

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

ECOLE NATIONALE SUPERIEUR des SCIENCES AGRONOMIQUES
De BORDEAUX AQUITAINE
1, cours du Général de Gaulle – CS 40201 – 33175 GRADIGNAN cedex (1)

UNIVERSITE DE BORDEAUX
25, Place Pey Berland - 33000

MEMOIRE de fin d'étude

Pour l'obtention du titre

Master « Biodiversité Ecologie Evolution »

Stratégies de gestion de la fertilité des sols et de la
pénibilité dans les fermes maraichères biologiques :
Approche comparative entre station expérimentale et
observatoire piloté

Soil fertility and workload management strategies on
organic market gardening farms: a comparative approach
between an experimental station and an “Observatoire
Piloté”

Pelois Suzanne

Spécialisation : Agroécologie et Gestion des Ressources (AGROGER)
Etude Réalisée à : Fédération Régionale des Agrobiologistes Bretons – 29 avenue
des Peupliers – 35510 Cesson Sevigné

Préface

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier Clémentine Fayol pour m'avoir permis de réaliser ce stage. Merci pour ton encadrement et ton soutien tout au long du stage. Je remercie également mes co-encadrants Victoire Barillet et Kevin Morel pour leurs précieux conseils et leur bonne humeur à toute épreuve. Merci pour le partage de vos nombreuses connaissances. Je souhaite remercier l'ensemble des techniciens du projet PERSYST-maraîchage : Maëla Peden, Lucie Drogou, Victoire Barillet, Malo Jestin-Fagon, Luc Lacombe et la pilote pour leur disponibilité et leur sympathie. Un grand merci à ma tutrice d'école, Charlotte Poeydebat, d'avoir été disponible et à l'écoute pour m'aiguiller tout au long du stage.

Je tiens à remercier l'ensemble des collègues de la FRAB de m'avoir intégré dans la vie de l'équipe et de m'avoir permis de découvrir le fonctionnement du réseau GAB-FRAB. Remerciement spécial à mes collègues de bureau, Clara et Léa, pour votre bonne humeur. Plus largement, je souhaite remercier l'ensemble du pôle bio pour votre énergie et les nombreux gâteaux que j'ai pu déguster. Merci à l'ensemble des stagiaires du pôle bio pour leur soutien et sans qui les pauses du midi n'auraient pas été les mêmes. Je souhaite remercier l'ensemble des proches qui a contribué de près ou de loin à la rédaction de ce mémoire.

Enfin, un grand merci à l'ensemble des producteurs du réseau bio d'avoir rendu possible ce stage par leur engagement et leur implication dans le projet PERSYST - maraîchage.

Présentation de la Fédération Régionale d'Agrobiologistes de Bretagne

La Fédération Régionale d'Agrobiologistes de Bretagne (FRAB) regroupe les Groupements d'Agriculture Biologique (GAB) des 4 départements Bretons et constitue un acteur majeur du développement de l'Agriculture Biologique (AB) en Bretagne. La FRAB travaille en réseau avec les différents GABs et s'appuie sur leur expertise technique pour répondre aux missions qui lui sont attribuées : promouvoir le développement de l'agriculture biologique en Bretagne, mettre en œuvre des actions de recherche qui répondent aux besoins des agriculteurs et agricultrices bios, échanger sur les techniques et représenter les producteurs bios auprès des pouvoirs publics. Le conseil d'administration est composé de producteurs et de productrices adhérents.

Abréviations :

AB : Agriculture Biologique

ADEAR : Association pour le Développement de l'Emploi Agricole et Rural

BRF : Bois Raméal Fragmenté

COTECH : Comité Technique

CGAAER : Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces Ruraux

CUMA : Coopérative d'utilisation des Matériels Agricoles

DV : Déchets verts

ETA : Entreprise de Travaux Agricole

EV : Engrais Verts

FRAB : Fédération Régionale des Agrobiologistes Bretons

GAB : Groupement des Agriculteurs Biologiques

IFT : Indice de Fréquence de Traitements Phytosanitaires

MDB : Maraîchage Diversifié Biologique

MO : Matière Organique

NIMA : Non Issus du Monde Agricole

ITK : Itinéraire technique

SdC : Système de Culture

Table des matières

Introduction	1
Etat de l’art et Problématique	2
I- Le Maraîchage Diversifié Biologique (MDB).....	2
II- Les multiples enjeux du Maraîchage Diversifié Biologique.....	3
A) L’enjeu de la fertilité du sol en MDB.....	3
B) Enjeux de la gestion des Bioagresseurs en MDB.....	4
C) Enjeux socio-économiques en MDB.....	5
III- L’expérimentation système : outil pour répondre aux enjeux du MDB	6
IV- Présentation du projet PERSYST - maraîchage.....	7
V- Problématique et hypothèses	8
Matériels et méthodes	8
I- Dispositif expérimental de la station Awen Bio	8
II- Dispositif expérimental de l’Observatoire Piloté	11
III- Indicateurs mesurés	12
IV- Les différentes bases de données constituées.....	14
A) Les bases de données de la station expérimentale	14
B) Les bases de données de l’Observatoire Piloté	15
V- Traitements des bases de données.....	15
A) Traitement des bases de données de la station expérimentale	15
B) Les données de l’observatoire piloté.....	17
VI- L’Intelligence collective comme outil d’analyse des résultats	18
Résultats	19
I - Les données météorologiques des 5 ans	20
II- Identification des combinaisons de leviers favorisant la fertilité des sols.....	20
A) Effets des leviers de la station sur la fertilité.....	20
B) Effets des leviers des fermes de l’OP sur la fertilité.....	27
III- Influence des leviers sur la pénibilité physique et mentale	28
A) Effets des leviers sur la pénibilité physique et mentale dans le cadre de la station	28
B) Différence d'impact des leviers sur la pénibilité entre la station et l'OP.....	33
IV- Impact des leviers sur l’atteinte des objectifs du projet PERSYST - maraîchage	34
Discussion	35

I - Quelles perspectives pour les leviers testés dans PERSYST-maraîchage chez les maraîchers du grand ouest ?.....	35
A) Les leviers du SdC1.....	35
B) Les leviers du SdC2.....	36
II- Limites de l'étude.....	37
A) Limites du projet PERSYST-maraîchage.....	37
B) Limites de l'analyse réalisée dans le cadre du mémoire.....	38
Conclusion.....	39
Bibliographie.....	41
Sitographie.....	42
ANNEXES.....	43
Résumé.....	49
Abstract.....	49

Tables des figures

Figure 1 : Description des trois SdCs testés sur la station.....	10
Figure 2 : Dispositif expérimental en station. Les zones A, B, C symbolisent des zones d'échantillonnages utilisées pour certains indicateurs seulement.....	11
Figure 3: Description et localisation des 10 fermes de l'Observatoire Piloté.....	11
Figure 4 : Planning de suivi.....	14
Figure 5 : Somme des précipitations par mois des 5 années d'expérimentation et précipitations normales.....	20
Figure 6 : Températures moyennes des 5 années d'expérimentation et valeurs normales.....	20
Figure 7 : Evolution de la Note ABSol du sol selon les systèmes de cultures.....	21
Figure 8 : Evolution de la qualité structurale selon les systèmes de cultures (Test-bêche).....	21
Figure 9: Evolution du pourcentage de matière organique des sols selon les systèmes de cultures... ..	22
Figure 10: Evolution de la biomasse microbienne selon les systèmes de cultures en mgC/kg.....	22
Figure 11 : Evolution de la biomasse microbienne rapportée en pourcentage du carbone total selon les systèmes de cultures.....	22
Figure 12 : Evolution du potentiel de minéralisation du carbone (mg/kg/28j).....	23
Figure 13 : Evolution de l'indice de minéralisation du carbone (%).....	23
Figure 14 : Evolution de l'indice de minéralisation de l'azote (%).....	23
Figure 15 : Evolution du potentiel de minéralisation de l'azote (mg/Kg/28j).....	23
Figure 16: Evolution de la concentration en P2O5 - Olsen selon les systèmes de culture (g/kg).....	24
Figure 17 : Evolution de la concentration en K2O selon les systèmes de culture (g/kg).....	24
Figure 18 : Evolution de la concentration en MgO selon les systèmes de culture (g/kg).....	24
Figure 19 : Evolution de la concentration en CaO selon les systèmes de culture (g/kg).....	24
Figure 20 : Rendements moyens rapportés à la référence du réseau bio des 3 SdC.....	25
Figure 21 : Rendements moyens tout légumes confondus ramenés à la référence du réseau bio en fonction des années et des SdC.....	25

Figure 22 : Répartition des réponses de satisfaction globale de chaque ferme superposé à la fréquence des rendements supérieurs à 80% de la référence ORGALEG.....	27
Figure 23 : Evolution du temps de travail total mensuel moyen toutes cultures confondus dans chaque SdC (h/180m ²).....	28
Figure 24 : Temps de travail moyen toutes cultures confondues par système de culture (h/180m ²). Les lettres correspondent aux résultats des tests post hoc.....	29
Figure 25 : Temps de travail moyen accordé à la gestion mécanique des adventices, au paillage et au désherbage manuel selon les SdC (h/180 m ²).....	31
Figure 26 : Notes de satisfaction selon les indicateurs et les systèmes de culture	32
Figure 27 : Notes de satisfaction globales selon les systèmes de culture.....	32

Introduction

Le maraîchage diversifié consiste à produire une large gamme de légumes sur de petites surfaces, en plein champ ou sous abris. La densité de culture et les rotations sont intensives. Ce type de production nécessite un travail du sol et des apports de matière organique (MO) fréquents pour compenser les importantes exportations de biomasse (Willekens *et al.* 2014). Ces pratiques ne sont pas favorables pour la fertilité des sols.

En Maraîchage Diversifié Biologique (MDB), le cahier des charges interdit l'utilisation de produits chimiques de synthèse tels que les engrais, les herbicides et les pesticides de synthèse. Les maraîchers diversifiés biologiques dépendent de la fertilité de leur sol pour assurer une production suffisante. Ils doivent maintenir cette fertilité par des apports de matière organique, qui peuvent varier en termes de disponibilité, de coût et de facilité d'application. La gestion des maladies et des ravageurs repose sur la prophylaxie et l'observation pour détecter le plus tôt possible les foyers. Cela demande un temps important de prospection et de surveillance des cultures. Enfin, la gestion des adventices repose principalement sur le travail du sol. Les systèmes MDB sont donc des systèmes complexes avec des charges de travail et une pénibilité importante, remettant en cause leur durabilité.

En France, la conjoncture actuelle n'est pas en faveur du bio. Une diminution de la progression du nombre de certifications bio est constatée. En effet, selon l'Agence Bio [1], entre 2021 et 2022, le nombre de nouvelles certifications a réduit de 31,9 %. La filière des légumes bios en Bretagne suit la même tendance avec une diminution de – 6,2 % des surfaces depuis 2022. Toutefois le nombre de maraîchers bios en Bretagne continue d'augmenter. Ces installations sont pour 50 % d'entre elles des installations de personnes non issus du monde agricole

L'enjeu est de faire évoluer les systèmes en MDB du Nord-ouest de la France pour améliorer leur durabilité, qu'elle soit économique, sociale ou environnementale. Le projet PERSYST-maraîchage, mené par le réseau GAB-FRAB, vise à répondre à ces enjeux en se focalisant sur les problématiques d'entretien de la fertilité des sols, de gestion des bioagresseurs et de contrôle de la pénibilité physique et mentale.

Le projet PERSYST-maraîchage est un projet financé par le dispositif DEPHY EXPE, du programme ECOPHYTO, mis en place entre 2019 et 2024. Il teste des combinaisons de leviers au sein d'expérimentations systèmes pour répondre aux enjeux précédemment cités. Deux dispositifs sont considérés : la station expérimentale à Morlaix, Awen Bio, et l'observatoire piloté. Deux systèmes de cultures (SdC) innovants sont testés à la station expérimentale et comparés à un SdC de référence. L'observatoire piloté est constitué de 10 essais systèmes en ferme répartis dans les quatre

départements bretons et en Pays de la Loire. Les deux dispositifs ont duré quatre ans, avec des campagnes annuelles de mesures de divers indicateurs agronomiques et socio-économiques. L'analyse des données a été guidée par la question suivante : Comment les leviers choisis pour améliorer la fertilité des sols influencent-ils la pénibilité physique et mentale des maraîchers diversifiés biologiques du Grand-Ouest de la France ?

À la suite d'un état de l'art du sujet, la méthodologie mise en place pour répondre à la problématique est présentée. Dans un premier temps, les résultats de l'impact des leviers choisis sur la fertilité des sols sont exposés, puis l'impact des leviers choisis sur la pénibilité physique et mentale. Enfin, une synthèse évaluera si les leviers choisis répondent aux enjeux du projet. Durant tout le développement, les résultats de la station seront comparés à ceux de l'observatoire piloté.

Etat de l'art et Problématique

I- Le Maraîchage Diversifié Biologique (MDB)

En France, l'agriculture biologique a pris de l'ampleur dans les années 1950 grâce à des initiatives d'agronomes, de médecins, d'agriculteurs et de consommateurs inquiets des effets de l'agriculture industrielle sur la santé et l'environnement. Le maraîchage biologique implique la production de légumes en plein champ ou sous serre (Jean 2011). Le cahier des charges de l'agriculture biologique interdit aux maraîchers bios l'utilisation de produits de synthèse. Par conséquent, la transition vers le bio s'accompagne souvent d'une diversification des cultures afin de construire des rotations plus efficaces en termes de bilan azoté et de faciliter la maîtrise des bio-agresseurs (Lamine & Bellon 2009). Le maraîchage diversifié biologique consiste donc à produire une large gamme de légumes, entre 10 à 60 espèces, sur des petites surfaces de 0,5 à 2 hectares, bien que certaines exploitations atteignent 6 hectares (Argouarc'h *et al.* 2008). La densité de culture et les rotations sont intensives. Le circuit court et la vente en magasin spécialisé sont les deux principaux modes de commercialisation.

En 2023, en France, la filière des légumes bios s'étend sur 45 726 hectares et compte plus de 13 000 producteurs. Elle regroupe différents systèmes de production des grands légumiers aux petites exploitations en MDB. Cela ne permet pas de situer les agriculteurs en MDB en particulier. A l'échelle française, après une croissance à deux chiffres pendant cinq ans, la surface légumière cultivée en bio a légèrement diminué (- 4,9 %) depuis 2022, tandis que le nombre de producteurs s'est stabilisé. Ce chiffre s'explique par la baisse de consommation de légumes bios, jugée non essentielle en période d'inflation [1].

La Bretagne est la première région française en termes de surface en maraîchage bio. Cependant, elle n'est que la quatrième région en termes de nombre de producteurs engagés en bio. Ces chiffres

s'expliquent principalement par la présence d'un bassin de production de légumes dans le Finistère Nord. La filière des légumes bio en Bretagne suit la même tendance que celle de la France, avec une diminution de - 6,2 % des surfaces depuis 2022. Toutefois, le nombre de producteurs continue d'augmenter en Bretagne. Cette augmentation du nombre de producteurs combiné à la diminution du parcellaire peut renseigner sur l'augmentation du nombre de structures de petites surfaces comprenant les fermes en maraîchage diversifié biologique (MDB).

II- Les multiples enjeux du Maraîchage Diversifié Biologique

Le Maraîchage Diversifié Biologique (MDB) attire pour plusieurs raisons : des petites surfaces peuvent être économiquement viables, un investissement initial faible et la proximité avec le consommateur (circuit court et vente directe)(Marquet *et al.* 2017). Dans ce contexte fragile de la Bio, les maraîchers diversifiés biologiques font face à des multiples enjeux.

A) L'enjeu de la fertilité du sol en MDB

Le sol résulte de l'interaction entre un substrat géologique, la géographie, le climat et les êtres vivants (Archambeaud & Thomas 2023). Composé majoritairement de matière minérale et de 1 à 10 % de Matière Organique (MO), le sol est structuré en agrégats stables et espaces vides, facilitant le stockage et la circulation de l'eau et des gaz. Cette organisation permet le développement et la diversification de la vie. L'activité biologique des macro et micro-organismes améliore la qualité du sol en fonction de la quantité de MO, de sa texture et de ses conditions d'humidité (Girard *et al.* 2011). En conséquence, selon sa structure, sa composition et l'activité biologique présente dans le sol, la fertilité du sol varie. Dans le projet PERSYST-maraîchage, la définition de fertilité retenue est la suivante, il s'agit de la capacité naturelle et durable d'un sol à assurer la production végétale (Berner *et al.* 2013), elle est donc traduite par les rendements dans cette étude.

En MDB, il a été observé que les sols ont tendance à s'appauvrir en éléments minéraux (Jackson *et al.* 2004). En effet, la densité de culture engendre des exportations de biomasse importantes et les résidus de cultures sont peu restitués. De plus, les sols sont fréquemment travaillés afin d'entretenir une couche de terre fine suffisante aux développements des cultures. Ces pratiques sont identifiées comme intensives d'utilisation du sol (Norris & Congreves 2018). Différents leviers existent pour entretenir la fertilité des sols, mais dans ce document, les effets des apports de MO et de la réduction du travail du sol seront davantage explorés que les autres leviers.

Un essai a été mené à la station du SERAIL (69) pendant 10 ans dans le but d'évaluer l'effet des différentes sources et doses de MO en MDB. Il a été observé que le compost de déchets verts améliore les

propriétés physiques, biologiques et chimiques, mais engendre des faims d'azote car le rapport C/N est élevé. Les fumiers permettent de booster l'activité biologique et constituent une ressource rapidement dégradable. Bien que les auteurs préconisent d'alterner dans le temps différentes sources de MOs (Huber & Schaub 2011), il semble de plus en plus compliqué de s'approvisionner en MO animales. En effet, les élevages augmentent l'utilisation de leur propre fumier étant donné le coût élevé des achats d'engrais. De plus, les maraîchers manquent de matériel pour les épandre (Cahors 2024). Deux solutions de substitution sont possibles : la MO d'origine végétale et les engrais bouchonnés du commerce. Afin d'étudier l'amélioration de l'autonomie des fermes, un essai de 5 ans avec l'objectif de substituer la MO animale par du mulch d'herbe a été mené. Dans cet essai, le mulch d'herbe a permis d'obtenir de meilleurs rendements, de limiter le temps consacré au désherbage manuel, de favoriser l'activité biologique, mais nécessite une surface importante de prairie et du matériel adapté (Cahu *et al.* 2024).

En MDB, la recherche d'un horizon de surface très fin et les successions courtes et rapides entraînent le passage répété de tracteurs sur les parcelles dans des conditions de ressuyage et de portance parfois inadaptées. Avec ces pratiques, le sol a tendance à se compacter, limitant ainsi le bon développement racinaire des cultures (Weill & Duval 2009). Un des leviers utilisés pour lutter contre ce phénomène est le travail du sol. Cette pratique est également un levier en gestion des adventices en agriculture biologique. Cependant, ce travail fragilise les communautés de champignons et de bactéries dans les 10 premiers cm (Willekens *et al.* 2014) ainsi que les macro-organismes du sol comme les lombriciens. Il diminue également la capacité de rétention d'eau des sols (Lafond *et al.* 1992). A partir d'un réseau expérimental de 18 sites répartis en France, le projet Sol'AB a étudié l'impact du travail du sol sur la fertilité entre 2009 et 2011 (Védie *et al.* 2012). Les résultats des rendements sont variables d'un site à un autre, mais également d'une culture à une autre. Les structures de sol sont meilleures en non-travail du sol et permettent une meilleure infiltration de l'eau. Pour autant, ces modifications ne se traduisent pas par une augmentation de l'activité biologique. De plus, l'enherbement est supérieur en non-travail du sol et demande un temps de travail de désherbage supérieur de 30 %. Dans cette étude, ils insistent sur le fait que les résultats en non-travail du sol dépendent du contexte : type de sol, culture et outils (Védie *et al.* 2012).

B) Enjeux de la gestion des Bioagresseurs en MDB

Le travail du sol a un effet antagoniste, positif pour la gestion des adventices, mais négatif pour la biodiversité du sol facteur influençant le recyclage des nutriments. D'autres leviers existent pour lutter contre les adventices comme le paillage qu'il soit organique ou inorganique. Le paillage plastique permet de réchauffer le sol plus rapidement et donc d'améliorer la précocité des rendements (Affriat

2020). Cependant, ils représentent une pollution et ne participent pas à améliorer l'autonomie de la ferme. Le paillage organique permet de préserver l'humidité, d'augmenter la MO et de couvrir le sol pour limiter le développement des adventices, mais il peut également entraîner une acidification du sol (Chalker-Scott 2007) et un salissement des parcelles s'il contient des graines (Boyhan *et al.* 2006). Enfin, s'il possède un C/N élevé, il peut engendrer des carences en azote (Kasirajan & Ngouajio 2012).

C) Enjeux socio-économiques en MDB

Dans le code du travail, la pénibilité est définie comme « l'exposition du travailleur à un ou plusieurs facteurs de risques professionnels qui sont susceptibles de laisser des traces durables, identifiables et irréversibles sur sa santé » (Richir 2013). Elle est évaluée selon des critères quantifiables liés à (CGAAER 2017) :

- Des contraintes physiques marquées : pouvant engendrer des Troubles MusculoSquelettiques (TMS) à la suite de manutentions de charges lourdes, d'expositions aux vibrations dans les engins agricoles ou d'accidents non-prévisibles (Astié 2022).
- Un environnement physique agressif : l'utilisation de produits phytosanitaires, la poussière, les aléas climatiques...
- Certains rythmes de travail : selon une étude menée dans le PACA, les maraîchers travaillent 50 à 60 heures par semaine en moyenne (ADEAR 2016). Les maraîchers sont donc exposés pendant de longues périodes à des facteurs de risques, ont peu de temps pour se reposer afin de réduire les TMS et accumulent de la fatigue pouvant les mettre davantage en danger si bien que 90 % des maraîchers souffrent de TMS (Astié 2022).

Jansen (Jansen 2000) a identifié 4 facteurs contribuant à augmenter cette charge de travail : les prescriptions du cahier des charges, la diversification, le système de commercialisation et l'expérience. Les prescriptions du cahier des charges de l'agriculture biologique contraignent le maraîcher à consacrer davantage de temps qu'en système conventionnel, à l'observation dans le contrôle des ravageurs, au désherbage, qu'il soit manuel ou mécanique ou bien à l'utilisation des amendements (Jean 2011).

La diversification, bien qu'elle permette de construire des rotations plus efficaces en termes de bilan azoté et de maîtriser les bio-agresseurs (Lamine & Bellon 2009), entraîne une organisation complexe des cultures tant sur le plan spatial que temporel (Aubry *et al.* 2011). Chaque légume a des besoins spécifiques en matière d'irrigation, de travail du sol ou de fertilisation, nécessitant souvent du matériel spécialisé. Pour les petites exploitations très diversifiées, il est compliqué de se procurer le matériel, car le volume de production ne justifie pas un tel investissement et donc nécessairement plus de travail manuel. La diversification entraîne un rythme de travail important et des pics de travail durant une

longue période de l'année (Jean 2011). Pour autant, l'appréciation de la charge de travail est très variable d'un individu à un autre. Dans l'étude de l'ADEAR PACA, ce ne sont pas les maraîchers avec la charge de travail la plus importante qui se sentaient les plus débordés (ADEAR 2016).

Dans le cadre de ce mémoire, la notion de pénibilité mentale est rajoutée pour l'évaluation de la pénibilité. Elle est liée à des pressions psychologiques engendrées par leur activité professionnelle, affectant leur vie personnelle et créant une « charge mentale ». Comme tout autre agriculteur, les maraîchers diversifiés bios font face aux éléments extérieurs comme les aléas climatiques ou bien les crises financières. Bien que la diversification puisse limiter l'impact économique de ces aléas, elle nécessite la maîtrise et l'exécution de nombreux itinéraires techniques (ITK), requérant une multitude de savoir-faire et une planification culturelle complexe, en plus des autres tâches obligatoires telles que la facturation, la comptabilité et la commercialisation. Certains agriculteurs doivent faire des compromis par rapport à leur idéal de production, équilibrant les dimensions écologiques, sociétales et économiques de leur activité pour assurer leur durabilité (Dumont 2017).

Ainsi, un des enjeux est de rendre vivables les exploitations des maraîchers diversifiés biologiques en contrôlant leur rythme de travail et l'intensité physique associée. Il est nécessaire de développer des références techniques pour les aider à maîtriser le grand nombre d'itinéraires techniques (ITK) qu'impose la diversification. Individuellement, les leviers identifiés dans les parties II-A et B semblent répondre à un des trois grands enjeux du MDB. Pour tester l'effet combiné de ces leviers sur la fertilité des sols, la gestion des bioagresseurs tout en contrôlant la pénibilité du travail associé, l'expérimentation système est un dispositif adapté, c'est pourquoi son intérêt est présenté dans le paragraphe suivant.

III- L'expérimentation système : outil pour répondre aux enjeux du MDB

Un système de culture est défini comme l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur une ou plusieurs parcelles gérées de manière identique au fil des années (Sebillote 1990). Si l'on souhaite évaluer la capacité d'un système de culture à atteindre les objectifs qui lui sont assignés, on peut mettre en place une expérimentation système. Il s'agit d'évaluer une stratégie, l'effet combiné d'un ensemble de leviers, des conduites et non d'un seul facteur. De ce fait, l'expérimentation système est donc difficilement reproductible dans des contextes pédoclimatiques, économiques et sociaux différents et la fiabilité de ses résultats peut être remise en question (Cardona *et al.* 2018). L'objectif n'est pas de transférer le système comme tel mais de transmettre la logique sous-jacente pour inspirer des agriculteurs ou les conseillers dans leur propre contexte. Ce sont donc les échecs, comme les réussites et les trajectoires qui doivent être transmises (Havard *et al.* 2017).

Le dispositif DEPHY EXPE vise à concevoir, éprouver et évaluer des systèmes de cultures en mettant en place des expérimentations « Système » en station expérimentale ou dans des conditions de production, chez des producteurs, des « Observatoires pilotés » (OP). Chaque projet répond à une série d'enjeux, mais ils ont tous en commun la réduction des traitements phytosanitaires. Deux campagnes ont vu le jour depuis 2012, composées de 82 projets donc 23 en maraîchage [2]. SEFERSOL est une expérimentation systèmes répondant aux enjeux de l'entretien de la fertilité, de la gestion de l'enherbement et de la résilience économique, environnementale et sociale des systèmes (Baelen 2017). Ce projet a été conduit sur la période 2018-2023 dans le Grand-Est. Deux systèmes de culture innovants ont été construits et testés en station expérimentale, dont un qui maximise l'usage des engrais verts et l'autre mettant en place les leviers de l'agriculture de conservations des sols (couverture maximum et réduction du travail du sol).

Le Projet PERSYST-maraîchage a été construit pour répondre aux enjeux de fertilité des sols tout comme SEFERSOL, mais également de contrôle de la pénibilité mentale et physique et l'autonomie des intrants (fertilisation comme protection des cultures). C'est de cette manière que le projet PERSYST-maraîchage est innovant. De plus, il est composé de deux dispositifs : le premier en station d'expérimentation et le deuxième, l'Observatoire Piloté (OP), constitué de 10 essais en conditions de production dans des fermes du grand Ouest. Mener une expérimentation en conditions de production permet de faciliter la transmission et l'appropriation des résultats de l'étude par le monde agricole (Havard *et al.* 2017).

IV- Présentation du projet PERSYST - maraîchage

Le projet fait suite au dispositif DEPHY EXPE 2019. Il a émergé de 3 groupements d'agriculteurs de l'Ouest travaillant sur la question de la fertilité en maraîchage biologique. Leur souhait était de faire converger leurs réflexions et travaux au sein d'un même projet en y intégrant la thématique de l'organisation du travail. Le projet a été confié à la FRAB et ses partenaires. Deux dispositifs y sont considérés : une expérimentation système en station relevant d'une démarche expérimentale *sensu stricto* assurant la robustesse des résultats obtenus et l'« Observatoire Piloté » constitué de 10 essais systèmes installés chez des maraîchers relevant d'une démarche d'observation de systèmes très exploratoires dont les règles de décisions ne sont pas figées. La même rigueur scientifique est attendue dans chaque dispositif. En 2019, les leviers innovants à tester ont été recensés lors d'un stage. S'en est suivie une formalisation collective des SdCs et des leviers pour l'expérimentation en station lors d'ateliers de co-conception à la fin de l'année 2019. Les 2 systèmes de culture innovants ont été élaborés lors de cette journée. Ils ont été testés pendant 4 ans en station d'expérimentation et comparés à un SdC de référence. Concernant l'observatoire piloté, les systèmes de culture mis en place

et les combinaisons de leviers ont été déterminés lors d'un entretien entre le technicien GAB et le producteur durant l'hiver 2019. Chaque système de culture a été testé sur 4 ans et des campagnes de mesures des différents indicateurs ont été réalisées chaque année. Les données agronomiques collectées jusqu'alors ont été préanalysées lors d'un stage en 2023.

V- Problématique et hypothèses

L'objectif du stage était de traiter les données agronomiques et socio-économiques quantitatives des deux dispositifs sur les 5 années du projet. Dans ce mémoire, nous nous concentrerons sur les axes fertilité du sol et organisation du temps de travail du projet PERSYST-maraîchage. Ainsi, la question centrale de ce mémoire est : *Comment les leviers employés pour améliorer la fertilité des sols influencent la pénibilité physique et mentale des maraîchers en AB du Grand Ouest ?*

Plusieurs sous-questions et hypothèses associées émanent de cette problématique et guideront le développement de ce mémoire :

Sous question 1 : Est-ce que les combinaisons de leviers choisis dans le projet améliorent la fertilité des sols ? *Hypothèse 1 : Les systèmes comportant les leviers « compost de déchet vert » ou « Herbe fertilisante » permettent de maintenir la fertilité des sols. Hypothèse 2 : Les systèmes en réduction ou en absence de travail du sol permettent le maintien des propriétés physiques du sol.*

Sous question 2 : Est-ce que les combinaisons de leviers choisis dans le projet réduisent la pénibilité du travail ? *Hypothèse 3 : Les systèmes en réduction ou en travail du sol engendrent un temps de travail du sol moins important ou très faible, mais demandent un temps de désherbage manuel plus important.*

Sous question 3 : Est-ce que les SdCs ont le même effet sur la fertilité et/ou la pénibilité en conditions expérimentales et en conditions de production ? *Hypothèse 4 : Les leviers choisis auront le même impact en station qu'en OP sur la fertilité des sols, mais auront des effets différents sur la pénibilité entre les deux dispositifs, mais également entre les fermes puisque chaque producteur à sa propre perception de la pénibilité.*

Matériels et méthodes

I- Dispositif expérimental de la station Awen Bio

La station expérimentale Awen bio permet de tester les systèmes innovants sur 4 ans (campagnes 2020 à 2023). Les expérimentations sont soumises aux contraintes des stations expérimentales (charge de travail, main d'œuvre), mais permettent une analyse statistique. Des règles de décisions ont été fixées au début du projet. Les deux systèmes de culture innovants de la station ont été co-construits dans

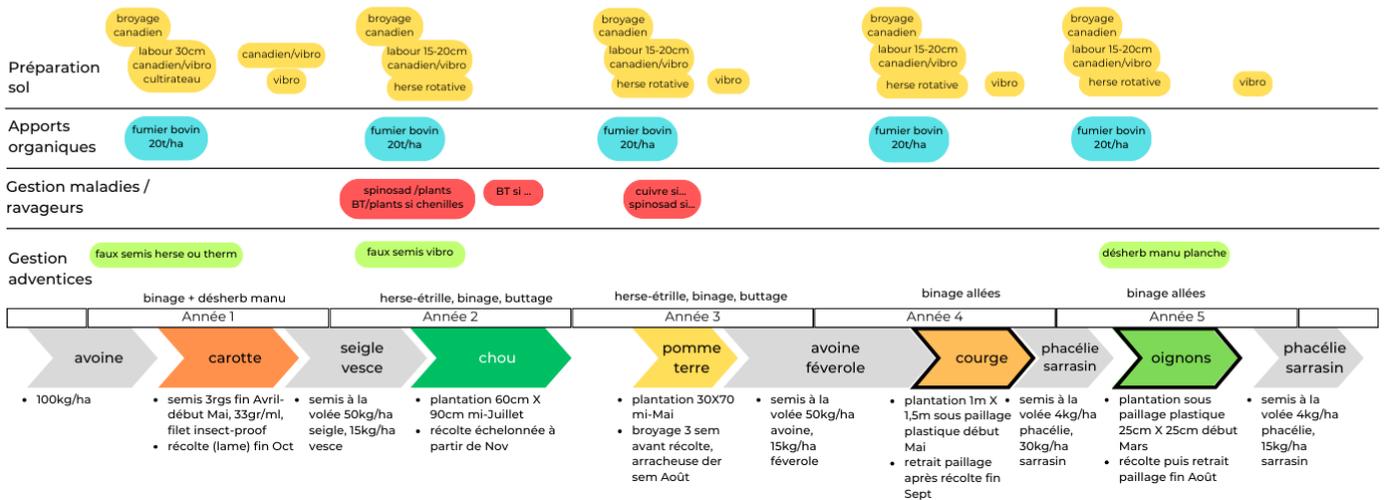
l'objectif de répondre aux enjeux du projet, mais également à des objectifs spécifiques résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1 : Objectifs et principaux leviers des 2 SdCs innovants

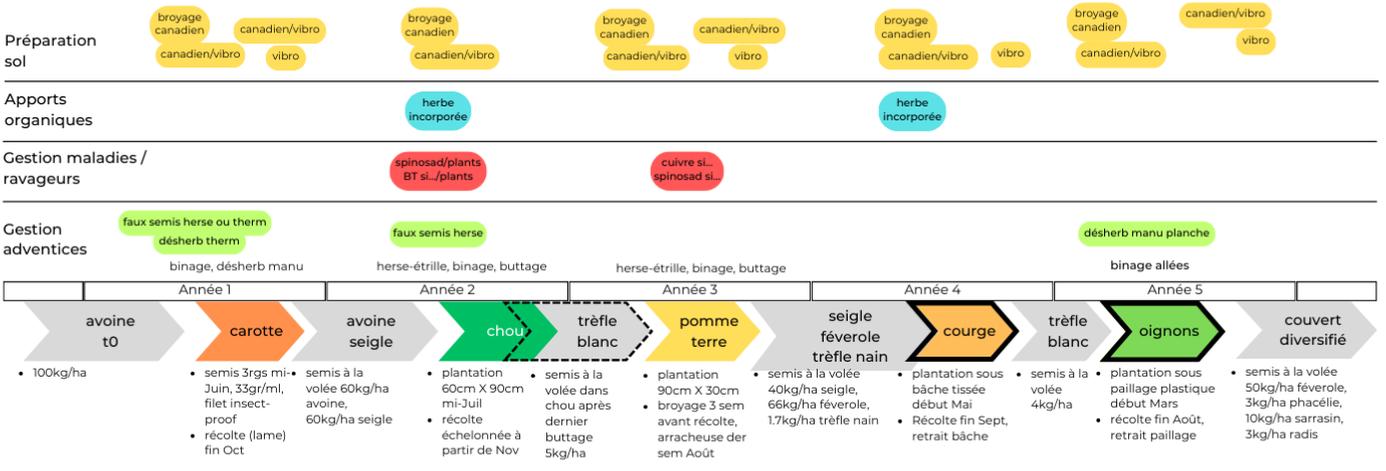
	Description	Objectifs	Leviers principaux
SdCref	Système classique de maraîchage biologique diversifié breton en circuit long	Reproduire un SdC classique pour servir de référence lors des analyses, Bonne implantation des cultures, Maîtrise des adventices efficiente, Fertilisation adaptée.	Opérations de travail du sol, Apports et incorporation de MO animale.
SdC1	Système travail du sol réduit et couverture du sol maximale	Autonomie en matières fertilisantes (végétales uniquement), Travail du sol réduit, Pas de sol nu. Limiter l'utilisation de Produits phytosanitaires	Utilisation de couverts végétaux et Engrais Verts (EV), Limitation du travail du sol en profondeur, pas d'outils animés, Apports de matière fraîche végétale.
SdC2	Système sans travail du sol, avec apports importants de matière riche en carbone	Favoriser l'activité biologique du sol, Maîtrise de la pression des adventices, Limiter l'utilisation de PPP Pas de sol nu	Non travail du sol, Apport de MO carbonée (compost de déchets verts, mulch de foin), Utilisation de paillage (organique ou bâche).

La matière fraîche végétale apportée dans le SdC1 sera appelée dans la suite du mémoire « Herbe fertilisante ». L'herbe est fauchée dans une prairie adjacente et a pour vocation de fertiliser le sol dans lequel elle est incorporée. Les leviers mobilisés dans les SdC seront nommés de la manière suivante dans le reste du mémoire : Pour le SdC2, les leviers mobilisés sont « Absence de travail du sol », « Apport massif de compost de déchets verts », « Paillage organique », « Bâche » et pour le SdC1, « Travail du sol limité » et « Herbes fertilisantes ». L'objectif du SdC2 est de reproduire un système type « Maraîchage sur Sol Vivant ». Ainsi, en 2020, l'ensemble des micro-parcelles du SdC2 a reçu un apport massif de compost de déchets verts et du fumier. Dans le SdC2, le non-travail strict du sol est pratiqué. Cette pratique est rarement rencontrée chez les producteurs en MDB. La majorité en travail du sol très limité se permet d'intervenir si la situation se dégrade (adventices tout comme du tassement). Ces leviers ont été déclinés en un ensemble de pratiques culturelles cohérentes qui ont permis d'élaborer des systèmes de culture complets présentés dans la figure ci-dessous.

SdCréf



SdC1



SdC2

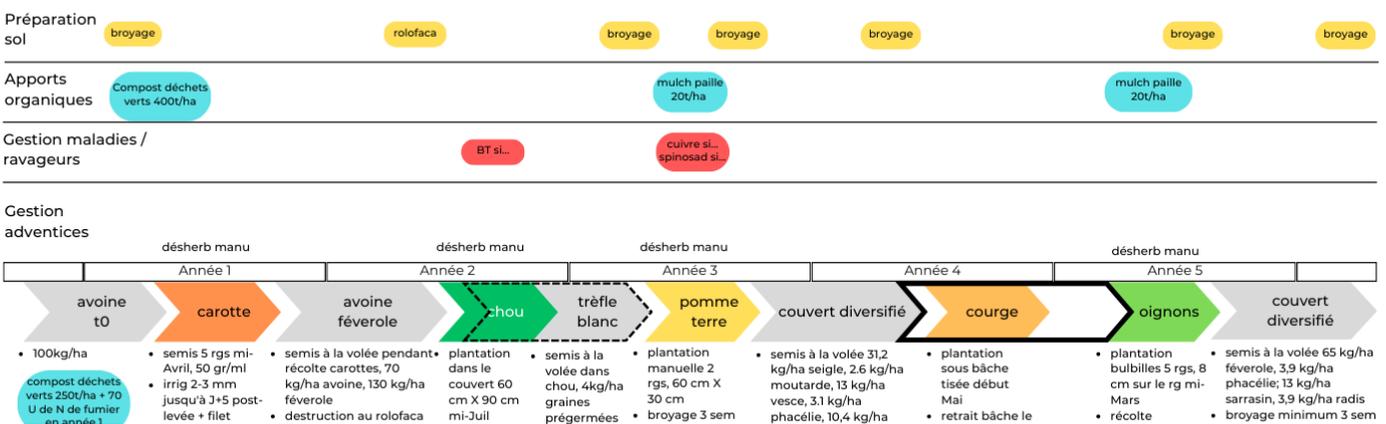


Figure 1 : Description des trois SdCs testés sur la station

Le dispositif expérimental est composé de 15 micro-parcelles de 180 m² chacune (figure 2). Chaque légume est implanté chaque année pour les 3 SdC de 2020 à 2023, soit 4 répétitions temporelles. Ces systèmes de culture sont alors positionnés côte à côte et dans un ordre randomisé pour chaque légume. Au printemps 2024, un couvert est semé après destruction des dernières cultures de la campagne 2023-2024. La présence d'une bande enherbée d'au moins 2 m entre le talus et les parcelles d'essais permet de limiter l'effet bordure. Il n'y a pas de système d'irrigation sur la parcelle.



Figure 2 : Dispositif expérimental en station. Les zones A, B, C symbolisent des zones d'échantillonnages utilisées pour certains indicateurs seulement

II- Dispositif expérimental de l'Observatoire Piloté

L'observatoire piloté est constitué de 10 fermes réparties dans les 5 départements du projet. Cet observatoire relève d'une démarche d'observation de systèmes très exploratoires dont les règles de décision ne sont pas figées. Ces fermes accueillent donc des essais de type « pas à pas » (Havard *et al.* 2017). Le but est d'observer l'effet de l'introduction de pratiques innovantes sur les systèmes des agriculteurs participants, c'est-à-dire en condition de production.

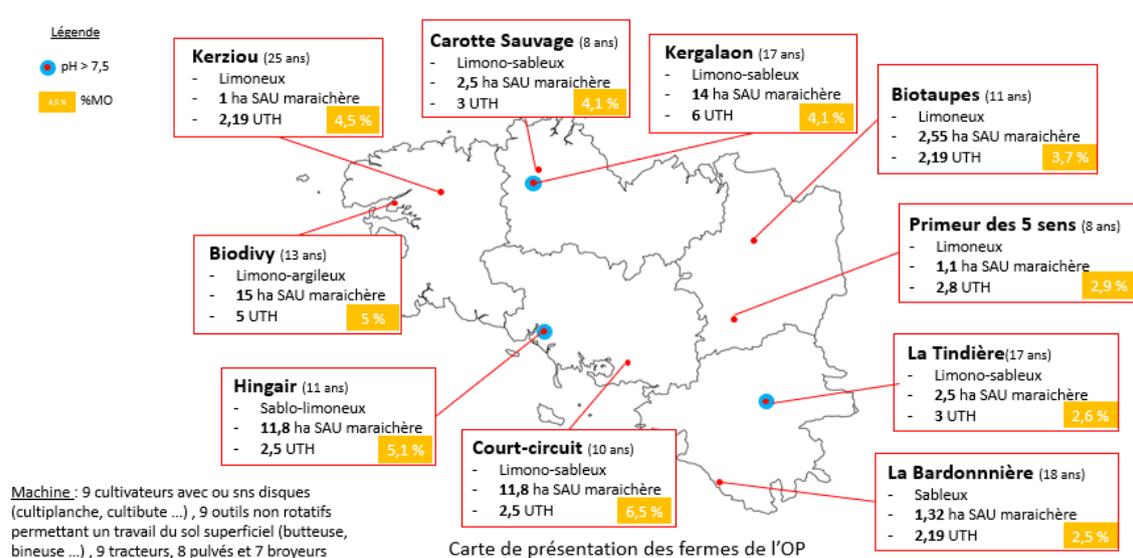


Figure 3: Description et localisation des 10 fermes de l'Observatoire Piloté

Chaque producteur possède un système de culture et des légumes différents des uns et des autres (Annexe 1) mais également un contexte pédoclimatique, historique, parcellaire et économique différent (figure 3).

De nombreux leviers sont testés dans l'OP. Ils sont classés de manière à pouvoir comparer les SdC. Dans le tableau 2, l'ensemble des classes est listé et expliqué. Les noms des classes sont les termes utilisés pour décrire ces leviers dans le reste du mémoire. Ainsi, le SdC2 pourra être comparé aux SdC de l'OP ayant comme levier « Travail du sol très limité » et « Apports carbonés », excepté le BRF. Le SdC1 pourra être comparé aux SdCs testant les leviers « Travail du sol limité » et « Apports verts », excepté le levier foin.

Tableau 2 : Composition des différentes classes de leviers

Classes de leviers	Description des leviers des classes
Travail du sol	Travail du sol Classique, Travail du sol limité, Travail du sol très limité
Apports Carbonés	BRF, Apport massif compost de déchets verts, Paille
Apports Verts	Foin, Ensilage d'herbe, Enrubannage de luzerne, Herbe fraîche, Tonte
Couvert végétaux	Engrais vert, culture dans trèfle, luzerne et prairie
Autres sources de fertilisant	Fumier équin, Bouchons PK...

III- Indicateurs mesurés

Au cours des 5 années d'étude, de nombreux indicateurs ont été mesurés. Le tableau 3 présente les indicateurs pertinents permettant d'évaluer l'atteinte des objectifs du projet, précisant pour chacun sa méthode de mesure et sa fréquence.

Les mêmes indicateurs, méthodes et fréquences de mesure ont été appliqués aux deux dispositifs, aux mêmes périodes (Tableau 3), à l'exception des cases en rouge. Ces dernières concernent les notes de satisfaction des systèmes de la station. A l'inverse de la station, les maraîchers de l'OP ont évalué leur système sous deux aspects : les variations des indicateurs par rapport au système antérieur pour chaque culture de chaque ferme (indiquées par : Beaucoup plus, Plus, Équivalent, Moins, Beaucoup moins) et le niveau d'atteinte des objectifs (Oui, Non, NSP). Les producteurs ont renseigné leur satisfaction pour chaque culture concernant 18 indicateurs. On retrouve les mêmes 6 indicateurs que la station ainsi que la satisfaction des pics de travail, rendement, rentabilité économique, consommation de produits phytosanitaires... Un exemple de tableau contenant l'ensemble des indicateurs est présent en annexe 3. Comme pour la station, chaque producteur a pu renseigner sa satisfaction globale pour chaque culture.

Tableau 3 : Méthodes de prélèvements et répétition dans le temps et l'espace des indicateurs

Objectifs	Attentes	Critères	Indicateurs	Mat/Méthode	Fréquence	
Maintenir les rendements et qualités des récoltes	Rendements et qualités équivalentes au témoin	Rendements	Rendements bruts Rendement commercialisable	Moyenne des pesées des récoltes pour 4 parcelles de 60m ²	A la récolte	
		Qualités	% de rendement déclassé			
			Note de qualité (sur 5)	Note de 1 (pas satisfait) à 5 (satisfait)	Lors du bilan de culture	
Améliorer la fertilité du sol	Indicateurs supérieurs ou équivalents au témoin	Fertilité globale	Analyses Hérody		T0 et T4	
		Fertilité physique du sol	Résultats test bêche	Drop test : bêche, caisse plastique, fiche terrain	2 fois par an	
			Stabilité structurale (note ABSol)	Kit ABSol		
		Fertilité chimique du sol	Teneurs en macro-éléments	Analyses Capinov	T0 (pH, CEC) + T1 + T2+ T3 + T4 Impérativement avant enfouissement EV et/ ou apport MO	
			Teneurs en micro-éléments			
			CEC, disponibilité du phosphore			
		Fertilité biologique du sol	Taux de MO lié et libre (%)	Analyses Celestalab	T0 et T4 Impérativement avant enfouissement EV et/ ou apport MO	
						Taux MO tot(%)
						BM et BM en % du Corg
						Cmin et indice Cmin
	Nmin et Indice Nmin		T0 + T1 + T2+ T3 + T4 sortie hiver Impérativement avant enfouissement EV et/ ou apport MO			
Contrôler la pénibilité physique et mentale du travail	Indicateurs équivalents au témoin	Pénibilité	Note de pénibilité physique/ mentale	Note de 1 (pas satisfait) à 5 (satisfait)	Lors du bilan de culture annuel	
		Charge de travail	Note de charge de travail	Note de 1 (pas satisfait) à 5 (satisfait)	Lors du bilan de culture annuel	
			Nombre d'heure de travail / 180 m ²	Cahier de culture	Au fil de l'eau	
			Interventions culturelles réalisées	Cahier de culture	Au fil de l'eau	
Tendre vers l'autonomie en intrants (fertilisation)	-50% FT Pression des bioagresseurs	Pression des bioagresseurs	Note de pression d'adventices Note de pression maladie/ ravageurs	Note de 1 (pas satisfait) à 5 (satisfait)	Lors du bilan de culture annuel	

et protection des cultures)	équivalente au témoin		Temps de travail dédié au desherbage manuel	Cahier de culture	Au fil de l'eau
		Consommation en produit de protection	IFT	Agrosyst	Au fil de l'eau
			IFT biocontrôle	Agrosyst	Au fil de l'eau

Fertilité	N (à l'implantation de la culture et à la récolte)												
	N (labo)											N	
	T°											T°	
	Herody (T0/T4)												
Labo													
Drop Test + Stabilité												Drop Test + Stabilité	
Satisfaction et rendement												Rdt + Note qualité	Notes de satisfaction
En continu	Analyse des MO apportées												
	Observations bioagresseurs et cultures												
	Notations dans le cahier de culture												
	Pluviométrie												
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier
	2020-2024 (T0-T4)												

Figure 4 : Planning de suivi.

En plus des bilans annuels, un bilan pluriannuel a été réalisé à la fin des 4 ans d'expérimentation pour chaque producteur et la pilote de la station expérimentale. Il permet de renseigner les points forts et faibles des systèmes testés, les grands apprentissages, les points de vigilance et les perspectives.

IV- Les différentes bases de données constituées

Il a été décidé par le comité technique du projet PERSYST-maraîchage que les données provenant de la station et celles provenant de l'observatoire piloté ne seraient comparées seulement qu'après avoir été analysées individuellement le plus finement possible. C'est pourquoi les bases de données ont été créées séparément et que la présentation de la méthode mise en place dans les deux dispositifs est séparée.

A) Les bases de données de la station expérimentale

La base de données « Donnees_compil_suivi_sol » regroupe l'ensemble des résultats des analyses de sol menées par les laboratoires Célesta lab et Capinov ainsi que les résultats des Test-bêche, Note ABSol et Note Vers de Terre. La base de données « Donnees_compil_rendements » regroupe l'ensemble des rendements des 15 microparcelles des 4 années d'expérimentation. Les rendements sont rapportés à une référence propre au réseau bio pour être comparés tout légumes confondus. La base de données « Donnees_compil_IFT » rassemble les données IFT.

La base de données « Donnees_compil_tps_W » compile l'ensemble des interventions menées sur les différents SdC chaque année. Pour chaque intervention, différents paramètres sont à renseigner dont le temps de préparation, le temps d'exécution, la note de pénibilité associée et la raison de cette pénibilité. Chaque intervention s'est fait attribuer un groupe de type d'intervention selon le tableau 4. Les temps de travail d'un SdC consacrés à la même culture la même année ont été sommés en fonction des différents types d'intervention. Dans cette nouvelle base de données, il y a donc 60 lignes, une ligne par année, par SdC et par culture.

Tableau 4 : Description des différents types d'intervention

Type d'intervention	Description
Autre	Destruction de culture, Entretien des tomates, défanage ...
Désherbage manuel	Désherbage à la main, couteau, sarcloir
Fertilisation	Apport de MO tout confondu
Gestion couvert/ EV	Du semis à la destruction du couvert ou engrais vert
Gestion des adventices	Désherbage mécanique des adventices, rotofil, bruleur thermique
Gestion maladies/ravageurs	
Irrigation	
Paillage	Pailler, dérouler et enlever les bâches
Récolte	
Semis/ Plantation	
Travail du sol	Préparation du sol avant culture : butteuse avant plantation, vibroplanche, herse rotative, chisel, Vibroculteur

La base de données « Donnees_satisfaction_compil » répertorie l'ensemble des notes de satisfaction pour chaque micro-parcelle et chaque année. Dans les bilans annuels, le pilote doit relever les points marquants de l'année pour chaque système de culture dans son ensemble, chaque culture dans son ensemble et chaque culture de chaque système de culture.

B) Les bases de données de l'Observatoire Piloté

Les mêmes bases de données sont créées pour l'observatoire piloté excepté la base de données sur la satisfaction du pilote. Elles sont constituées des valeurs pour les 10 fermes chaque année, soit 50 lignes pour la base de données sol et 40 pour les bases de données IFT et rendement.

A partir des différents tableaux de satisfaction d'ITK, une base de données a été constituée regroupant les résultats à ces questionnaires pour chaque culture, chaque année et pour chaque ferme soit 10 fermes, 4 années de suivis et entre 0 à 2 légumes par ferme et par an.

V- Traitements des bases de données

A) Traitement des bases de données de la station expérimentale

Des analyses descriptives annuelles et pluriannuelles ont été réalisées pour certains indicateurs du sol, pour les rendements. L'analyse a été réalisée en observant l'évolution dans le temps des indicateurs ainsi que les valeurs moyennes prises par les indicateurs des 3 SdC. Pour éviter les redondances, des

analyses de corrélation deux à deux des variables ont été réalisées. Lorsqu'une corrélation était visible alors seule une des deux variables était gardée pour les analyses suivantes. Une analyse en composantes principales a ensuite été réalisée sur les données « indicateurs du sol » afin de décrire ces données dans leur globalité.

L'ensemble des analyses statistiques suivantes a été réalisé avec les logiciels Rstudio version 2024.4.1.748 et R version 4.2.2. Les packages suivants ont été utilisés pour les diverses analyses FactoMineR et Factoshiny (Lê et al., 2008 ; Vaissie et al., 2023), Readxl (Wickham et al, 2023), ggplot2 (Paroissin, 2021), rlang (Henry et al, 2022), nlme (Pinheiro et al, 2020), car (Fox et al, 2019), multcompView (Graves et al, 2019), knitr (Xie et al, 2022), dplyr (Wickham et al, 2022), magrittr (Milton et al, 2022), dunn.test (Dinno, 2017).

1) *Traitements statistiques de la base de données « sol »*

Des analyses statistiques ont été réalisées pour répondre aux 2 questions suivantes :

- Question 1 : Existe-t-il un effet du SdC sur la variable réponse année après année ?
- Question 2 : Existe-t-il un effet de l'année sur la variable réponse SdC par SdC ?

La première question permet d'étudier si les systèmes de culture se différencient vis-à-vis des indicateurs du sol chaque année. Croiser les analyses des différentes années permet d'étudier la chronologie de cette différenciation. La deuxième question permet de caractériser l'évolution des indicateurs du sol en fonction du temps dans les différents systèmes de culture.

Question 1 : Pour tester l'effet du SdC chaque année sur les indicateurs, on teste la pertinence d'un modèle mixte avec le type de SdC en facteur fixe et la culture en effet aléatoire par rapport à un modèle linéaire général. On peut, en effet, se demander si les différentes cultures impactent les indicateurs du sol. Notre objectif est de pouvoir généraliser à toutes les cultures, et non pas de s'intéresser à l'effet du SdC sur ces cultures spécifiquement. Le modèle le plus ajusté à nos données a été sélectionné pour chaque indicateur à l'aide du test de rapport de vraisemblance (LRT) du package lmerTest (Hothorn et al, 2022)

Les conditions de validité de l'analyse de la variance ont été vérifiées avec le test de Shapiro (Royston, 1982) pour la normalité des résidus et le test de Levene (Fox et al, 2019) pour l'homogénéité des variances des résidus. Quand les postulats de l'analyse de la variance étaient vérifiés, une ANOVA à un facteur (Chambers and Hastie, 1992), le type de SdC, a été réalisée. Lorsqu'une différence était observée, un test post-hoc de Tukey (Graves et al, 2019) a permis d'identifier quel SdC était différent des autres. Quand les conditions de l'analyse de la variance n'étaient pas remplies, le test non-

paramétrique de Kruskal-Wallis (Hollander and Wolfe, 1973) a été effectué à la place de l'ANOVA, suivi d'un test post-hoc de Dunn avec une correction de Bonferonni (Dinno, 2017).

Question 2 : Chaque culture a été présente sur 4 des 5 parcelles au bout des 4 ans. Les indicateurs sont mesurés sur les mêmes parcelles chaque année. Pour chaque indicateur, la pertinence d'un modèle mixte avec l'année en facteur fixe et la parcelle en facteur aléatoire par rapport à un modèle linéaire général avec l'année comme facteur fixe a été testée (en suivant le même raisonnement que pour la question 1). L'analyse a été menée de la même manière que dans la question 1, avec une ANOVA ou un test de Kruskal-Wallis avec l'année en facteur.

2) Traitements statistiques des autres bases de données

Les bases de données « Donnees_compil_rdt », et « Donnees_compil_Tps_W » ont été analysées en suivant la même méthode. Tout d'abord, le modèle général le plus complexe a été construit pour chaque variable avec comme facteurs fixes « SdC », « Culture », « année » et leurs interactions. Puis une procédure « step-wise » a été réalisée à l'aide de la fonction « step » (Becker, 1988). Le modèle avec l'AIC le plus faible a été conservé. Si l'un des facteurs fixe du modèle générale complexe ne se retrouvait pas dans le modèle avec le plus faible AIC alors ce facteur était testé en facteur aléatoire de la même manière que pour les données sol. Les rendements sont rapportés à la référence du réseau bio pour pouvoir être comparés entre les légumes. Les références du réseau bio proviennent du logiciel ORGALEG. Il s'agit d'un logiciel de prévision de fertilisation en maraîchage bio développé par la FRAB (Souillot 2014). La suite de l'analyse est semblable aux données sol.

Les données de satisfaction ont d'abord été représentées dans des diagrammes à bâtons puis des tests du Chi2 ont été réalisés.

3) Evaluation de l'atteinte des objectifs des Systèmes de culture de la station

Dans le projet SEFERSOL, l'évaluation des systèmes de culture est en partie réalisée via l'atteinte des objectifs du projet (Baelen 2017). La même analyse est réalisée dans le cadre de ce mémoire. L'atteinte de l'objectif de fertilité est déterminée par le rendement. L'objectif de la pénibilité est déterminé par le temps de travail et la satisfaction de la pénibilité et charge de travail. Le SdCref n'est pas évalué car considéré comme la référence auquel est comparé les deux SdC innovants.

B) Les données de l'observatoire piloté

1) Analyses des données quantitatives de l'observatoire piloté

Les différentes conditions de production des 10 fermes de l'OP ne permettent pas de réaliser des analyses des données sol sur les données brutes. Pour rappel, les dix fermes ne possèdent pas les mêmes systèmes de cultures, les mêmes cultures et les mêmes contextes pédoclimatiques. Avant

d'être analysées, les données sol ont été transformées en données delta afin d'observer l'évolution des indicateurs sous l'effet de la combinaison de leviers et non le reflet de l'historique des parcelles. Puis elles ont été analysées comme les autres bases de données de l'OP.

Les rendements de l'OP ont été analysés de la même manière que les données rendement de la station. Dans le cas de la station, les rendements de la station sont considérés comme le potentiel maximum de rendements dans ce contexte pédoclimatique. A l'inverse de la station, les données rendements rapportées à la référence du réseau bio des fermes ne peuvent pas être comparés à un système de référence puisque le dispositif expérimental de l'OP n'a pas été construit comme celui de la station. Nous avons donc fait le choix d'estimer qu'au-delà du seuil de 80 % de la référence ORGALEG, le rendement était considéré comme convenable. Le seuil de 80 % a été choisi, car selon les contextes pédoclimatiques les potentiels de rendement sont différents.

2) Analyses des données qualitatives de l'observatoire piloté

L'analyse des données qualitatives de l'OP a été réalisée par Kevin Morel chercheur à l'INRAE UMR Sadapt. A partir du jeu de données constitué à la suite des entretiens, différentes ACM ont été réalisées, des représentations graphiques des résultats et également des tests de χ^2 . Les tests de χ^2 ont pour but de déterminer s'il existe une association significative entre deux variables catégorielles. Par exemple : Est-ce que les fermes qui ont mis en place le levier « travail du sol très limité » ont davantage répondu « Moins » pour l'indicateur pénibilité du travail ?

Les réponses des entretiens des bilans annuels et pluriannuels des fermes ont été analysées via l'outil Nvivo avec une méthode d'analyse qualitative thématique (Elo & Kyngäs 2008) (Miles & Huberman 1994). Ce logiciel permet de regrouper des idées qui reviendraient plusieurs fois au sein des différents entretiens et de créer, de manière itérative, différents niveaux d'agrégation des idées. Ainsi, il est possible d'analyser ces agrégations et d'observer si certaines idées reviennent davantage dans les fermes ayant mis en place un levier en particulier.

Les résultats qualitatifs et quantitatifs de l'OP ne seront pas présentés dans ce document par manque de place et par souci de clarté. Ils ont été présentés aux techniciens tout comme ceux de la station lors du Comité Technique du 20 juin 2024. Seuls les résultats d'évaluation des systèmes de l'OP sont présentés.

VI- L'Intelligence collective comme outil d'analyse des résultats

L'objectif de l'observatoire piloté est d'expérimenter des combinaisons de leviers dans des conditions de production pour nuancer les résultats de la station, obtenus dans des conditions expérimentales peu représentatives du quotidien des maraîchers. Cependant, le dispositif expérimental de l'OP est

différent de celui de la station, empêchant l'analyse conjointes des données des deux dispositifs. Ce sont donc les résultats des analyses de données qui ont été croisés lors d'une journée d'animation mobilisant l'intelligence collective. L'intelligence collective est définie comme la mobilisation optimale des compétences individuelles à fin d'effet de synergies concourant à un objectif commun (Gréselle-Zaïbet 2007).

La journée d'animation a été organisée le 20 juin avec l'ensemble du comité technique du projet PER-SYST – maraîchage. Trois objectifs étaient à atteindre lors de cette journée. Les techniciens et la pilote devaient prendre connaissance des principaux résultats des deux dispositifs obtenus depuis le début de l'analyse. Le deuxième objectif était d'identifier les divergences et convergences entre OP et station et, enfin, de relever les grandes conclusions à retenir pour les deux dispositifs et à transmettre via les différents outils de valorisation prévus. Le paragraphe suivant décrit la méthode mise en place pour atteindre ces objectifs.

Les résultats de la station ont d'abord été présentés. Durant la présentation, chaque personne du comité technique devait noter les points qui lui semblait importants. A la fin de la présentation, ils avaient quelques minutes pour mettre au propre leurs constats. Leurs idées devaient être construites de la façon suivante : j'observe ... Et ... Car ... Cependant/mais Ils se sont ensuite regroupés par groupe de 3 pour présenter leurs idées et s'accorder sur trois idées principales qui leur semblaient primordiales dans les résultats. Ces trois idées ont été présentées au reste du COTECH. Des tours de table ont ensuite été réalisés pour s'assurer que l'ensemble des membres du COETCH approuvait ces idées. Le même dispositif a été mis en place pour les résultats des analyses de l'OP. De cette manière les résultats de la station ont pu être mis en parallèle de ceux de l'OP.

Résultats

L'ensemble des résultats obtenus par la méthode précédente est présenté dans cette partie ainsi que leur analyse. Les résultats quantitatifs et qualitatifs de l'OP ne sont pas présentés dans les détails par souci de place, seule une figure synthèse de ces résultats est présente. Dans cette partie, les résultats de la station seront expliqués par les propos de la pilote expérimentale de la station provenant des entretiens. Une synthèse est disponible en annexe. Ils seront également nuancés par les grandes conclusions des résultats des fermes de l'observatoire piloté obtenues lors de la journée du 20 juin. Les dires des techniciens et techniciennes et de la pilote sont cités entre guillemets et en italique.

I - Les données météorologiques des 5 ans

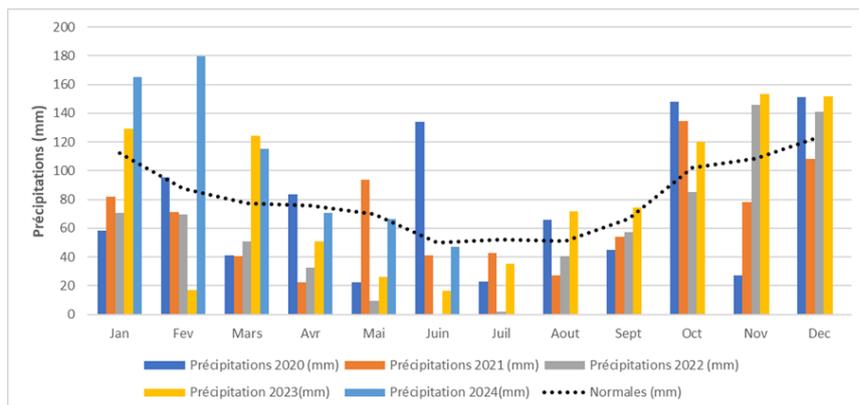


Figure 5 : Somme des précipitations par mois des 5 années d'expérimentation et précipitations normales

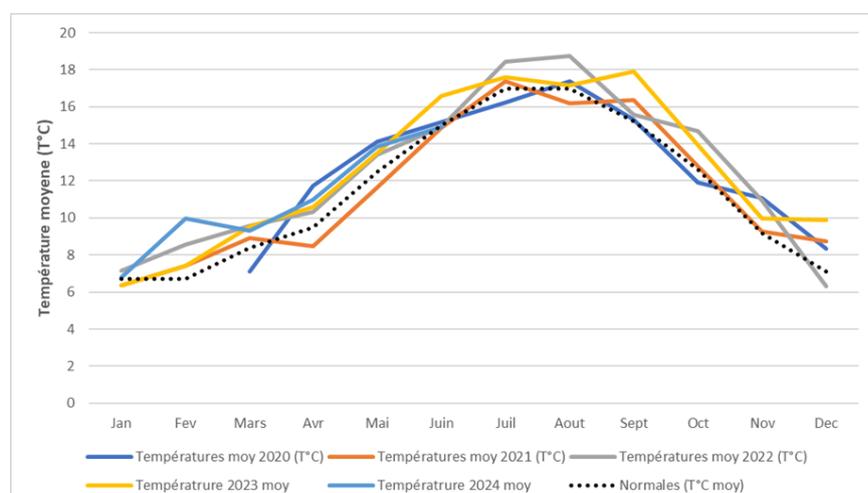


Figure 6 : Températures moyennes des 5 années d'expérimentation et valeurs normales

L'hiver 2020 a été sec. Le mois de juin 2020 a été pluvieux et une tempête a suivi en octobre. L'hiver et le début du printemps 2021 ont été secs et frais suivis d'un mois de mai pluvieux. Les températures ont été douces en septembre, suivies de précipitations importantes en octobre puis décembre 2021. L'année 2022 a été marquée par une sécheresse nettement installée dès le mois d'avril, avec une quasi-absence de précipitations de juillet à mi-août. Février 2023 est marqué par une sécheresse importante et les précipitations sont faibles au printemps. La température moyenne est supérieure aux normales toute l'année. L'automne 2023 a été particulièrement pluvieux et marqué par une tempête en novembre. Seules les données des 6 premiers mois de 2024 sont disponibles. 2024 est, avec ces données, l'année la plus pluvieuse des 5 ans du projet.

II- Identification des combinaisons de leviers favorisant la fertilité des sols

A) Effets des leviers de la station sur la fertilité

1) Analyses descriptives des résultats

Les figures de l'ACP sont disponibles dans l'annexe 2

Sur le graphique des variables, la dimension 1 explique 43 % de la variance et la dimension 2 explique 12 % de la variance. Les variables qui contribuent le plus à la dimension 1 du graphique des individus sont les concentrations en potasse, en phosphore, en matière organique et la minéralisation du carbone. Les variables contribuant le plus à la dimension 2 sont le rapport de la biomasse microbienne sur le carbone et la stabilité structurale. Sur le graphique des individus, les ellipses des SdC 1 et référence sont superposées et celle de SdC2 se détache vers la droite des deux autres. Si l'on superpose les deux graphiques, il semble que les valeurs pour les différentes variables prises par le SdC2 sont plus importantes que celles du SdC1 et ref. Ils semblent également que les valeurs prises par SdC1 et ref sont similaires pour les différentes variables agronomiques. Pour les années, l'ellipse de 2020 se détache des autres indiquant que les valeurs prises par les variables en 2020 diffèrent des autres années.

2) Analyses statistiques des données agronomiques

- Indicateurs physiques du sol

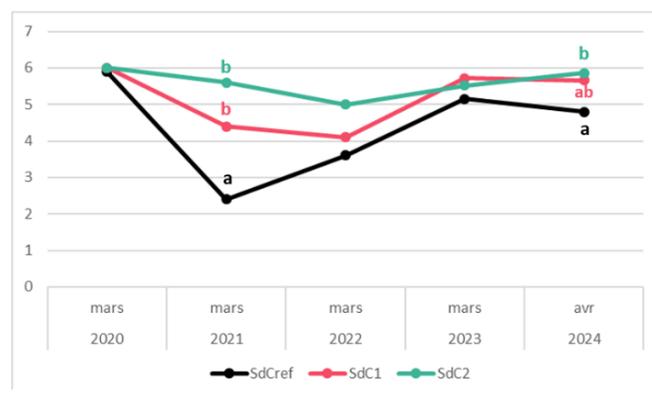


Figure 7 : Evolution de la Note ABSol du sol selon les systèmes de cultures

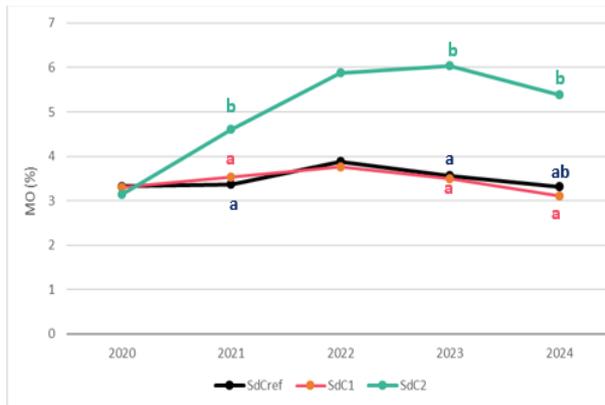
Sur la figure 7, on peut observer que la stabilité du sol chute pour le SdC1 et ref en 2021 et la note du SdCref est significativement inférieure à celle des deux autres systèmes. En 2024, on observe une note ABSol du SdCref significativement inférieure aux SdC2. Pour autant, la stabilité structurale des trois SdC reste dans l'ensemble stable.



Figure 8 : Evolution de la qualité structurale selon les systèmes de cultures (Test-bêche)

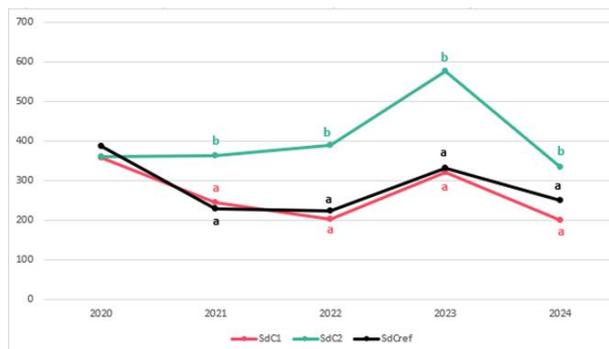
En 2024, les test-bêches (figure 8) n'ont pas pu être réalisés, car les sols n'étaient pas assez ressuyés. De manière globale, la qualité structurale est en augmentation dans les trois SdC. Les trois points en 2023 se retrouvent entre les notes de 25 et 30. Donc les trois SdC atteignent une qualité structurale du sol convenable au bout de 3 ans d'expérimentation selon le protocole.

- Indicateurs biologiques du sol



Sur la figure 9, on observe une augmentation du % MO beaucoup plus importante dans le SdC2 que dans les deux autres. Les courbes et tests statistiques montrent que SdC2 voit son % MO augmenter au début de l'expérimentation puis celui-ci stagne correspondant au seul apport massif de MO carbonée en T0, aucun autre apport de MO n'a été réalisé en dehors des engrais verts et résidus de culture.

Figure 9: Evolution du pourcentage de matière organique des sols selon les systèmes de cultures



La biomasse microbienne (figure 10) est significativement plus importante dans le SdC2 que dans les deux autres SdCs pour toutes les années d'expérimentation excepté en 2020. Pour autant, les trois courbes suivent les mêmes motifs, traduisant un effet année. Lorsque l'on ramène la biomasse microbienne au taux de carbone total (Figure 11), on exprime la capacité d'un sol à fabriquer la biomasse. Il n'y a pas de différence significative entre les SdC, ils suivent les mêmes motifs et il semblerait que cette évolution soit le reflet de la météo du site.

Figure 10: Evolution de la biomasse microbienne selon les systèmes de cultures en mgC/kg

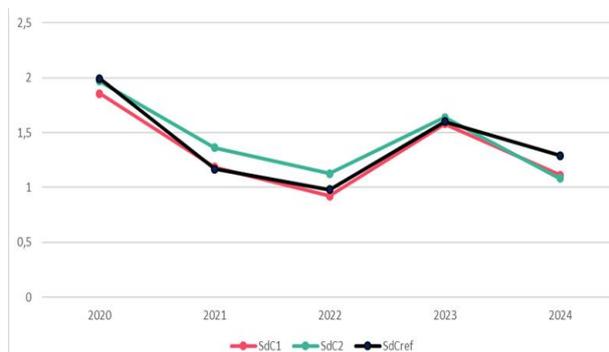


Figure 11 : Evolution de la biomasse microbienne rapportée en pourcentage du carbone total selon les systèmes de cultures

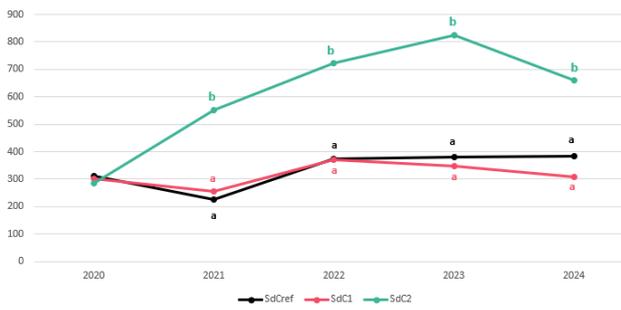


Figure 12 : Evolution du potentiel de minéralisation du carbone (mg/kg/28j)

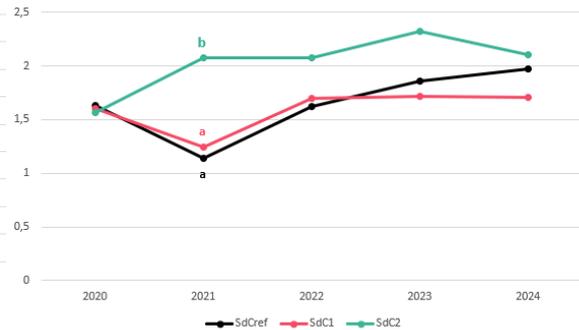


Figure 13 : Evolution de l'indice de minéralisation du carbone (%)

Le SdC2 présente une minéralisation du carbone presque deux fois plus importante que SdC1 et ref (figure 12). L'augmentation les premières années du SdC2 peut être expliquée par l'apport massif de MO carbonée en t0. Pour autant, si l'on rapporte le carbone minéralisé au carbone total (figure 13), la différence entre les trois SdC est significative seulement la deuxième année. Cela signifie que la proportion de carbone minéralisé est la même dans les trois systèmes si elle est rapportée à la quantité de carbone totale du sol.

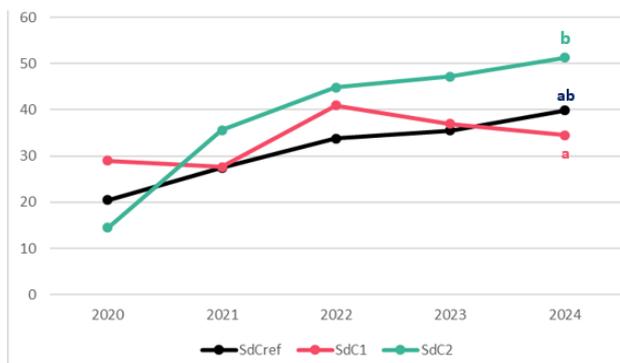


Figure 15 : Evolution du potentiel de minéralisation de l'azote (mg/Kg/28j)

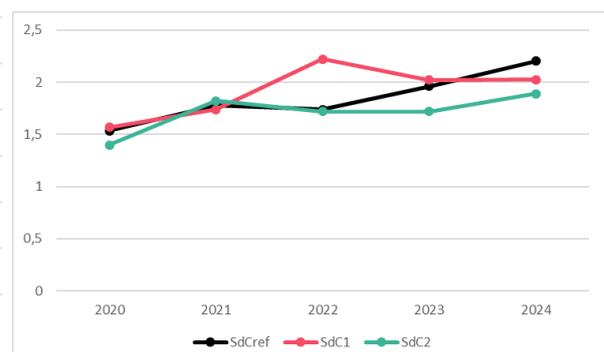


Figure 14 : Evolution de l'indice de minéralisation de l'azote (%)

La minéralisation de l'azote est équivalente les quatre premières années et la dernière année SdC2 a une moyenne significativement supérieure au SdC1. Tout comme pour le carbone, si l'on ramène l'azote minéralisé à l'azote total du sol il n'y a pas de différence significative entre les SdC indiquant qu'ils minéralisent la même proportion d'azote les uns par rapport aux autres

- Indicateurs chimiques du sol

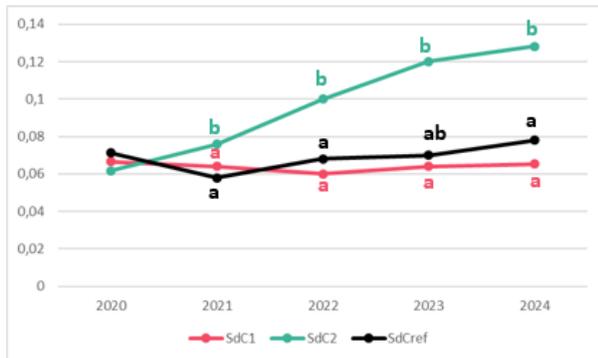


Figure 16: Evolution de la concentration en P2O5 - Olsen selon les systèmes de culture (g/kg)

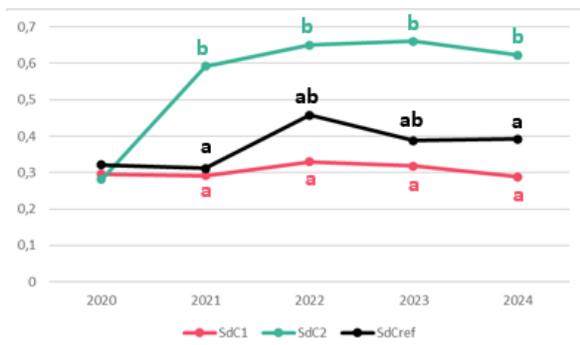


Figure 17 : Evolution de la concentration en K2O selon les systèmes de culture (g/kg)

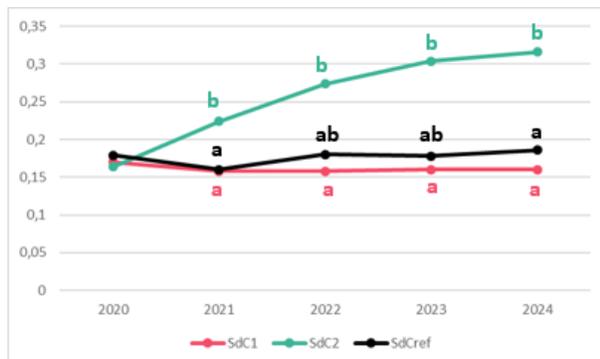


Figure 18 : Evolution de la concentration en MgO selon les systèmes de culture (g/kg)

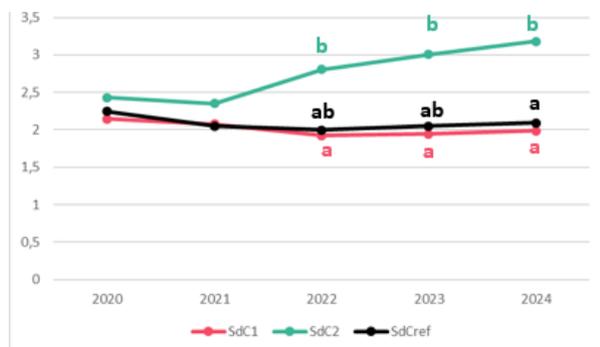


Figure 19 : Evolution de la concentration en CaO selon les systèmes de culture (g/kg)

Les 4 indicateurs du sol chimiques sur les figures 16,17, 18, 19 suivent les mêmes motifs, le SdC2 possède des moyennes significativement supérieures à celles du SdC1. SdCref en fonction des années et des indicateurs est ,soit significativement différent de SdC2 ou est non significativement différent des deux autres.

- Rendements et qualité des récoltes

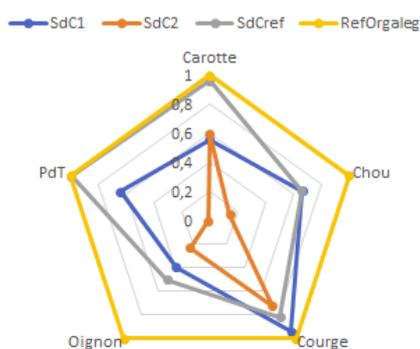


Figure 20 : Rendements moyens rapportés à la référence du réseau bio des 3 SdC

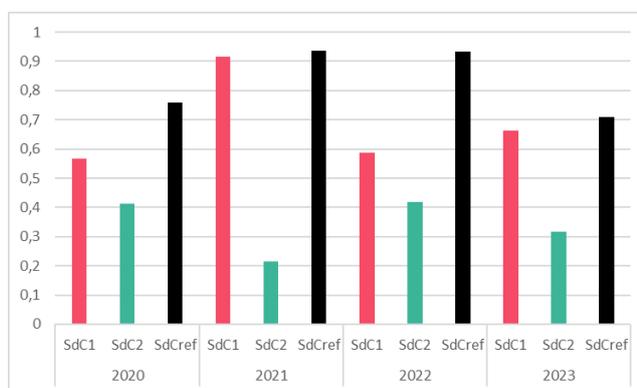


Figure 21 : Rendements moyens tout légumes confondus ramenés à la référence du réseau bio en fonction des années et des SdC

Les rendements du SdC2 sont significativement inférieurs aux rendements des deux autres SdCs. Année après année, les rendements du SdC2 sont inférieurs à ceux des deux autres systèmes. Le système de référence possède les rendements moyens les plus élevés chaque année. On peut supposer que les rendements du système de référence représentent le rendement maximal potentiel que les deux autres systèmes innovants auraient pu atteindre, car il utilise des techniques déjà validées pour leur efficacité par les maraîchers du grand ouest. Par conséquent, les variations de rendement du système de référence reflètent les pressions des bioagresseurs et les aléas climatiques.

3) Analyse globale

Les indicateurs physiques, biologiques et chimiques du sol des systèmes innovants sont satisfaisants après 4 années d'expérimentation. Le SdC2 se distingue des deux autres avec une meilleure résistance à l'érosion si l'on se réfère aux tests bêches. Une meilleure activité biologique est observée dans le SdC2, mais ramenée à la MO totale, elle est équivalente aux deux autres systèmes. En se fiant seulement aux indicateurs du sol, les leviers des deux systèmes permettent de maintenir la fertilité des sols.

Cependant, la définition de la fertilité du projet PERSYST - maraîchage est la capacité d'un sol à fournir des rendements. Si l'on applique cette définition, les leviers du SdC2 ne permettent pas de maintenir

la fertilité des sols. En effet, les rendements du SdCref sont considérés comme le potentiel maximum de rendement de ce contexte pédoclimatique. Les rendements du SdC2 sont statistiquement inférieurs au SdCref. Ainsi, des bons indicateurs de sol ne sont pas synonyme de bons rendements. Les mauvais rendements du SdC2 peuvent être expliqués par plusieurs facteurs.

Plusieurs cultures ont échoué dans le SdC2 notamment les pommes de terre et les choux. Chaque année, ces cultures étaient menées jusqu'à la fin, mais ne donnaient pas de rendement, excepté en 2020. C'est en 2020 que les rendements du SdC2 sont les meilleurs si on les rapportent aux rendements de référence. On peut faire l'hypothèse qu'en 2020, les cultures bénéficiaient de l'effet de la prairie et de l'apport massif de MO carbonée qui ont été enfouie. Les autres années la fertilisation du système se limitait à l'apport massif de compost de déchets verts sur les carottes et les couverts et engrais vert broyés sur place, mais non enfouis. La couverture des engrais verts n'a pas été estimée, mais nous savons que les trèfles semés dans les choux ne se sont jamais développés durant les 4 ans et les dates de destruction des couverts n'ont pas toujours permis une dégradation de l'EV coïncidant avec les besoins des cultures. Il semblerait qu'en-dehors de 2020 la fertilisation sur les parcelles du SdC2 n'a pas été suffisante pour permettre le bon développement des légumes. De plus en condition de non-travail du sol, les sols se réchauffent plus lentement.

Le cadre expérimental n'a pas permis un réajustement des situations puisque l'absence du travail du sol était stricte. La pilote explique que les bâches et paillage ne permettaient pas une gestion des adventices optimale en condition d'absence de travail du sol. Les bâches ne peuvent être plaquées au sol avec les mottes de terre et les adventices peuvent se développer. Les cultures du SdC2 ont été concurrencées davantage par les adventices que les cultures du SdC de référence. La pilote estime qu'il aurait été nécessaire de commencer sur une parcelle propre ayant été travaillée en amont afin d'avoir une bonne qualité de sol dès le début. De plus, les pratiques du SdC2 ont engendrées un tassement du sol visible par la pilote expérimentale mais non traduite dans les résultats des tests-bêches. Ce tassement a limité l'infiltration de l'eau dans le sol et la réserve utile. Ainsi ce système de culture était plus dépendant à la météo selon la pilote expérimentale et a nécessité davantage d'irrigation que les autres SdC. Enfin, les températures du sol mesurées dans le SdC2 sont inférieures aux deux autres, impactant les besoins des cultures.

Contrairement au SdC2, les leviers du SdC1 ont permis de fournir des rendements similaires à la référence et semblent permettre le maintien de la fertilité des sols. Le levier « herbe fertilisante » semble constituer une substitution à la fertilisation d'origine animale.

B) Effets des leviers des fermes de l'OP sur la fertilité

1) Synthèse des résultats de l'OP

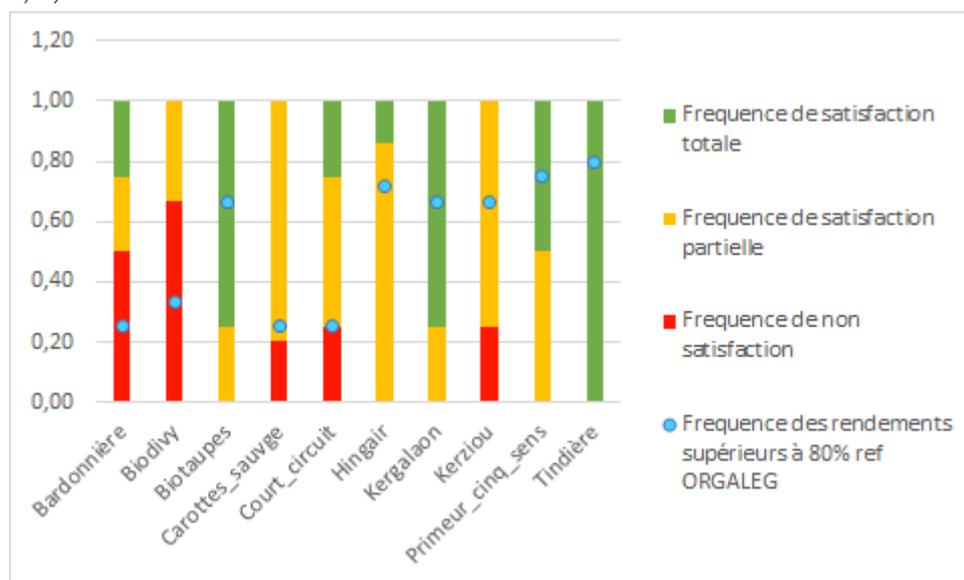


Figure 22 : Répartition des réponses de satisfaction globale de chaque ferme superposée à la fréquence des rendements supérieurs à 80% de la référence ORGALEG

Les fermes avec les rendements les plus importants ont des notes de satisfaction les plus fortes. A l'inverse, les fermes avec des rendements faibles montrent une satisfaction moindre. La seule exception est la ferme de Kerziou avec des fréquences de rendements supérieures à 80 % de la référence ORGALEG mais le producteur ne semble pas satisfait.

2) Comparaison des effets des leviers sur la fertilité entre la station et l'Observatoire Piloté

Toutes les fermes ont des qualités de sol satisfaisantes du point de vue des indicateurs du sol. Très peu d'indicateurs ont des valeurs significativement différentes selon les leviers utilisés dans la ferme. Lorsque c'est le cas, pour la moitié des indicateurs cette différence significative peut être expliquée par une anomalie dans les données. Il n'existe pas de différence statistique de rendements ramenés à la référence ORGALEG en fonction des fermes de l'OP. Les satisfactions des producteurs concernant les rendements ne diffèrent pas non plus. Donc dans l'OP, les performances agronomiques ne sont pas liées aux pratiques mises en place, mais davantage aux pressions des bioagresseurs et climat selon les producteurs.

La ferme Biotaupes est celle qui ressemble le plus au SdC2 avec un travail du sol très limité et sa stratégie d'apport de MO est basée seulement sur les couverts et un apport de compost de déchet vert datant de 2016. Contrairement aux SdC2, la ferme réalise de bon rendement, 67 % de leurs récoltes sont supérieures au seuil de 80% de la référence ORGALEG. Donc la gestion de la fertilité et/ou des bioagresseurs par les couverts, un travail du sol très limité et des apports de compost de déchet

vert est possible. Ces leviers étaient déjà mis en place sur la ferme avant le début du projet PERSYST-maraîchage, permettant au producteur d’acquérir une bonne maîtrise de ces leviers contrairement à la pilote qui a dû passer par une phase d’apprentissage. De plus dans son bilan pluriannuel, il appelle à la vigilance sur la qualité du sol sur lequel un ITK en non-travail du sol est commencé : « *Ne pas faire de transition brutale de travail du sol à non-travail du sol* » et s’autorise à travailler son sol si nécessaire « *Il faut se garder la possibilité d’intervenir sur un travail du sol pour être rassuré techniquement et psychologiquement* »

Il n’existe pas de ferme de l’OP avec exactement les mêmes leviers que le SdC1. La ferme de Kergalaon est en « travail du sol classique » et « apport herbe fraîche » et comme le système de la station, ils ont des rendements satisfaisants de l’ordre de 67 % au-dessus du seuil de 80 %. La ferme de Kerziou à les mêmes leviers que le SdC1 avec en plus des apports de fumier d’âne et possède aussi des bons rendements avec le même pourcentage que Kergalaon. La première année, le producteur de Kergalaon n’avait pas enfoui l’herbe et a eu la sensation que la tomate a manqué de nutriments confirmés par la mauvaise dégradation de l’herbe. La deuxième année, après avoir incorporé, il était très satisfait de la structure de son sol et des rendements.

D’une autre manière la ferme de Biodivy en travail du sol très limité, « apport de BRF » et « apport d’ensilage herbe » n’a eu que 25 % de rendement au-dessus du seuil de 80 %. Ainsi l’effet d’un même levier « Apports MO verte » sur la fertilité varie d’une ferme à une autre.

III- Influence des leviers sur la pénibilité physique et mentale

A) Effets des leviers sur la pénibilité physique et mentale dans le cadre de la station

1) Analyses des indicateurs socioéconomique

- Temps de travail

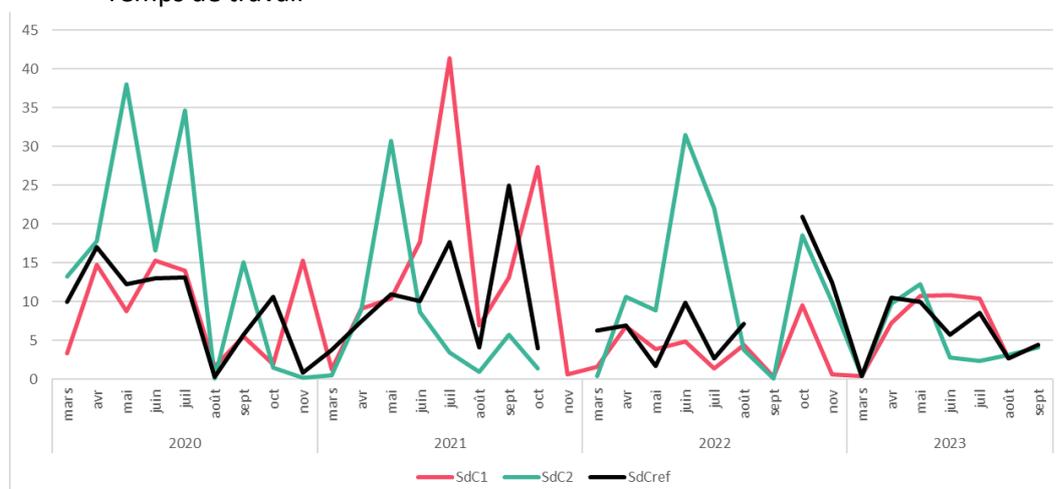


Figure 23 : Evolution du temps de travail total mensuel moyen toutes cultures confondus dans chaque SdC (h/180m²)

Le temps de travail est réparti entre les mois de mars à octobre/novembre pour l'ensemble des SdC. Le SdC2 compte 5 pics à plus de 20 heures de travail par mois. Le SdC1 en compte 2 tout comme celui de référence. C'est en 2021 qu'il y a le plus grand nombre de pics tout systèmes confondus. En SdC2, les pics en Mai, Juin, Juillet sont principalement dus à des chantiers de désherbage manuel puis dus au paillage dans une moindre mesure. Par exemple, en mai 2021, 24 heures ont été consacrées au désherbage manuel des carottes. Pour les autres SdC, c'est le même fonctionnement, les pics au Printemps/début Eté correspondent à des grands travaux de désherbage manuel et ceux à l'automne correspondent aux récoltes.

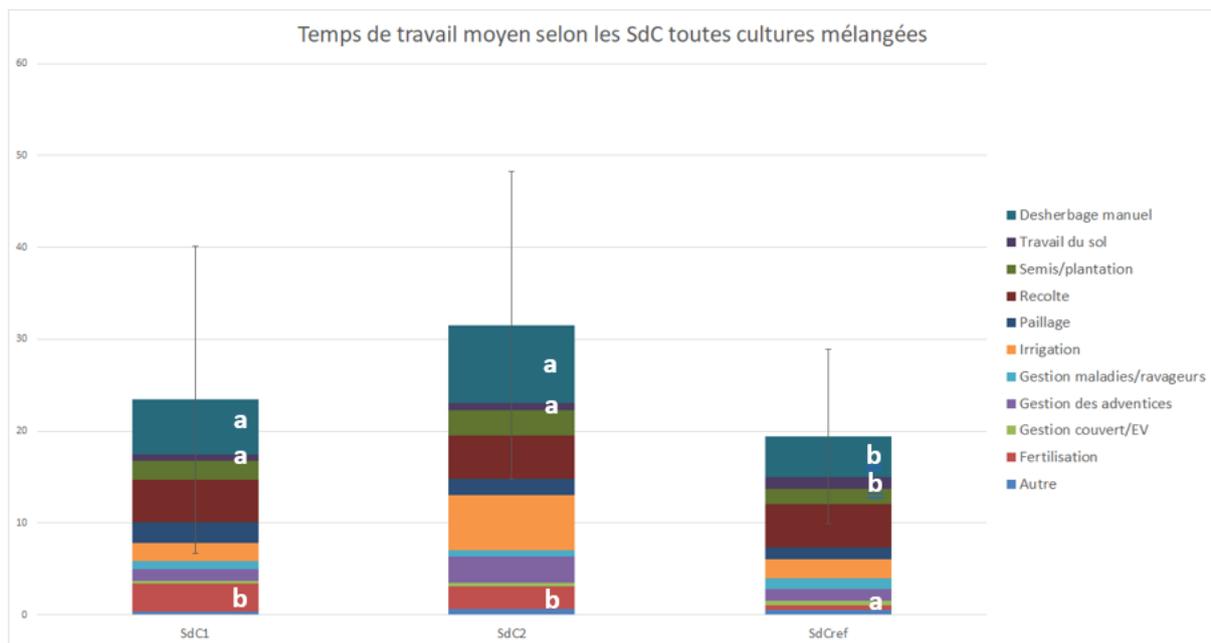


Figure 24 : Temps de travail moyen toutes cultures confondues par système de culture (h/180m²). Les lettres correspondent aux résultats des tests post hoc.

D'après la figure 24, il n'y a pas de différence significative de temps de travail selon les SdC. Une grande variabilité est observée d'une année à l'autre et d'une culture à une autre. Le système 2 est particulièrement sensible à ces variations annuelles, révélant l'impact des aléas climatiques et de la pression des bioagresseurs sur l'organisation du travail lorsque ses leviers sont mobilisés. Cela est confirmé par la pilote dans le bilan de 2022 à la suite de la sécheresse.

Seuls 3 types d'intervention ont des sommes de temps de travail moyen significativement différentes selon les SdCs. Il s'agit du temps de travail accordé au « travail du sol », celui dédié au « désherbage manuel » et à la « fertilisation ». Les temps de travail dédiés au sol dans les deux systèmes innovants sont significativement inférieurs à la référence, c'est le reflet des choix des leviers réalisés au début de l'expérimentation. Le travail du sol réduit permet de manipuler des outils plus légers que le système de référence et de diminuer le temps de travail accordé. Dans le SdC2, la compaction du sol est plus

importante et engendre une plantation des légumes compliquée notamment après une culture bâchée « *La plantation était difficile dans une terre très compactée* ». Diminuer le travail du sol permet de limiter la charge de travail, mais peut augmenter la compaction du sol et donc la pénibilité liée à la plantation. Concernant le désherbage manuel, le temps de travail qui lui est accordé est significativement plus important dans le SdC1 et 2 que dans le système de référence.

Le temps de travail dédié à la fertilisation moyen est significativement plus important dans le SdC1 et 2 que dans le SdCref. Les interventions dédiées à la « Fertilisation » dans le SdC2 se concentrent sur la culture de la carotte permettant de diminuer le nombre d'intervention consacré à la fertilisation dans le SdC2. La première année, le compost a été apporté sans épandeur, engendrant un temps de travail considérable. Un épandeur a été acheté en 2021 permettant de réduire le temps consacré à l'apport massif de compost de DV. L'année suivante, celui-ci est tombé en panne engendrant un temps important. L'épandage de compost peut être une intervention longue, notamment en absence d'outils adaptés. De plus, l'utilisation de compost de déchet vert participe à rendre ce système dépendant à l'irrigation. En effet, le tassement du sol sur les micro-parcelles SdC2 ne permet pas une bonne infiltration de l'eau ni de maintenir une très grande réserve utile. Ainsi, la pilote consacre le plus de temps à l'irrigation dans le SdC2 par rapport aux autres SdCs. Pour l'ensemble des années, elle mentionne que la culture de carotte du SdC2 est « *très dépendante de l'irrigation* », qu'« *il est très compliqué sans arrosage de trouver le bon créneau pour semer* » et que cela représente « *une grosse contrainte liée à l'arrosage* ». C'est pourquoi la parcelle PERSYST-maraîchage n'étant pas irriguée, la pilote a arrosé les cultures en apportant une tonne à eau.

L'herbe fertilisante rajoute également une charge de travail par rapport à la référence. Les interventions répertoriées dans les cahiers de cultures étaient celles réalisées sur les parcelles. Les fauches et les semis réalisés dans les prairies n'ont pas été répertoriés dans ces derniers. Ainsi l'ensemble du temps dédié à la fertilisation du SdC1 est minimisé. Il représente une plus grande proportion du temps de travail total, environ 10 % du temps de travail total dans le SdC1 contre 6 % en SdC2 et 3 % en SdCref. D'après la pilote, l'herbe fertilisante engendre un stress et une charge mentale supplémentaire lors d'une période très chargée puisque son épandage, fin mai début juin, coïncide avec les pics de production. La pilote considère que cette approche nécessite un apprentissage pour acquérir des compétences supplémentaires à celle d'un maraîcher notamment à propos des stades de fauches, de la forme de l'apport (foin, ensilé, enrubanné) et la quantité nécessaire pour obtenir la valeur fertilisante appropriée à la culture ciblée. Dans le cadre de l'expérimentation, la pilote n'était pas équipée pour enfouir correctement l'herbe coupée, « *Beaucoup de passages ont été nécessaire pour enfouir l'herbe* ». Ce manque d'outillage contribue à augmenter la pénibilité physique ressentie par la pilote.

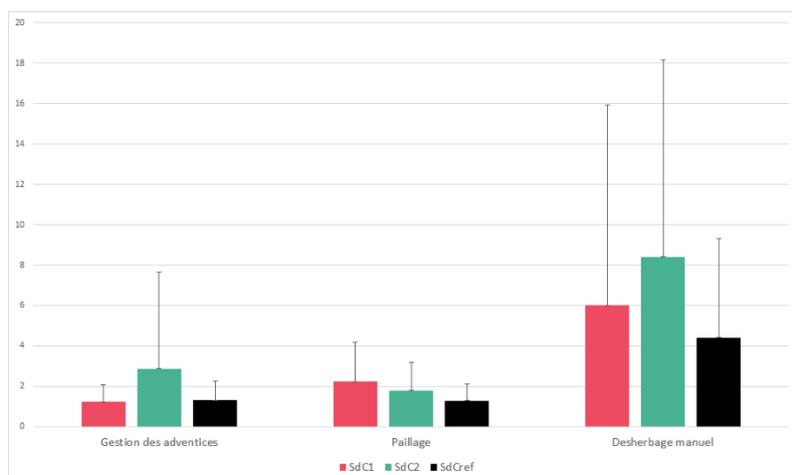


Figure 25 : Temps de travail moyen accordé à la gestion mécanique des adventices, au paillage et au désherbage manuel selon les SdC (h/180 m²)

Les trois indicateurs choisis dans la figure 25 permettent de comparer l'efficacité des leviers choisis pour la gestion des adventices. La gestion mécanique des adventices et le paillage ne montrent pas de différence significative entre les SdC. Ainsi les efforts consacrés à la gestion des adventices représentent la même charge de travail. Il existe une différence significative entre les SdC pour l'indicateur désherbage manuel. Le temps consacré au désherbage manuel dans le SdCref est significativement inférieur au temps consacré dans les deux autres SdC. En effet, le travail du sol est un levier majeur en AB pour la gestion des adventices. Pour limiter le temps consacré au désherbage manuel dans les SdC innovants, les leviers de paillage plastique et organique ont été mobilisés. Cependant, leur effet a été contraire à ce qui avait été prévu. Au contraire même, le paillage, plastique ou organique, était un des leviers censés permettre la maîtrise des adventices dans le SdC2 mais il a plutôt contribué à augmenter la pénibilité. En effet, en condition de « non-travail du sol », les mottes de terres sont trop grosses et ne permettent pas de plaquer correctement la bâche. Ainsi, les adventices peuvent se développer malgré le levier mis en place. De plus, il est davantage pénible de désherber en présence d'une bâche d'après la pilote. De la même manière, si le paillage organique n'est pas suffisamment épais, les adventices se développent et c'est d'autant plus compliqué pour la pilote de désherber. L'installation manuelle du paillage, paille ou foin, est jugée « chronophage », engendrant une « plantation plus longue et décourageante » concernant les oignons et provoque de la poussière. L'utilisation de bâche tissée participe à la pénibilité ressentie, que ce soit lié à son installation ou à son arrachage. Il y a une prise au vent très importante qui oblige une fixation renforcée qui est chronophage. Son installation nécessite d'être à plusieurs pour réduire sa pénibilité limitant sa reproductibilité dans des fermes ou il n'y a qu'un seul maraîcher.

- Satisfaction des SdCs

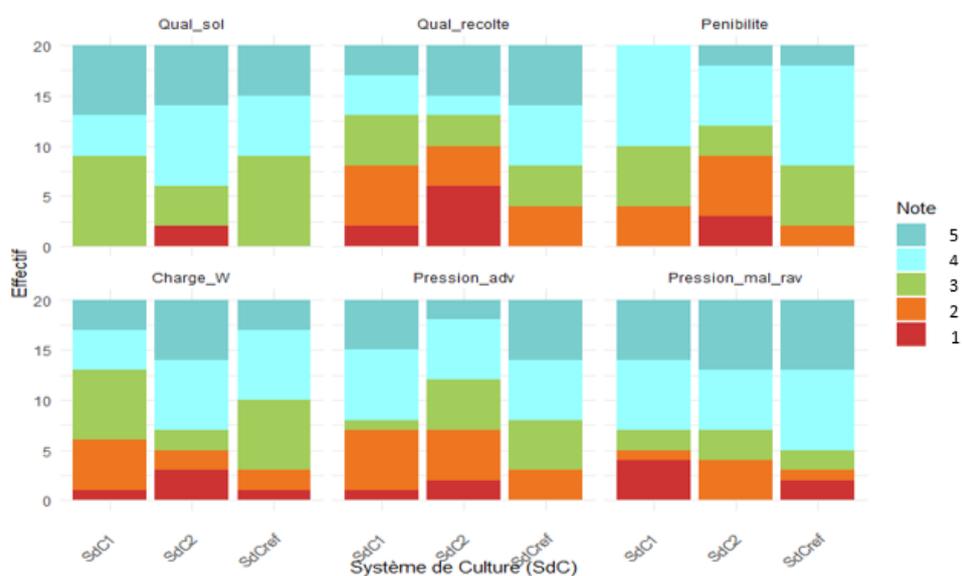


Figure 26 : Notes de satisfaction selon les indicateurs et les systèmes de culture

Pour l'ensemble des indicateurs de satisfaction de la figure 26, les tests du chi2 ne sont pas significatifs selon les SdC. Il existe une différence significative entre les notes de satisfaction globales du SdC2 et des autres SdC (figure 27).

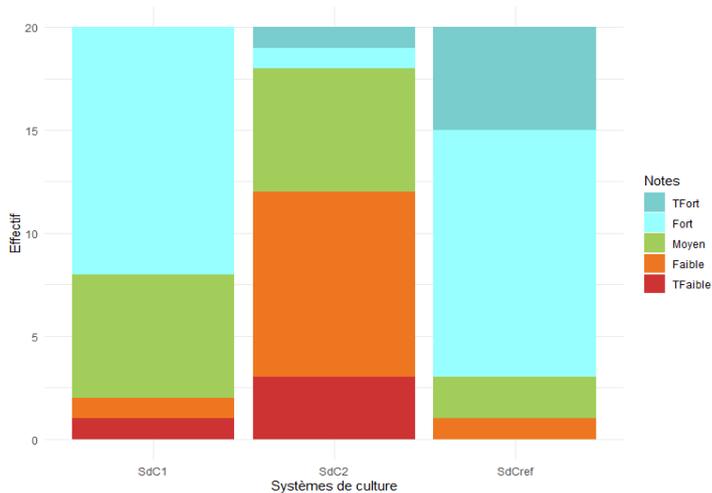


Figure 27 : Notes de satisfaction globales selon les systèmes de culture

La satisfaction de la pénibilité et de la charge de W ne diffère statistiquement pas entre les SdC. Pour autant, il y a plus de réponses négatives dans le SdC2 concernant la pénibilité, mais contrebalancé par davantage de réponses très positives que dans le SdC1. Ainsi, la pénibilité ressentie par la pilote, qu'elle soit physique ou mentale, semble équivalente entre les trois systèmes avec les données

quantitatives du projet. Les entretiens nous permettent d'expliquer ces pénibilités, mais pas de définir si un système est plus pénible qu'un autre.

B) Différence d'impact des leviers sur la pénibilité entre la station et l'OP

A l'inverse du SdC2 de la station, le levier « travail du sol très limité » limite la charge de travail, les pics et la pénibilité physique et mentale. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer cette différence. Les maraîchers de l'OP pratiquant un travail du sol très limité mobilisaient déjà ce levier sur leurs fermes avant PERSYST-maraîchage. Ils n'ont pas eu besoin de passer par la phase d'apprentissage qui a été nécessaire à la pilote. Ils ne s'interdisent pas non plus de travailler le sol s'ils font face à une impasse technique. 5 agriculteurs sur 10 ont estimé dans le rapport final qu'« *il est parfois nécessaire de déroger à ces principes pour des situations précises* ». On peut également supposer qu'ils ont choisi une rotation avec des cultures qui étaient adaptées au non-travail du sol. Enfin, Pour commencer en non-travail du sol, il faut s'assurer d'avoir « *une bonne porosité, structure et activité du sol [...] quitte à avoir du travail du sol au début* » et une parcelle pas trop sale. Les conditions de départ de la station n'étaient pas optimales pour que l'absence ou la réduction du travail du sol réduisent la pénibilité mentale et physique.

Pour autant, le levier « travail du sol limité » engendre une charge de travail, des pics et une pénibilité physique et mentale plus importantes pour les maraîchers. La différence de pénibilité ressentie entre ces deux leviers peut être expliquée par différentes hypothèses. Les données temps de travail ne sont pas exploitables pour en tirer des conclusions globales. Cependant, on peut faire l'hypothèse que les maraîchers en « travail du sol très limité » passent moins de temps à travailler leur sol que les fermes en « travail du sol limité », ils passent également moins de temps à atteler aux tracteurs de lourds outils. Cela peut participer à réduire la pénibilité.

L'ensemble des fermes en travail du sol limité mobilise également le levier « apport MO verte ». Le levier « Apport de MO verte » dans l'OP est considéré comme engendrant une charge et des pics de travail, une charge mentale et une pénibilité physique supplémentaire par rapport à leurs pratiques antérieures (bouchon, fumier). Donc, l'effet du levier « travail du sol limité » sur la pénibilité et la charge de travail peut être seulement le reflet de la pénibilité ressentie avec le levier « Apport de matière verte » ou bien la combinaison des deux leviers.

Tout comme la pilote, les producteurs de l'OP estiment que les apports de MO verte nécessitent de l'équipement spécifique qui coûte cher, de la surface disponible supplémentaire et estiment que l'épandage est pénible. Ils se questionnent sur le moment optimal de fauche, sur le type d'apport (foin, enrubannage, ensilage, frais) pour obtenir la valeur fertilisante appropriée à la culture ciblée. La ferme de Kerziou a abandonné ce levier pendant l'expérimentation, car a jugé l'apport d'herbe trop

chronophage et pénible bien que satisfaisant d'un point de vue de la structure du sol et de la production. Ainsi, l'indicateur fertilité des sols seul n'est pas suffisant pour indiquer la viabilité d'une production.

Au contraire, certains producteurs semblent satisfaits malgré une pénibilité supplémentaire. La ferme de la Bardonnière a fait le choix de planter ses choux sur foin. La ferme est en travail du sol limité et apport de MO verte via le foin. Bien que l'épandage et la plantation aient été jugées pénibles, ils estiment que cela leur a permis de limiter les pics de travaux liés au binage et au désherbage permettant de gagner en souplesse d'organisation. De plus, il peut épandre seul alors que le compost nécessitait d'être à deux pour l'épandage. La ferme du Hingair utilise de l'enrubannage de luzerne sur ses cultures et trouve un équilibre entre pénibilité et bénéfice lié à ce levier. La luzerne réchauffe le sol plus vite que le foin, contient plus d'azote, l'enrubannage permet de prédigérer et de constituer « une bombe bactérienne » ce qui permet de compenser un épandage pénible, long et lourd. De plus, cela lui permet d'être autonome en matière fertilisante. De cette manière, les producteurs peuvent être satisfaits d'une charge de travail supplémentaire ou une pénibilité associée plus importante si cette dernière est anticipée ou s'ils estiment que le bénéfice en contrepartie est intéressant pour eux.

Les critères de rendement et de pénibilité ne suffisent pas pour évaluer la viabilité d'un système. La durabilité d'un système semble dépendre des convictions de chaque agriculteur, de leur perception et leur acceptation de la pénibilité. Pour s'affranchir des perceptions différentes des producteurs, la satisfaction globale est un indicateur à prendre en compte en plus de la pénibilité et la fertilité des sols.

IV- Impact des leviers sur l'atteinte des objectifs du projet PERSYST - maraîchage

Ainsi, les leviers mobilisés dans le SdC1 permettent de maintenir la fertilité et semblent maintenir également la pénibilité dans sa globalité. A l'inverse, les leviers mobilisés dans le SdC2 ne permettent pas de maintenir la fertilité, mais la pénibilité globale de ce système ne semble pas augmenter. L'atteinte des objectifs du projet pourrait être résumée dans le tableau 5.

Tableau 5 : Atteintes des objectifs du projet

	Fertilité des sols = rendement	Contrôler la pénibilité mentale et physique
SdC1		
SdC2		

Le SdC1 semble remplir majoritairement les objectifs du projet alors que le SdC2 ne les remplit pas dans les conditions de la station expérimentale. Pour le SdC1, la pilote estime qu'avec des outils adaptés et une surface suffisante de prairie, le système pourrait être généralisable. Au contraire, la pilote juge que même avec des outils adaptés, le SdC2 ne pourrait être généralisable, car les rendements ne sont pas suffisants, que la consommation de déchets végétaux compostés et de pailles très importantes rend la station dépendante de son environnement et elle juge impossible de faire une telle utilisation de la bâche sur une grande surface. Cela se traduit dans les notes de satisfaction globale des SdCs. La notes de satisfaction globale du SdC2 est inférieure à celle du SdC1.

De manière générale, les fermes de l'OP mobilisant les leviers « Apport vert » et « travail du sol limité » ont obtenu des rendements variables, une pénibilité plus importante et une satisfaction variable. Les fermes mobilisant les leviers « travail du sol très limité » et « apports carbonés » ont eu des rendements variables, une pénibilité plus faible et une satisfaction variable.

Discussion

I - Quelles perspectives pour les leviers testés dans PERSYST-maraîchage chez les maraîchers du grand ouest ?

A) Les leviers du SdC1

Un essai a été mené pendant 5 ans sur l'espace test agricole biologique Biopousses en Normandie (Cahu *et al.* 2024). L'essai avait pour but d'étudier l'intégration d'un mulch d'herbe dans les itinéraires techniques. Les résultats du SdC1 diffèrent partiellement de ceux obtenus lors de l'essai de Biopousses. De la même manière, les rendements et l'activité biologiques sont maintenus dans le SdC1. Cependant, dans le SdC de PERSYST maraîchage, le temps de désherbage augmente par rapport aux SdC de référence alors que celui-ci est limité par l'apport de mulch d'herbe dans l'essai de Biopousses. Cela peut être expliqué par le fait que l'herbe est incorporée sur la microparcelle PERSYST alors que le sol reste couvert par un mulch à Biopousses (Cahu *et al.* 2024).

Il a été mentionné, de nombreuses fois, par les producteurs que l'entretien (semis, fauche) des prairies pouvait être confié à une Entreprise de Travaux Agricole (ETA) pour contrôler la pénibilité du producteur. La ferme de Kergalaon explique « C'est un ITK plus chronophage et qui ajoute une charge mentale donc il ne faut pas chercher à tout faire de A à Z et ne pas hésiter à déléguer ». Plusieurs agriculteurs jugent qu'apporter de l'herbe fertilisante sur 1 ha nécessite 2 à 5 ha de fauche ou de prairie selon les apports. Le levier herbe fertilisante déplace le problème puisque la question de l'entretien de la fertilité de la prairie de fauche se pose aussi. L'idéal serait d'intégrer la prairie directement dans la rotation comme a pu le faire la ferme « Primeur des 5 sens ». Le maraîcher semble être satisfait des rendements et de la pénibilité, mais l'intégration de couvert long dans sa parcelle représente un

investissement notamment pour le matériel mais également une prise de risque économique puisque aucun revenu n'a été dégagé pendant deux ans sur la surface en couvert long. Dans une étude, le CFPPA de Coutance réalise des bilans humiques et azotés d'une ferme fictive qui intégrerait une prairie avec exportation de biomasse. Selon leurs estimations, malgré l'exportation de biomasse lors des fauches, la prairie libérerait presque suffisamment d'azote lors de sa destruction pour satisfaire les besoins des cultures suivantes. Les résultats du maraîcher de l'OP confirment leurs calculs. Cependant, une étude plus longue que 5 ans est nécessaire pour tirer de réelles conclusions sur ce levier qui semble prometteur. De la même manière que pour les prairies de fauche d'herbe fertilisante, ils estiment que seule les fermes d'une certaine surface pourraient mettre en place ce levier. Enfin, tout comme la pilote, il pense que des études supplémentaires sont à réaliser pour affiner le choix des espèces, les techniques de destruction, de récolte et de transfert (Association Biopousses 2023). En travail du sol limité, la prairie peut être détruite puis suivie d'une culture dérobée entre la prairie et la culture suivante pour limiter les repousses (Moquet *et al.* 2022). Pour enfouir l'herbe fertilisante dans des conditions de travail du sol limité, des outils modifiés ou adaptés (auto-construction) pourraient être utilisés.

B) Les leviers du SdC2

Dans l'ensemble, les résultats du SdC2 sont similaires au projet SEFERSOL puisque le système avec un travail du sol réduit et l'utilisation de paillage possède des rendements légèrement inférieurs à la référence. Ils expliquent cette différence par la présence du paillage engendrant une mauvaise germination des graines, mais favorisant également la prédation des limaces (Roux *et al.* 2021). Cette prédation de limaces est aussi retrouvée dans le SDC2, puisque c'est dans ce système que l'on retrouve le plus l'utilisation de molluscicide notamment en 2023, où l'ensemble des remarques sur les attaques de limaces concernent le SdC2 : « *Jamais vu autant* » ; « *attaque de limaces sur les plans malgré anti-limace* ». Enfin, le système équivalent aux SdC2 présente un temps de travail plus important, mais un temps de travail pénible plus faible que la référence.

L'ensemble des maraîchers en travail du sol très limité conseille d'adapter le travail du sol selon les légumes, d'être souple dans le non-travail du sol si la gestion d'adventice se complique et avoir une parcelle propre pour débiter en non-travail du sol. Dans la même logique, la ferme de la Bardonnière cherche à travailler son sol le moins possible, mais a acheté un cultirateur qu'il s'autorise à passer pour gagner en ergonomie lors de l'implantation. D'autres techniques peuvent être utilisées pour faciliter l'implantation dans un sol peu travaillé ou avec paillage selon les agriculteurs : utiliser des plants plutôt que des graines, utiliser un strip till pour la plantation, réaliser un travail léger à la herse. La mécanisation pourrait être également utile pour l'épandage de foin et de paille. Ainsi, un des leviers

essentiels à actionner pour limiter la pénibilité serait la mécanisation, mais cela représente un investissement que toutes les fermes ne sont pas capables de faire étant donné leur petite taille.

II- Limites de l'étude

A) Limites du projet PERSYST-maraîchage

Les deux dispositifs, à savoir la station expérimentale et l'observatoire piloté, sont complémentaires. Le dispositif de la station expérimentale a été conçu de manière à pouvoir réaliser une analyse statistique des données récoltées, mais ne reflète pas les conditions réelles rencontrées par les maraîchers au quotidien. L'observatoire piloté permet justement de nuancer ces résultats et de rapprocher les résultats du quotidien des maraîchers diversifiés bio du grand Ouest. Cependant, les fermes de l'observatoire piloté auraient pu avoir une parcelle témoin pour comparer les rendements et temps de travail des SdC innovants à une référence propre à la ferme et à ses contraintes. Ou bien les rendements et temps de travail de référence auraient pu être récoltés en début de projet. Ainsi, pour la station et l'OP, on aurait comparé les résultats des SdC innovants avec une référence obtenue dans le même contexte.

Les indicateurs choisis pour la fertilité ne sont pas les plus appropriés. Le protocole choisi pour réaliser les tests bêches, le drop test, est critiquable puisqu'il ne permet pas de mettre en lumière ce tassement du sol, seulement s'il existe une semelle de labour (Turillon *et al.* 2018). De plus, il est nécessaire que ce test soit réalisé par la même personne tout au long de l'expérimentation. En effet, la note attribuée dépend de l'appréciation personnelle du réalisateur. Les tests « nitrachecks » sans parcelle de référence ne peuvent pas être utilisés, les mesures réalisées dans les fermes n'ont pas pu être exploitées. La méthode MERCI (Constantin *et al.* 2023) a été mise en place seulement une année. Ces données ne nous permettent pas d'analyser l'effet du levier « couverture du sol » sur la fertilité. Les analyses de MO apportées n'ont pas été réalisées sur l'ensemble des années ainsi, nous ne pouvons pas conclure quant à la qualité des apports de MO. Il a été choisi de prélever les échantillons des sols des expérimentations à la mi-mars début avril, avant les apports de MO de la culture suivante. Les résultats de ces analyses de sols reflètent donc les effets des pratiques de l'année passée. Ainsi, il est compliqué de caractériser la disponibilité de l'azote contenu dans les sols de l'expérimentation alors qu'il s'agit d'un des facteurs les plus importants de la production de légumes avec la disponibilité en eau (Agasse *et al.* 2013).

Pour les deux dispositifs, les indicateurs choisis pour l'évaluation de la pénibilité étaient les temps de travail de chaque intervention, les notes de pénibilité de chaque intervention et les notes de satisfaction. Renseigner le temps de travail de l'entièreté des interventions réalisées dans un cahier de cultures demande un travail rigoureux et s'avère considérable. Ainsi, des interventions n'ont pas été

retranscrites dans les cahiers de culture que ce soit concernant la station ou l'OP ne permettant pas d'analyser ces données pour l'OP.

De la même manière, pour la station, les notes de pénibilité pour chaque intervention n'ont été remplies par la pilote qu'en 2020. Les interventions des autres années ont été remplies selon les notes attribuées en 2020. C'est-à-dire qu'un tableau a été construit où chaque matériel s'est vu attribué une note de pénibilité en fonction des notes de 2020 et les notes de pénibilité étaient automatiquement renseignées sans que la pilote n'ait à les remplir. Ces notes n'ont pas été exploitées dans ce mémoire du fait de la manière dont elles ont été remplies. Ainsi, la pénibilité n'a pu être renseignée que de manière globale et non pas selon les interventions. Le temps de travail global n'est pas différent d'un SdC à un autre, mais certains types d'intervention le sont. Ainsi, caractériser s'il existe une différence de pénibilité entre les SdC dans la réalisation d'un type d'intervention aurait pu favoriser une combinaison de levier à une autre. Ces notes n'ont pas été remplies dans l'OP. C'est un travail conséquent. L'attribution de notes de pénibilité selon le type d'intervention pourrait être réalisée à la fin de chaque campagne pour chaque culture afin de réduire la charge de travail que cela représente.

Il n'y a pas eu d'indicateur économique mesuré alors qu'il s'agit d'une dimension importante pour la reproductibilité des systèmes. L'indicateur coût de revient aurait pu être calculé dans le cadre du projet. Les six mois de cette étude n'ont pas permis de le calculer.

Le projet a été mené sur 5 ans ce qui est relativement long pour un projet d'expérimentation. Cependant, la fertilité du sol répond à diverses dynamiques se modifiant sur des pas de temps long. La durée de l'expérimentation n'est pas suffisante pour tirer des conclusions solides des effets des leviers sur la fertilité du sol. Nous ne pouvons faire que des hypothèses.

B) Limites de l'analyse réalisée dans le cadre du mémoire

Les rendements exprimés par rapport à la référence ORGALEG nous permettent de comparer les rendements des fermes les unes entre les autres bien qu'elles aient produit des légumes différents dans des contextes pédoclimatiques différents. Cependant ces contextes pédoclimatiques entraînent des potentiels de rendements différents. De plus, les références utilisées ne sont que des approximations puisqu'elles ne traduisent pas les écarts de rendements que l'on peut retrouver d'une variété à une autre, notamment entre les variétés hybrides et populations (Geier *et al.* 2008).

Les analyses statistiques des bases de données ont été réalisées avec des tests de comparaison de moyennes. Ces tests sont donc influencés par les valeurs « extrêmes » des jeux de données.

Pour simplifier le raisonnement et par soucis de place, les IFT n'ont pas été inclus dans l'analyse des résultats. Pour autant, les rendements de l'OP semblent majoritairement expliqués par les aléas

climatiques et les pressions des bioagresseurs. Il aurait été intéressant d'observer si la pression des bioagresseurs est équivalente d'un SdC à un autre dans la station et l'OP et de croiser les résultats.

Nous n'avons pas réussi à obtenir les incertitudes des indicateurs mesurés au laboratoire. Nous n'avons donc pas connaissance si les évolutions observées sont dues à une erreur de manipulation de laboratoire ou d'échantillonnage ou s'il s'agit d'une réelle dynamique du sol.

Conclusion

Après cinq années d'expérimentation menées à la fois au sein d'une station expérimentale et d'un observatoire piloté, un grand nombre de données a été collecté et analysées pour répondre à la question suivante : Comment les leviers choisis pour améliorer la fertilité des sols influencent la pénibilité physique et mentale des maraîchers diversifiés biologiques du Grand Ouest ?

L'ensemble des combinaisons de leviers choisis améliorent ou maintiennent les propriétés physiques, biologiques ou chimiques du sol. Pour autant, les bons indicateurs de sols ne se traduisent pas forcément dans la production que ce soit en quantité ou en qualité. Le système de culture de la station contenant les leviers « absence de travail du sol » et des « apports massifs de compost de déchets verts » comporte des rendements inférieurs à la référence. Ce résultat est contrasté par ceux de l'OP. La majorité des agriculteurs en « travail du sol très limité » possède de bons rendements. Ils expliquent que produire en travail du sol limité ne s'improvise pas et qu'il est nécessaire de commencer sur un sol propre avec une bonne structure et d'adapter son travail du sol à la situation, chose qui n'a pas été réalisée sur la station. Le système de culture en « travail du sol limité » et « apports d'herbe fertilisante » possède des rendements équivalents à la référence. L'herbe fertilisante semble être un bon substituant à la fertilisation d'origine animale. Les systèmes de l'OP équivalents confirment son intérêt agronomique. L'analyse conjointe de la station et l'OP montre que les rendements sont variables d'un SdC à un autre et sont influencés par le niveau de maîtrise du producteur, le climat et la pression des bioagresseurs.

Dans leur globalité, les SdC innovants de la station semblent être aussi pénibles que celui de référence. Pour autant, l'analyse de la pénibilité au sein des fermes de l'OP indique que cette dernière est subjective tout comme son acceptation. Malgré des perceptions différentes de la pénibilité, l'ensemble des pilotes d'expérimentation (station et OP) s'accordent pour dire qu'avec davantage de mécanisation la pénibilité pourrait être réduite. Mais l'accès à la mécanisation n'est pas facile dans des petites structures comme celles en MDB. Une des solutions à envisager est l'adhésion à une CUMA ou l'achat en groupe.

Cette étude propose une méthode d'analyse croisée de données obtenues en station expérimentale et de données obtenues en Observatoire Piloté. Le croisement des résultats de la station avec ceux de l'OP permet de modérer les résultats de la station et de faciliter la reproductibilité des systèmes de cultures chez d'autres maraîchers. Ainsi, la participation de producteurs à un projet d'expérimentation maximise les chances d'appropriation des résultats par le monde agricole, mais a surtout permis à ces 10 producteurs d'avoir un cadre propice à la mise en place de nouveaux leviers, d'évaluer l'intérêt de ces leviers, de s'inspirer des autres et d'échanger entre eux lors des différentes rencontres organisées.

Une nouvelle campagne de phy EXPE a été lancée en 2024. Le projet ESIMA, faisant suite à PERSYST-maraîchage et à SEFERSOL, a été déposé et est en attente de validation. L'objectif est de démontrer que la production en agriculture biologique est aussi productive, rentable et soutenable tout en travaillant sur la gestion des adventices et la fertilité du sol. Il vise à construire un réseau de producteurs et de stations expérimentales à l'échelle nationale qui testerait des SdC construits à l'aide des conclusions des deux projets.

Bibliographie

- ADEAR. (2016). Quelle qualité de vie pour les maraîcher-ère-s diversifié-e-s en PACA ? Synthèse de l'étude sur le maraîchage diversifié réalisée en 2015-2016.
- Affriat, L. (2020). Amélioration de la durabilité des systèmes maraîchers biologiques sous abris : le projet Greenresilient.
- Agasse, S., Bouthier, A., Burtin, M., Butler, F., Canard, A. & Cariolle, M. (2013). Calcul de la fertilisation azotée - Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales. Cultures annuelles et prairie.
- Archambeaud, M. & Thomas, F. (2023). *Les sols agricoles - l'agroécologie en pratique*. Productions végétales et grandes cultures. Editions France Agricole.
- Argouarc'h, J.-M., Lecomte, V. & Morin, J. marie. (2008). *Maraîchage biologique*. Educagri.
- Association Biopousses. (2023). Le maraîchage tout herbe : une utopie ?
- Astié, L. (2022). Réduire les phytos ne rends pas le travail plus pénible. *Le mag des agricultrices et des agriculteurs de Bretagne*, 18–19.
- Aubry, C.C., Bressoud, F.F. & Petit, C. (2011). Les circuits courts en agriculture revisitent-ils l'organisation du travail dans l'exploitation ? In: *Le travail en agriculture : son organisation et ses valeurs face à l'innovation*. Editeur L'Harmattan, p. 304 p.
- Baelen. (2017). Construction d'une méthode d'évaluation, pour analyser les performances globales des systèmes de culture innovants : cas de l'expérimentation SEFerSol maraîchage biologique.
- Berner, A., Böhm, H., Brandhuber, R., Braun, J. & Brede, U. (2013). Le principe de la fertilité des sols.
- Boyhan, G.E., Hicks, R. & Hill, C.R. (2006). Natural mulches are not very effective for weed control in onions. *HortTechnology*, 523–526.
- Cahors, N. (2024). Compte rendu technique du projet AutoMO : Autonomie des fermes maraîchères biologiques en Matière Organique.
- Cahu, C., Desprez, M. & Strach, C. (2024). Le mulch d'herbe tient ses promesses. *BIOFIL*, 40–42.
- Cardona, A., Lefevre, A. & Simon, S. (2018). Les stations expérimentales comme lieux de production des savoirs agronomiques semi-confinés. Enquête dans deux stations INRA engagées dans l'agroécologie. *Revue d'Anthropologie des Connaissances*, 139–170.
- CGAAER. (2017). *Evaluation de la pénibilité au travail de métiers de l'agriculture*.
- Chalker-Scott, L. (2007). Impact of Mulches on Landscape Plants and the Environment — A Review. *Journal of Environmental Horticulture*, 25, 239–249.
- Constantin, J., Minette, S., Vericel, G., Jordan-Meille, L. & Justes, E. (2023). MERCI : a simple method and decision-support tool to estimate availability of nitrogen from a wide range of cover crops to the next cash crop.
- Dumont, A.M. (2017). Analyse systémique des conditions de travail et d'emploi dans la production de légumes pour le marché du frais en Région wallonne (Belgique), dans une perspective de transition agroécologique.
- Elo, S. & Kyngäs, H. (2008). The qualitative content analysis process. *Journal of Advanced Nursing*, 62, 107–115.
- Geier, U., Germani, F. & Truffat, A. (2008). Variétés hybrides F1 et qualité.
- Girard, M.-C., Walter, C., Rémy, J.-C., Berthelin, J. & Morel, J.-L. (2011). *Sols et environnement 2ème édition*. Dunod.
- Gréselle-Zaïbet, O. (2007). *Vers l'intelligence collectives des équipes de travail : une étude de cas*. Management Prospective Editions.
- Havard, M., Alaphilippe, A., Deytieux, V., Estrogues, V. & Labeyrie, B. (2017). *Guide de l'expérimentateur système : concevoir, conduire et valoriser une expérimentation systèmes pour les cultures assolées et pérennes*.
- Huber, G. & Schaub, C. (2011). La fertilité des sols: L'importance de la matière organique.

- Jackson, L.E., Ramirez, I., Yokota, I. & Fennimore, S.A. (2004). On-farm assessment of organic matter and tillage management on vegetable yield, soil, weeds, pests, and economics in California.
- Jansen, K. (2000). Labour, Livelihoods and the Quality of Life in Organic Agriculture in Europe. *Biological Agriculture and Horticulture* 17 (2000) 3, 17.
- Jean, E. (2011). Maraîchage biologique et organisation du travail : Enjeux et conséquences de la diversification. Etude de cas : Vaucluse et Bouches-du-Rhône, PACA.
- Kasirajan, S. & Ngouajio, M. (2012). Polyethylene and Biodegradable Mulches for agricultural Applications : A Review. *Agronomy Sustainable Development*, 501–529.
- Lafond, G.P., Loepky, H. & Derksen, D.A. (1992). The effects of tillage systems and crop rotations on soil water conservation, seedling establishment and crop yield. *Can. J. Plant Sci.*, 72, 103–115.
- Lamine, C. & Bellon, S. (2009). *Transitions vers l'agriculture biologique. Pratiques et accompagnement pour des systèmes innovants*. Quae / Educagri.
- Marquet, A., Gomez, A. & Bocquet, F. (2017). *Maraîchage bio en Normandie : Trajectoires de fermes et évolutions des systèmes. Références techniques, économiques et sociales en maraîchage biologique diversifié*.
- Miles, M.B. & Huberman, A.M. (1994). *Qualitative data Analysis : An expanded Sourcebook*. Sage.
- Moquet, M., Deleau, D. & Gigot. (2022). Webinaire en replay - Comment détenir ou rénover les prairies sans glyphosate ni labour ? *Arvalis*.
- Norris, C. & Congreves, K. (2018). Alternative Management Practices Improve Soil Health Indices in Intensive Vegetable Cropping Systems: A Review.
- Richir, M. (2013). Temps de travaux et pénibilité en maraîchage biologique bas-normand. Mémoire de fin d'étude Sciences agricoles, ENSAIA Université de Lorraine, Nancy.
- Roux, M., Langenfeld, A., Barbot, C., Templier, J. & Icard, C. (2021). RESULTATS DU PROJET SEFER-SOL : EXPERIMENTATION DE TROIS STRATEGIES DE GESTION COMBINEE DE L'ENHERBEMENT ET DE LA FERTILITE DU SOL EN MARAICHAGE BIOLOGIQUE.
- Sebillote, M. (1990). *Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes*. Paris.
- Souillot, C. (2014). Orgaleg : un logiciel adapté aux maraichers de la fertilisation à la planification. *L'auxiliaire Bio*, 6–8.
- Turillon, C., Créatin, V., Tomis, V. & Duparque, A. (2018). Guide méthodologique du test bêche structure et Action des vers de terre. Diagnostiquer rapidement l'état structural de vos sols en prenant en compte les traces d'activité des vers de terre. Sol D'Phy, Agrotransfert.
- Védie, H., Clerc, F., Lhôte, J.-M. & Grébert, D. (2012). Dossier travail du sol : Cultiver dans labourer en maraîchage biologique de plein champ : Quels résultats sur planche permanentes.
- Weill, A. & Duval, J. (2009). Guide de gestion globale de la ferme maraîchère biologique et diversifiée.
- Willekens, K., Vandecasteele, B., Buchan, D. & De Neve, S. (2014). Soil quality is positively affected by reduced tillage and compost in an intensive vegetable cropping system. *Applied Soil Ecology*, 82, 61–71.

Sitographie

[1] Observatoire de la production bio, Agence Bio : <https://www.agencebio.org/observatoire-de-la-production-bio-sur-votre-territoire/region/53/>, consulté le 7/06/2024

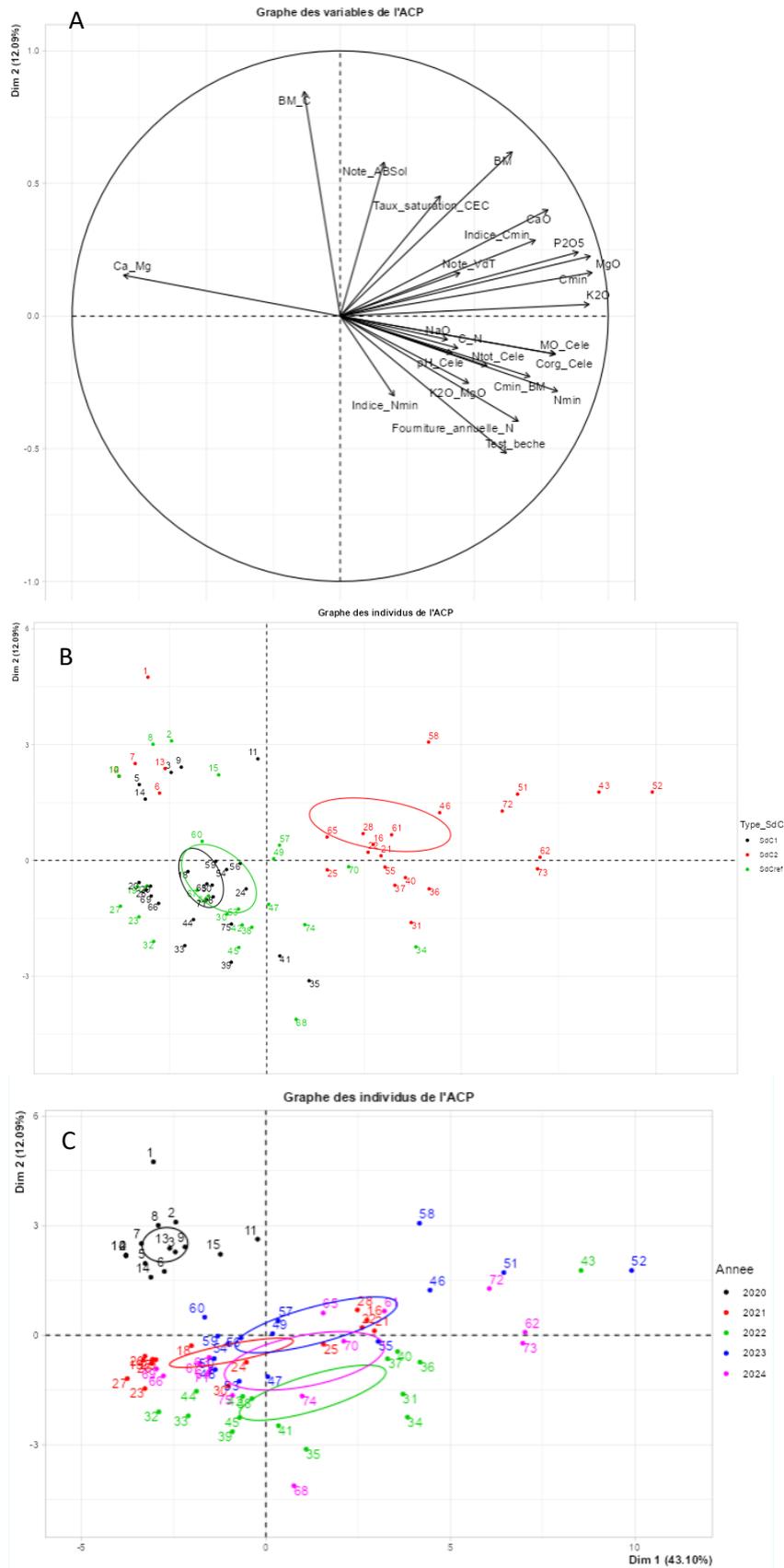
[2] Le dispositif dephy expe, Ecophyto Pic, <https://ecophytopic.fr/dephy/le-dispositif-dephy-expe>, consulté le 25 /03/2024

ANNEXES

Annexe i : Listes des différents leviers mis en place dans les SdCs des 10 fermes de l'OP

Ferme	Mode de production	Travail du sol	Apports carbonés	Apports verts (herbe, foin, ensilage, engruillage)	Couvertures végétaux	Pas d'apport végétaux hors couvert	Autres sources de ferti			
Bardonière	plein champ	Limite Cultivateur superficiel pour chou et carotte (sur 4 cm donc bricolé pour que plonge moins; avec fraise; pour avoir confort d'implantation en surface mais pas travaillé en dessous) Pas de travail du sol sur PDT; poireau.	non	oui	Foin des marais	oui	non	non		
Biodivy	plein champ	Très limite Pas de travail du sol sauf déchaumeur à dent pour carottes et récolteuse à PDT.	oui	BRF	oui	Ensilage herbe sur PDT	oui	non	non	
Biotaupes	plein champ	Très limite Pas de travail du sol sauf cultibutte pour salade (pour lit de semences plans pour mottes après couvert), butteuse pour poireau (qui profite à PDT), sous soleuse avant PDT	oui	Apport massif broyat DV composté (2016-2017)	non	non	oui	non	non	
Carotte_sauvage	plein champ	Limite Vibroplanche, butteuse, bineuse, rota	oui	Paille pour PDT	oui	Foin sur courgette	oui (dont luzerne)	non	oui	Fumier équin en 2020
Court_circuit	plein champ	Classique Vibroplanche, cultibutte, canadien; rotabour; herse rotative	non	non	non	Enrubannage de luzerne et foin (courgettes)	oui (dont culture dans trèfle)	oui	oui	Bouillons pour PK
Hingair	Abri	Très limite Pas de travail	non	oui	Ensilage et herbe fraîche	oui	oui	non	non	
Kergalaon	plein champ	Classique Vibro, herse rotative, cultivateur lourd, rota	non	oui	Ensilage et herbe fraîche	oui	oui	non	oui	Apport fumier volatile en avril 2020
Kerziou	Abri	Limite Disque billonneur, canadien, rota (au début), chisel, rotavator	non	oui	Torte	oui	oui	non	oui	Fumier âne
Prineur_cinq_sens	Plein champ	Classique Herse, cultivateur, charrue, sous-soleuse	non	non	non	oui (dont prairie)	oui	non	non	
Tindière	Abri	Très limite Pas de travail sauf campagne	non	non	non	oui	oui	non	oui	Entre Terre et Mer, Bochevo, Tourneau de ricin

Annexe ii : Résultats de l'ACP réalisé sur les données agronomique de la station. A) graphique des variables de l'ACP. B) Graphique des individus selon les SdCs. C) Graphique des individus selon les années



Annexe iii : Exemple d'un tableau de bilans de campagne avec les indicateurs choisis et les notes attribuées par les maraîchers pour chaque culture de l'expérimentation

Dimensions	Variations par rapport à a référence	Objectifs fixés pour cette culture	Atteintes des objectifs	Importance de cet aspect pour vous	Explications/ détails
Pénibilité physique	Plus	...	Oui/non	Important
Charge totale de travail	Eq	...		Très important
Pics de travail	Moins				
Pénibilité mentale, stress, complexité de gestion	...				
Quantité de production (rendement)					
Qualité de production					
Qualité du sol					
Pression en ravageurs					
Pression en maladie					
Pression en adventices					
Rentabilité économique					
Conso de produits phytosanitaire					
Conso de paillage plastique					
Conso de biomasse végétale extérieur à la planche					
Conso de fertilisant/ amendement d'origine animale locale					
Conso de fertilisant commerciaux industriel					
Conso d'eau					
Conso de fuel					

Tableau 3 : Tableau regroupant les indicateurs choisis et les notes attribuées par les maraîchers pour chaque culture de l'expérimentation

Annexe iv : Synthèse des entretiens de la pilote selon les principaux leviers

- Le levier « Réduction ou absence de travail du sol »

La réduction du travail du sol permet de manipuler des outils plus légers mais les outils à dents ne permettent pas de détruire correctement les grosses mottes. Cela rend l'installation de bâche et de paillage compliqué. La bâche ne peut pas être correctement plaquée au sol puisque le sol n'est pas lisse et le paillage est disposé de manière hétérogène. Les mottes compliquent également le passage du semoir.

Ce levier favorise la compaction du sol. L'utilisation de bâche et le vent contribue également au phénomène. Un sol compact n'est pas propice à une bonne implantation des légumes, et nécessite donc davantage d'eau pour que celle-ci atteigne les racines. De ce fait, un système en non-travail du sol est encore plus dépendant de la météo et/ou de l'irrigation qu'un système en travail du sol classique.

La pilote n'a pas travaillé son sol de manière stricte dans le SdC2. L'absence de buttage pénalise les cultures comme les pommes de terre mais aussi les choux qui de ce fait se couchent.

- Le levier « Bâche et paillage »

L'espace entre la bâche ou le paillage et le sol favorise la croissance des mauvaises herbes. Ces méthodes ne permettent pas d'éliminer les plantes vivaces et, une fois mises en place, elles rendent le désherbage manuel encore plus difficile. Pour être efficace, le Paillage doit être suffisamment épais. La paille est apportée manuellement et représente une charge « chronophage » et « conséquente » et provoque beaucoup de poussière. Dès 2020, La pilote estime que l'épandage de paille nécessite des outils adaptés non présent sur la station. Le paillage engendre une plantation compliquée et « décourageante » des oignons. La récolte est aussi compliquée puisque les oignons sont à aller chercher sous la paille. En 2020, les conditions étaient d'autant plus compliquées puisque la paille était mouillée et les oignons ne pouvaient pas sécher sur place. Cette situation a nécessité une étape supplémentaire puisqu'ils ont dû être déplacés pour sécher. Enfin l'installation de la bâche est considérée pénible même à deux personnes et, si mal fixée, peut s'envoler et arracher les plants simultanément.

- Le levier « Herbe fertilisante »

L'utilisation de l'herbe coupée permet de devenir autonome en matière de fertilisation, mais elle introduit une certaine complexité et une charge mentale accrue. Pour ce faire, il est essentiel de

disposer d'une surface de fauche suffisamment grande et proche des cultures. Les cultures à fertiliser avec l'herbe coupée doivent être synchronisées avec la période de fauche. Cette approche exige des compétences spécifiques et une planification rigoureuse de la gestion des amendements, car il faut déterminer le stade optimal de fauche de l'herbe, sa forme et la quantité nécessaire pour obtenir la valeur fertilisante appropriée à la culture ciblée. Elle nécessite également des outils spécifiques pour la fauche et l'épandage, car il est très difficile d'enfouir l'herbe coupée avec des outils à dents. L'utilisation de l'herbe coupée engendre un travail supplémentaire pendant les périodes de forte activité, notamment pour l'épandage, qui se fait à la fin mai ou au début juin, coïncidant avec les périodes de pic de travail. Enfin, il est nécessaire de ressemer la prairie tous les trois ans pour éviter qu'elle ne s'éclaircisse.

- Le levier « Couvert et engrais verts »

La principale difficulté rencontrée avec les engrais verts réside dans le timing entre la récolte, les semis et la destruction du couvert. En 2021, par exemple, les carottes étaient encore petites en octobre et si la récolte avait été retardée l'engrais vert n'aurait pas eu le temps de se développer. Autre exemple en 2022, l'engrais vert précédant le chou a été couché trop tardivement épuisant la réserve d'eau. De plus l'occultation est longue et il est nécessaire d'anticiper si l'on utilise cette technique.

Résumé

Les Maraîchers Diversifiés Biologiques font face à de nombreux enjeux dont le maintien de la fertilité des sols, la gestion de la pénibilité mentale et physique et l'autonomie en intrants pour les apports de matière organique et la protection des cultures. PERSYST maraîchage, projet DEPHY EXPE de 5 ans, vise à répondre à ces enjeux en mobilisant différents leviers au sein d'une station expérimentale et d'un observatoire piloté. Chaque année des données agronomiques et socio-économiques sont récoltées dans les deux dispositifs. Ces données ont été analysées dans ce document pour répondre à la question suivante : comment les leviers choisis pour améliorer la fertilité des sols influencent la pénibilité mentale et physique des maraîchers diversifiés biologiques du Grand Ouest ? Les données des deux dispositifs sont analysées séparément. Le croisement des résultats des deux dispositifs est réalisé lors d'une journée d'animation organisée lors d'un comité technique. Les résultats montrent que, bien que les leviers améliorent ou maintiennent les propriétés du sol, cela ne se traduit pas toujours en termes de production. L'analyse conjointe de la station et l'OP montre que les rendements sont variables d'un SdC à un autre et peuvent être influencés par les leviers mis en place mais aussi par le niveau de maîtrise du producteur, le climat et la pression des bioagresseurs. La pénibilité perçue et acceptée est subjective, mais le manque de mécanisation reste le principal facteur limitant identifié.

Mots-clés : Maraîchage Diversifié Biologique, Fertilité des sols, Pénibilité mentale et physique, Herbe fertilisante, Travail du sol limité

Abstract

Diversified Organic Market gardeners face many issues such as maintaining soil fertility, managing mental and physical hardship and achieving self-sufficiency in input for organic matter and crop protection. PERSYST maraîchage, a five-year DEPHY EXPE project, aims to meet these challenges by mobilising various levers within an experimental station and an "Observatoire piloté". Each year agronomics and socio-economics data are collected in the two systems. These data have been analysed in this document to answer the following question: how do the levers chosen to improve soil fertility influence the mental and physical hardship of diversified organic maize growers in the west of France? The data of the two systems are analysed separately. The results of the two systems are cross-referenced at a day-long event organised during a technical committee meeting. The results show that, although the levers improve or maintain soil properties, this is not always reflected in terms of production. The joint analysis by the station and the OP shows that yields vary from one Gowing system to another and can be influenced not only by the levers used but also by the level of

control exercised by the grower, the climate and pest pressure. The perceived and accepted difficulty is subjective, but the lack of mechanisation remains the main limiting factor identified.

Key words: Diversified organic market gardening, Soil fertility, Mental and physical strain, Fertilising grass, Limited tillage