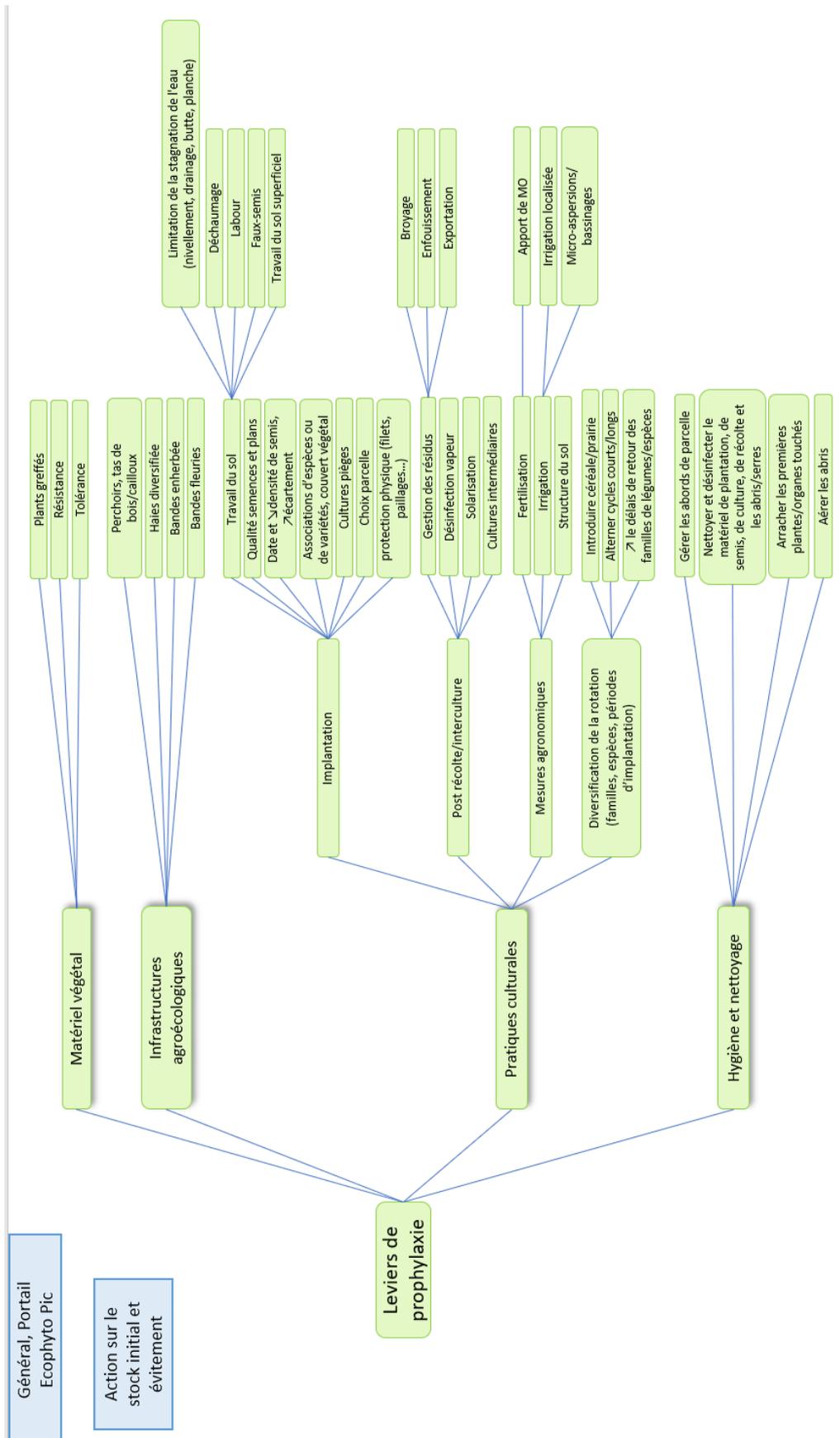
Annexe 5c: Exemple (cas 2) d'arbre de pratiques d'un des 5 types de systèmes imaginaires.

V. Jordon, 2021.



Annexe 6 : Arborescence des pratiques préventives utilisées dans les ateliers utilisateurs. V.

Jordon, 2021.



Annexe 7 : Exemple d'une fiche « logique d'action » développée en grande culture. Marie-

Hélène Jeuffroy, 2020.

Productions : Alimentation humaine Alimentation animale Fourrage Crop benefits

Auteurs :
Jeuffroy M.-H.¹,
Bourdin L.¹
INRA UMR Agronomie

Le soja : alternative à la monoculture de maïs dans le sud ouest

Crédits photo: Terres Inovia

Objectifs : limiter les intrants et l'érosion + valoriser la marge économique plutôt que maximiser les rendements

- Semis direct pour aggrader ses sols.
- Diversification de sa rotation pour casser le cycle des adventices.
- Bonnes marges économiques du soja et de l'orge.

Gers, FRANCE

- Exploitation de 70 ha en grandes cultures et 25 ha en arboriculture et maraichage.
- Anciennement en monoculture de maïs
- Boulbènes et limons très battant sujet à l'érosion.

soja → **orge d'hiver** → **soja dérobé** → **maïs**

- **semis direct** dans un sol ressuyé et réchauffé, début mai voire fin avril pour viser une **récolte** au 15 octobre.
- **variété SIDORE** (groupe I).
- **rendement** autour de 40 qtx en moyenne.
- **intercultures de féverole** roulées au moment du semis.
- elles sont faciles à implanter et se détruisent facilement.
- **restituent** entre 25 et 30 t/ha

maïs → **soja**

- **paülles** récoltées pour faciliter le semis direct du soja dérobé (Δ les paülles restantes peuvent canouffier les adventices : possibilité de lancer un irrigation pour faire lever les 1^{re} herbes et les traiter).
- **semis direct** fin juin début juillet, dans les 2 jours qui suivent la récolte de l'orge d'hiver.
- **récolte** entre le 15 et le 20 octobre au plus tard
- **variétés** OO ou 000 ; souvent MENTOR (OO).
- 25 à 30 qtx suivant les groupes de précocité.

maïs → **soja**

- **1L** ha de **glyphosate** après semis puis en **post levée PULSAR 40** en deux fois 0.5 L à la 1^{re} trifolée.
- 1 année sur 3, **fumure de fond** (1.5-1.5-1.5) sur culture de soja en principale.
- 4 **ours d'irrigation** de 25 mm.

Post-récolte

- **grains stockés et ventilés** à la ferme avant d'être pris en charge par la coopérative.
- valorisé en alimentation humaine si les ordres de qualité (taux de protéines, impuretés) sont remplis, autour de **350 euros la tonne** en général, sinon valorisé en animal.

Évaluation de l'agriculteur :

- ☺ Avec le semis direct il règle un problème d'érosion et de battance très fort sur ces parcelles.
- ☺ Système plus diversifié et moins agressif qui lui permet d'améliorer l'état de ses sols et de remonter les taux de MO qui étaient devenus très faibles.
- ☹ **Fenêtre de récolte assez réduite et journée limitée en battage.**

Les + dans la rotation :

- Système racinaire du soja intéressant : en plus de restituer une partie de l'azote capté, le soja permet de récupérer une terre travaillée par les racelles et de bonne qualité ce qui favorise l'implantation d'une orge en semis direct.
- Modification de la flore adventice par rapport à l'ancienne monoculture de maïs.

Conditions de réussite et point de vigilance :

- Semer au plus tôt sans se précipiter.
- Eviter de battre trop fort les grains et favoriser un sol aplani ou une barre de coupe flex pour réussir la récolte.
- Attention au phénomène de tassement des 1^{er} cm du sol après 6, 7 ans de semis direct.
- Travailler le drainage de l'eau dans les champs.

Annexe 8 : Guide d'entretien utilisé lors de la phase d'approfondissement. V. Jordon, 2021.

Éléments de contexte :

- Caractéristiques de l'Exploitation (bio ou non, surface (dont surface en légumes), productions, UTH, localisation, Circuit de distribution, ...)
- Climat (les éléments du climat qui posent problème ou qui facilitent certaines pratiques)
- Type de sol
- Maraîcher (expérience, objectifs en termes de niveau d'intrants employés, d'organisation du travail...)
- Sous abris / plein champs, type irrigation, planches permanentes ou non
- Rotation en place, successions, pourquoi ?

Description de la mise en place :

- Quels couverts ? (Mono ou plurispécifique, combien et quelles espèces, abris ou non)
- Avec quelles cultures et à quel moment de la rotation (dessiner) ?
- Semis (dates, outil, conditions et densité/dose), quelles semences et quelle provenance ?
- Interventions : Travail du sol (type, prof, outil, date, pourquoi), irrigation, autres intrants
- Destruction (Dates, mécanique(outil)/chimique/pâturage, enfouissement ou non, pourquoi)
- Quel est le coût du couvert ? et en comparaison à d'autres pratiques ?
- Combien de temps faut-il pour mettre en place un couvert ?
- Résultats du couvert (biomasse, hauteur, homogénéité, réussite des différentes espèces)

Conduite de la culture suivante

Objectifs visés et contraintes apparentes

- Qu'attendez-vous de vos couverts ? (Fertilité, gestion adventices...) en réponse à un quel problème ? Eventuellement quelles craintes aviez-vous en l'utilisant ?
- Pourquoi ce choix d'espèces et pas d'autres ? Etes-vous satisfait du couvert actuel ? En avez-vous testé d'autres avant celui actuel ? Avez-vous toujours fait ainsi ? Pourquoi ? Comment vous êtes-vous adapté ?

Evaluation

- Résultats observés (couverts et cultures suivantes et BA)
- Avantages et inconvénients
- Satisfaction, quelles améliorations sont possibles ?

Réflexion par rapport aux outils

- Qu'est-ce qui vous aurait aidé à choisir plus vite ces couverts ? Que transmettre à un collègue ? Qu'avez-vous appris sur les couverts, qu'est-ce qui vous aurait été utile pour choisir ?
- Pour mettre en place un couvert, quelles informations avez-vous besoin ?
- Où sont les infos ? et quel type ?
- Quelles sont les conditions de réussite ?
- Quels critères sont pertinents ?

Annexe 9 : Exemple (maraîcher 1) de résumé réalisé pour chaque ferme afin de faciliter la synthèse des entretiens. V. Jordon, 2021.

Sur des sols **lourds argileux** froids et humides, le maraîcher 1 cultive 2 ha de légumes bio. Il fait se succéder **4 années de maraîchage, 3 ans de prairie et un an de céréales**. Cette dernière culture a pour objectif de finir de détruire la prairie par étouffement et de finir d'émietter le sol grâce à son système racinaire. Grâce à son investissement dans des infrastructures de stockage pour les légumes de fin de saison, **toutes les parcelles sont disponibles** entre fin septembre et mi-novembre pour semer sur les planches un couvert végétal de **seigle-avoine-vesce**. Le seigle et l'avoine sont bien **adaptés aux semis tardifs** et la vesce permet **d'apporter de l'azote**. La combinaison d'un **couvert intermédiaire d'hiver systématique** et **d'aucun passage de roues** sur la planche a pour résultat « **une planche meuble phénoménale** ». Le couvert végétal est selon le maraîcher 1 « juste essentiel en maraîchage » pour une bonne **structure du sol**, pour le **développement de la vie microbienne**, pour **couvrir le sol et éviter** les adventices, pour **piéger l'azote disponible dans le sol** et pour augmenter le **taux de matière organique** de ses sols. La date de semis est variable en fonction de la fin de la culture précédente, limitant ainsi la période de sol nu, le besoin en arrosage est décroissant en avançant dans l'hiver, tandis que la **densité de semis augmente** pour les semis plus tardifs. Le couvert est implanté au **semoir à disques** sur la planche uniquement, et est **broyé finement, 1 mois avant l'implantation de la culture** pour que le couvert soit alors suffisamment dégradé. Le broyat du couvert est ensuite **incorporé** après l'apport d'un compost. Aymeric cherche de plus à **accélérer les processus de minéralisation du sol** avec un passage agressif de herse étrille dans le couvert en sortie d'hiver pour **relancer sa croissance** et avec des passages de cultivateur après sa destruction pour favoriser la dégradation du couvert. Cette conduite mécanisée du couvert permet de tirer les bénéfices du couvert comme l'**obtention d'un sol aéré, drainé, qui chauffe plus vite, et qui favorise la levée rapide de la culture de légume**, tout en évitant toute contrainte liée à des résidus de couverts lors de la conduite de la culture suivante.

A l'avenir, le maraîcher 1 aimerait réduire son nombre de passages en investissant dans des outils combinés. Il souhaiterait aussi s'agrandir pour produire du foin qui lui servirait de paillage afin de compléter la couverture du sol pendant la culture de légume.

Pour le maraîcher, **la réussite d'un couvert dépend du soin qui lui est apporté**, idéalement autant qu'une culture. Il est aussi important de choisir **des espèces qui ont déjà fait leurs preuves** chez les voisins et de choisir des **semences disponibles localement** chez d'autres agriculteurs pour réduire les coûts.

Annexe 10 : Caractéristiques des différentes techniques de semis (Ghesquière J. et al. 2012).

Techniques	Avantages	Inconvénients	Outils	Coût €/ha
Semis à la volée	<ul style="list-style-type: none"> - Coût d'implantation faible - Rapide - Evite toutes contraintes liées aux débris végétaux (si le travail du sol précédent a bien été réalisé). 	<ul style="list-style-type: none"> - Problème de réglage du matériel (centrifuge) et couvert parfois non homogène - Pas adapté à toutes les espèces (semis précoce) 	Epandeur centrifuge, DP12, semis sous barre de coupe	15 à 35
Semoir en ligne classique	<ul style="list-style-type: none"> - Assure une profondeur de semis optimale, une répartition homogène et une levée rapide - Compatible avec l'ensemble des espèces - Pas d'investissement 	<ul style="list-style-type: none"> - Technique chère et lente - Usure du matériel agricole - Résidus du précédent - Largeur de travail limitée 	Semoir mécanique et pneumatique	30 à 65
Semis direct	<ul style="list-style-type: none"> - Assure un bon positionnement de la graine - Semis en un seul passage - Mise en contact de la graine avec le sol sans trop travailler le sol 	<ul style="list-style-type: none"> - Risque de bourrage lié aux résidus - Usure du matériel agricole - Largeur de travail limitée - Abandon du déchaumage 	Semoir spécifique nécessaire (Unidrill, Semeato, Gaspardo Directa)	25 à 60

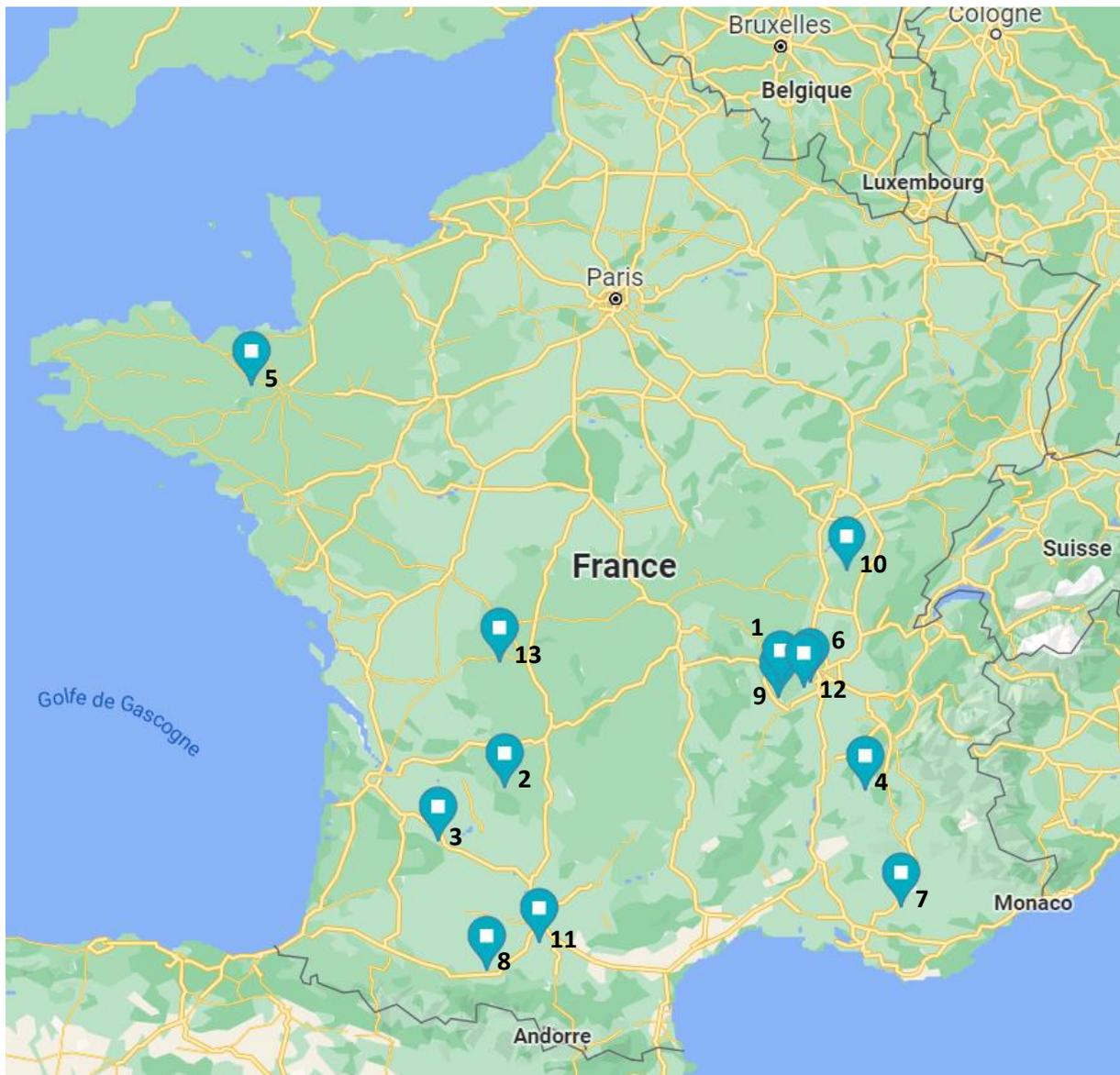
Tableau A : Caractéristiques des différentes techniques de semis. (Source : CRA PC)

Annexe 11: Caractéristiques des différentes techniques de destruction (Ghesquière J. et al. 2012).

Technique de destruction	Avantages	Inconvénients	Coût moyen/ha/ intervention
Labour	<ul style="list-style-type: none"> - Possible sur couvert peu développé ou gelé - Dégradation rapide - Prépare l'implantation de la culture suivante 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût élevé - Temps de travail important - Risque d'enfourir une quantité importante de résidus en fond de labour (refuge pour ravageurs, maladies et graines d'adventices) - Si le couvert est bien développé : broyer avant pour éviter la formation de paquet 	65 - 70 €
Broyage	<ul style="list-style-type: none"> - Recommandé si biomasse produite >2 tMS/ha - Répartition homogène des résidus du couvert - Dégradation rapide des résidus de petite taille - Déchaumage ou labour ultérieur, souvent réalisé 1 à 4 jours après le broyage ou le roulage pour permettre un dessèchement des résidus et un ressuyage du sol 	<ul style="list-style-type: none"> - Pas ou peu efficace sur graminées ou crucifères (sauf si précèdent un labour) - Coûts supplémentaires - Possible destruction de la faune sauvage (broyer alors du centre de la parcelle vers l'extérieur) - Disponibilité du matériel 	50 - 55 €
Travail du sol (déchaumages)	<ul style="list-style-type: none"> - Prépare l'implantation de la culture suivante - Utilise le matériel à disposition - Bonne incorporation - Couverts peu développés 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût et temps de travail - Efficacité limitée en cas de couverts très développés (broyage obligatoire) 	20 - 25 €
Gel	<ul style="list-style-type: none"> - Coût nul - Maintien des résidus en surface - Pas de tassement sur sols sensibles - Préserve les améliorations de la structure 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité d'avoir des gelées importantes sur la région (- 6°C) - Choix limité des couverts - Possibilité de destruction précoce 	0 €
Roulage + gel	<ul style="list-style-type: none"> - Accélération de la dégradation du couvert - Pas de dégradation de la structure du sol si le sol est gelé - Faible cout - Technique rapide 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité d'avoir des gelées importantes et des couverts bien développés (effet du pincement de la tige.) - Pénalise les sols limoneux hydromorphes où le plaquage de couvert au sol peut ralentir et limiter le ressuyage du sol au printemps - Disponibilité du matériel 	20 - 25 €

Tableau C : Caractéristiques des différentes techniques de destruction. Source : CRA PC

Annexe 12 : Carte des maraîcher.ère.s enquêté.e.s pour cette étude. V. Jordon, 2021.



Annexe 13 : Tableau des couverts présents sur les 13 fermes étudiées. V. Jordon, 2021.

N°	CI PC hiver	CI PC été	CI PC automn	CIS PC hiver	CI SA hiver	CI SA été	CR	CIL	CA
1	seigle, avoine, vesce						vesce		
2	vesce, pois, féverole, radis daikon moutarde et céréales								
3					féverole				potentille
4	moutarde, phacélie, vesce, féverole, trèfle incarnat, pois fourrager, blé, seigle, épeautre			chiendent, potentille, liseron, trèfle, amarante, chénopode, pissenlit, chicorée...	roquette, mesclun, épinards, radis				raygrass, trèfle
5	avoine-féverole; phacélie	sorgho				sorgho			
6	seigle fourrager, vesce, pois					tournesol, sarrasin, phacélie, trèfle incarnat			
7	féverole, pois fourrager, vesce velue, seigle, ers, radis daikon								
8	féverole, pois, vesce, orge, trèfle incarnat, radis Daikon				ray-grass	maïs, tournesol, pois, millet, sainfoin			
9	pois, vesce, féverole, seigle, tritiale					tournesol, féverole, trèfle perse et sorgho			trèfle violet
10	seigle, vesce		sorgho-phacélie					luzerne, trèfle, Ray-grass	
11	féverole, radis rose de chine			gaillet grateron, brome stérile, folle avoine, géraniums etc...					
12	seigle, pois	phacélie, sarrasin							
13	seigle forestier, d'avoine noir, de féverole, de pois, de vesce velue, et de phacélie	chanvre, sorgho Piper, millet perlé, tournesol, sarrasin, pois, vesce, phacélie			seigle forestier, avoine noir, féverole, pois, vesce velue, phacélie	chanvre, sorgho Piper, millet perlé, tournesol, sarrasin, pois, vesce, phacélie			

Annexe 14: Tableau des fonctions des couverts identifiées par les maraîchers enquêtés. V.

Jordon, 2021.

N°	Fertilité C	Fertilité N	Fertilité biologique	Structure du sol	Lutte érosion	Limite pertes N	Gestion adventices	Biodiversité	Somme
1	1		1	1		1	1		5
2	1	1	1	1				1	5
3		1		1					2
4	1	1	1	1			1	1	6
5				1					1
6	1	1		1	1				4
7	1	1		1		1	1		5
8	1	1		1		1	1	1	6
9	1	1			1				3
10	1	1		1					3
11	1	1	1				1		4
12	1	1	1		1		1		5
13	1		1	1			1	1	5
	11	10	6	10	3	3	7	4	

Accompagnement numérique en maraîchage agroécologique : les couverts végétaux

Accompagner, via les outils numériques GECO et *La Pépinière*, la mise en place de pratiques pour la transition agroécologique des productions légumières : exemple des couverts végétaux.

Digital support for agroecological vegetable production: cover crops

To support, via the digital tools GECO and *La Pépinière*, the implementation of practices for the agroecological transition of vegetable production : example of covercrops.

Mots-clés : Maraîchage – outils numériques – agroécologie – planification – couvert végétal

Key-words : Vegetable production - digital tools - agroecology - planning - cover crops

Résumé :

Les producteurs de légumes diversifiés font face à deux enjeux majeurs : (1) la complexité d'organisation dans le temps et dans l'espace de la production de légumes pour produire chaque semaine la quantité de légumes désirée et (2) le besoin de proposer des produits sains en utilisant un minimum d'intrants chimiques de synthèse en production. Pour faciliter l'intégration de pratiques pour une production agroécologique et accompagner la planification de ce système de plus en plus complexe, les outils numériques sont intéressants à développer. L'intégration des connaissances agroécologiques dans les outils numériques (1) de planification, « *La Pépinière* », et (2) de partage de connaissance en ligne, « GECO », a été coconstruite avec les futurs utilisateurs (maraîcher.ère.s, conseiller.ère.s et professeur.e.s). Les maraîcher.ère.s se sont principalement trouvés.e.s intéressés.e.s par les couverts végétaux qui, accompagnés de leur période d'implantation et de la famille botanique, pouvaient être planifiés dans « *La Pépinière* ». Le besoin de connaissances contextualisées s'étant fait ressentir, 13 entretiens ont été menés pour recueillir les connaissances et innovations en termes de couverts végétaux présentes sur les fermes. Ces informations ont été présentées sous forme de fiches « logique d'action », qui seront implémentées dans « GECO » et rendues accessibles depuis un lien dans « *La Pépinière* ».

Abstract :

Diversified vegetable producers are facing two major challenges : (1) the complexity of organizing vegetables production in time and space to produce the desired amount of vegetables each week and (2) the need to produce safe vegetables using as less as possible chemical inputs during the growing period. To facilitate the integration practices for agroecological production, and to support the planning, digital tools are interesting to develop. The integration of agroecological knowledge into the digital tools (1) for planning, "*La Pépinière*", and (2) for sharing knowledge online, "GECO", was co-constructed with the future users (market gardeners, advisors and teachers). Vegetables growers were mainly interested in cover crops that, along with their period of culture and their botanical family, can be planned in "*La Pépinière*". The need of contextualised knowledge was important for partners and farmers, so 13 interviews were conducted to gather knowledge and innovations on the farms concerning cover crops. These informations were presented in the form of "logique d'action" sheets, and will be implemented in "GECO" and made accessible from a link in "*La Pépinière*".

Nombre de pages du document final : 79

Demandeur (entreprise, organisme...) :
INRAE