

L'Institut Agro Rennes-Angers

Site d'Angers  Site de Rennes

<p>Année universitaire : 2023 - 2024</p> <p>Spécialité : <b>Agronomie</b></p> <p>Spécialisation (et option éventuelle) : <b>Agroecology</b></p>	<p><b>Mémoire de fin d'études</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> d'ingénieur de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de master de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de l'Institut Agro Montpellier (étudiant arrivé en M2)</p> <p><input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)</p>
---	--

# Etude et optimisation des bénéfices agronomiques et de la gestion des couverts végétaux en Grandes Cultures biologiques.

Suivi des expérimentations des agriculteur·ice·s du GIEE Sols en  
transition

Par : Estelle BURC

**Soutenu à Rennes le 19/09/2024**

**Devant le jury composé de :**

Président : Guénola PERES

Examinatrice : Virginie PARNAUDEAU

Maître de stage : Julie GUGUIN

INRAE Bretagne-Normandie, UMR SAS

Enseignant référent : Olivier GODINOT

*Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle de l'Institut Agro Rennes-Angers*

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation «Patrimoine-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de  
Modification 4.0 France» disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>

## Remerciements

Ce rapport est le résultat de 6 mois de stage au sein de l'association Bio Ariège-Garonne. Je tiens à exprimer ici ma reconnaissance pour l'ensemble des personnes qui ont fait la richesse d'apprentissages professionnels et humains pendant cette période.

Je remercie tout particulièrement ma maîtresse de stage, Julie Guguin, pour son investissement dans le bon déroulement du stage, son attention et sa sympathie à mon égard. Merci à Alexia Garrido, qui a accompagné le premier mois de ce stage avec bienveillance, enthousiasme et passion. Toutes deux ont su dégager du temps pour le lancement et le suivi du stage en parallèle de leur passation de poste et l'investissement que cela implique.

Un grand merci à toute l'équipe de Bio Ariège-Garonne pour l'accueil et l'intégration qui m'a été adressé. Votre travail et les valeurs que vous défendez avec passion et détermination me laissent admirative et motivée à poursuivre mon chemin en direction d'une agriculture paysanne, locale et bio !

Je remercie également les agriculteur-ice-s du GIEE Sols en transition avec qui j'ai eu l'occasion de travailler et d'échanger sur le terrain. Il a été très formateur de m'éloigner des bancs de l'école pour visualiser les contraintes de terrains qui prouvent que, « l'agroécologie est une question de compromis ». Bravo pour l'investissement collectif que vous mettez dans la recherche d'une agriculture plus vertueuse.

Je tiens à remercier également mon enseignant référent, Olivier Godinot, pour ses conseils et son suivi.

Enfin, je remercie les personnes avec qui j'ai pu échanger lors d'évènements, de formations ou de rencontres techniques, Claire Georges et Lucien Petit (respectivement animatrice Grandes Cultures et stagiaire) des Bios du Gers pour les échanges et les partages sur notre thématique de travail commune, Sébastien Minette (Chambre d'Agriculture de Nouvelle Aquitaine) pour avoir pris le temps de partager ses connaissances sur les couverts végétaux et la méthode MERCI, l'équipe du Bio CIVAM de l'Aude, du Campus de Lamothe PURPAN, du GIP LIA Auzeville, de la FR CUMA Haute-Garonne, et toutes celles et ceux que j'ai pu oublier d'énoncer ici et dont j'ai croisé le chemin pendant ces 6 mois.

# Table des matières

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>1. BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>2</b>
1.1. Couverts végétaux d'interculture : contexte et définitions.....	2
1.2. L'utilisation des couverts végétaux pour faire face aux enjeux de dégradation des sols agricoles .....	2
1.2.1. Maintien et amélioration de la santé des sols pour une implantation des cultures suivantes optimales.....	3
1.2.2. Optimisation du cycle des éléments nutritifs et de la matière organique .....	4
1.2.3. Régulation des adventices et autres services .....	6
1.3. Les couverts végétaux et leur utilisation.....	8
<b>2. MATERIEL ET METHODES.....</b>	<b>10</b>
2.1. Le GIEE Sols en transition et son accompagnement .....	10
2.1.1. Bio Ariège-Garonne : un Groupement d'Agriculteur·ice·s Biologiques et des projets de territoire .....	10
2.1.2. Le GIEE Sols en transition : des expérimentations qui s'articulent autour des couverts végétaux .....	10
2.1.3. Profil des parcelles suivies et contextes expérimentaux .....	12
2.2. Des expérimentations aux champs et par les agriculteur·ice·s pour un suivi en conditions réelles de production.....	14
2.2.1. Contexte des essais de couverts hivernaux 2023/24 .....	14
2.2.2. Couverts hivernaux 2023-2024 : des suivis individuels pour une avancée du groupe vers des pratiques satisfaisantes .....	16
2.2.3. Initiation des essais de destruction pour tendre vers une optimisation de l'efficacité et une réduction du travail du sol .....	17
2.3. Analyse des données : mutualiser les expériences et les connaissances au sein du groupe et avec les partenaires techniques .....	21
2.4. Diffusion des résultats pour l'aide à la décision.....	21
<b>3. RESULTATS .....</b>	<b>23</b>
3.1. Bilan de la campagne hivernale 2023/2024 : des performances agronomiques variables qui conditionnent en partie la satisfaction des agriculteur·ice·s .....	23
3.2. Retours sur l'efficacité de destruction et la maîtrise des coûts : des essais peu nombreux mais prometteurs.....	29
3.2.1. Bilan des coûts des itinéraires techniques .....	29
3.2.2. Retours d'essais sur les expérimentations de destruction .....	29
3.2.3. Valorisation et diffusion des données .....	29

4.	Discussion	31
4.1.	<b>Les partages d'expérience en conditions agriculteur-ice-s permettent d'aider aux choix des couverts au regard de leurs services écosystémiques et de leurs bénéfices agronomiques pour la culture suivante</b>	<b>31</b>
4.1.1.	Ciblage progressif des espèces satisfaisantes pour chaque contexte .....	32
4.1.2.	Une dynamique collective précieuse pour créer des références et aider au choix des mélanges .....	34
4.2.	<b>Des essais qui mèneront à une meilleure gestion de la destruction, impliquant une possible réduction des coûts et du travail du sol. ....</b>	<b>35</b>
4.2.1.	Une réduction des coûts possible par le ciblage des outils adaptés .....	35
4.2.2.	Une réduction du travail du sol possible mais qui nécessite une multiplication des essais .....	36
4.3.	<b>Limites et perspectives au travail mené .....</b>	<b>37</b>
4.3.1.	Limites identifiées aux travaux menés .....	37
4.3.2.	Perspectives : continuer les essais pour en multiplier la robustesse et l'utilité .....	39
	<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>41</b>
	<b>ANNEXES.....</b>	<b>43</b>
	<b>REFERENCES.....</b>	<b>54</b>

## Table des sigles

**GIEE** : Groupement d'Intérêt Economique et Environnemental

**ABC** : Agriculture Biologique de conservation

**CIVE** : Culture Intermédiaire à Vocation Energétique

**CIPAN** : Cultures Intermédiaires Piège à Nitrates

**CIMS** : Cultures Intermédiaires Multi-Services

**SAU** : Surface Agricole Utile

**BAG** : Bio Ariège-Garonne

**ERABLES** : Ensemble pour Représenter l'Agriculture Biologique Locale Ecologique et Solidaire

**CIVAM** : Centre d'Initiative pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu Rural

**GAB** : Groupement d'Agriculteur-ice-s Biologiques

**GABB** : Groupement d'Agriculteur-ice-s Biologiques en Biodynamie

**FNAB** : Fédération Nationale d'Agriculture Biologique

**C/N** : Ratio Carbone / Azote

**MO** : Matière Organique

**MS** : Matière Sèche

**INRAE** : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement

**CREABio** : Centre Régional de Recherche et d'Expérimentation en Agriculture Biologique

**GIP LIA** : Groupement d'Intérêt Public Lien Innovation Agroécologie

**AB** : Agriculture Biologique

**MERCI** : Méthode d'Estimation des Restitutions par les Cultures Intermédiaires

**GNR** : Gazole Non Routier

Dans ce rapport, les agriculteurs et agricultrices qui ont fait l'objet du suivi seront identifié par « Agri » suivi d'un numéro afin de respecter leur anonymat et de faciliter la lecture.

## Liste des annexes

<b>Annexe I</b> : Protocole de mesures de biomasse suivi par le GIEE Sols en Transition sur les parcelles d'essais des agriculteur·ices. Utilisation de la méthode MERCI. Méthode consultable sur : <a href="https://methode-merci.fr">https://methode-merci.fr</a> . (Chambre d'Agriculture de Nouvelle Aquitaine, 2023).....	43
<b>Annexe II</b> : Description de la méthode VESS utilisée pour l'analyse de la structure du sol en surface. Traduction de la clé visuelle développée par Guimarães, R.M.L., Ball, B.C., and Tormena, C.A. (2011).adaptée de Boizard, H. et al., in Baize, D. et al., (2013).....	44
<b>Annexe III</b> : Exemple de bilan des coûts individuel pour l'ensemble des opérations culturales impliquées dans la gestion de l'interculture. Bilan transmis aux agriculteur·ices en fin de campagne. (Burc E., 2024). ....	45
<b>Annexe IV</b> : Fiche de terrain créée à partir des indicateurs priorités par le groupe pour évaluer les parcelles d'essais après destruction et implantation de la culture suivante. (Burc E., 2024). ....	46
<b>Annexe V</b> : Exemple de bilan des essais chez les agriculteur·ice·s expérimentant des méthodes de destruction innovantes dans leurs systèmes. (a) Exemple de tableau comparatif des modalités testées par un agriculteur·ice ; (b) Comparaison visuelle des modalités testées par les trois expérimentateur·ice·s et coûts de destruction calculés. (Burc E., 2024).....	47
<b>Annexe VI</b> : Outil d'aide à la décision créé pour le livrable - Tableau comparatif des principales espèces de couverts végétaux. Intégration de références et de retours d'essais inscrits dans le contexte du Sud – Ouest Français. (Burc E., 2024).....	49
<b>Annexe VII</b> : Exemple de fiche technique individuelle remise aux agriculteur·ices du groupe et diffusée par BAG. (Burc E., 2024) .....	52

## Liste des illustrations

<b>Figure 1</b> : Impact de différentes espèces de couverts d'interculture sur le salissement. (Arvalis Institut du Végétal, Terres Inovia et Unilet (2016) ; dans le Guide Grandes Cultures Biologiques, Chambre d'Agriculture, 2023) .....	5
<b>Figure 2</b> : Biomasse aériennes totale moyenne sur les couverts végétaux de France métropolitaine. Données entrées sur le calculateur MERCI entre 2020 et 2023. (CRANA, 2023 dans Briaud et Minette, 2023). .....	7
<b>Figure 3</b> : Orientation prévisionnelle des essais par le GIEE Sols en transition. Axes de travail définis lors de la programmation du GIEE par l'ensemble du groupe d'agriculteur-ice-s et partenaires techniques. (Burc E., 2024, à partir du compte rendu de réunion par Bio Ariège-Garonne) .....	9
<b>Figure 4</b> : Fonctionnement du GIEE Sols en transition animé par Bio Ariège-Garonne. (Bio Ariège-Garonne 2023)..	9
<b>Figure 5</b> : Rencontre GIEE du 25/03/2024 - visite des parcelles expérimentales de couverts végétaux menées par l'INRAE chez un agriculteur-ice du GIEE. (Photo : Bio Ariège-Garonne) .....	11
<b>Figure 6</b> : Localisation des fermes membres du GIEE Sols en transition en Haute Garonne et Ariège (Burc E., Mars 2024).. .....	11
<b>Figure 7</b> : Composition des mélanges de couverts hivernaux 2023/2024 sur les parcelles suivies dans le cadre du GIEE Sols en transition. (Burc E., 2024).. .....	11
<b>Figure 8</b> : Climatologie de la période de développement des couverts étudiés dans le cadre du GIEE Sols en transition. La station Muret-Lherm (31) est choisie pour sa situation géographique au milieu de l'ensemble des essais du groupe. (Bio Ariège-Garonne à partir de l'historique de infoclimat.fr , 2024).. .....	13
<b>Figure 9</b> : Méthodologie de suivi des essais de couverts végétaux, déroulement des mesures et essais de destruction menés. (Burc E., 2024). .....	15
<b>Figure 10</b> : Indicateurs de mesures retenus pour l'évaluation de l'efficacité de destruction du couvert sur les modalités menées. (Burc E., 2024).. .....	18
<b>Figure 11</b> : Objectifs fixés pour la rédaction du livrable à destination des agriculteur-ice-s (Burc E., 2024) ... <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
<b>Figure 12</b> : Caractérisation des espèces utilisées dans les couverts. Couverts hivernaux 2023/2024 du GIEE Sols en transition. (Burc E., 2024) .....	22
<b>Figure 13</b> : Biomasse produite par les espèces du couvert et stockage potentiel du carbone stable dans le sol. Estimations issues du calculateur MERCI. Données prélevées sur les couverts hivernaux 2023/2024 du GIEE Sols en transition, sans les bandes témoin. (Burc E., 2024) .....	22
<b>Figure 14</b> : Quantités d'azote piégé et restitué pour chaque couvert. Estimation par le calculateur MERCI. (Burc E., 2024) .....	28
<b>Figure 15</b> : Focus sur l'efficacité des restitutions d'azote pour une biomasse aérienne donnée – cas de Agri 1. (Burc E., 2024) .....	28
<b>Figure 16</b> : Coûts des itinéraires techniques en fonction de la biomasse totale produite par le couvert. Biomasse estimée par la méthode MERCI sur les couverts hivernaux 2023/2024 du GIEE Sols en transition. (Burc E., 2024)	30
<b>Figure 17</b> : Schéma conceptuel des interactions inter-acteurs impliquées dans l'accompagnement du GIEE Sols en transition. Echanges de connaissances et création de nouvelles ressources par l'expérimentation en conditions agriculteur-ice-s biologiques. (Burc E., 2024) .....	38
<b>Table 1</b> : Profil des fermes membres du GIEE. Les couverts hivernaux 2023-2024 des agriculteur-ice-s 1 à 8 ont été suivis dans le cadre du stage. Les autres n'ont pas mis en place de couverts cette année-là. (Burc E., 2023) .....	13
<b>Table 2</b> : Objectifs et principe des essais de destruction des couverts hivernaux 2023/24 par 3 agriculteur-ice-s du GIEE Sols en transition. (Burc E., 2024) .....	18
<b>Table 3</b> : Appréciation des agriculteur-ice-s du GIEE Sols en transition sur leurs couverts végétaux hivernaux 2023/2024. Perspectives avancées pour les prochaines campagne - liste non exhaustive des éléments abordés pendant les entretiens. (Burc E., 2024) .....	24
<b>Table 4</b> : Bilan des itinéraires techniques des couvert et des restitutions estimées par la méthode MERCI. Données prélevées sur les couverts hivernaux 2023/2024 du GIEE Sols en transition (2024) .....	26





## Introduction

L'intensification des pratiques culturales participe à la dégradation biologique, chimique et physique des sols et contribue largement à la baisse de sa fertilité, notamment par des processus de désertification, érosion, compaction, salinisation ou acidification (Bourguignon, 2015 ; Robert & Stengel, 1999 ; Gis Sol, 2011). Face à ce constat, des réglementations ont été mises en place en zones vulnérables, dans le cadre de la directive Nitrates 91/676/CEE de 1991, pour implanter systématiquement des couverts végétaux en interculture et limiter ainsi la durée de maintien des sols nus pendant l'hiver. Cette directive représente pour beaucoup d'agriculteur·ice·s la nécessité d'une modification et d'une adaptation constante des pratiques (Thareau *et al.* 2008). L'intégration des couverts d'interculture au fonctionnement global de l'exploitation représente en effet parfois un obstacle non négligeable car sa facilité dépend du contexte propre à chaque agriculteur·ice (Thareau *et al.*, 2018). La nécessité d'un accompagnement dans ces démarches apparaît donc évidente afin de permettre à chaque agriculteur·ice de trouver efficacement les combinaisons d'espèces et de méthodes à mettre en place pour atteindre les objectifs des couverts et assurer des effets positifs de leur intégration. C'est la raison pour laquelle Bio Ariège-Garonne, groupement de producteur·ice·s, accompagne depuis 2020 un collectif de 12 céréalier·e·s biologiques en Occitanie dans le cadre du GIEE Couverts Végétaux, puis du GIEE Sols en transition, dans le choix, l'expérimentation et la gestion de leurs couverts végétaux d'interculture. Les travaux s'orientent vers l'identification des mélanges et la maîtrise des itinéraires techniques associés pour répondre aux objectifs d'amélioration de la fertilité des sols, la maîtrise de la flore adventice et la limitation de l'érosion. Face au besoin grandissant du groupe d'améliorer la maîtrise des coûts des couverts et de tendre vers une agriculture de conservation des sols (ABC), le GIEE oriente des nouveaux essais dans ce sens. Ce stage a donc été l'occasion d'initier et/ou d'approfondir les travaux du groupe sur la maîtrise des coûts, les moyens de réduction du travail du sol et l'amélioration de la gestion des couverts, dans un objectif de pérenniser l'intégration de ces pratiques en optimisant leurs bénéfices et en diffusant les connaissances acquises.

**Problématique de travail : Comment l'expérimentation au champ en agriculture biologique permet-elle d'améliorer la conduite des couverts végétaux d'interculture et l'atteinte des objectifs agronomiques et économiques des agriculteur·ice·s ?**

Deux hypothèses sont émises et guideront les réflexions : (H1) Les partages d'expériences menées en conditions agriculteur·ice·s permettent d'aider aux choix des mélanges de couverts d'interculture pour augmenter leurs services écosystémiques et leurs bénéfices agronomiques pour les cultures suivantes, (H2) Les coûts de conduite des couverts et le travail du sol impliqué dans leur gestion peuvent être mieux maîtrisés par une meilleure connaissance des méthodes de destruction, de leur efficacité et de leur adaptation au contexte.

Pour répondre à ces questions, 3 axes de travail ont été explorés. En premier lieu, le suivi des couverts hivernaux 2023/2024 a été mené chez les agriculteur·ice·s, analysé et synthétisé pour dresser un bilan des performances agronomiques de chaque essai, complétant ainsi les résultats obtenus lors des précédentes campagnes. Il décrira comment la multiplication des suivis et des retours d'expériences qui en découlent permettent d'enrichir les références d'itinéraires techniques et de méthodes de gestion, et appuyer ainsi au choix de chaque agriculteur·ice.

Un second axe de travail abordera la construction de nouveaux essais et suivis pour renforcer la maîtrise des coûts des itinéraires techniques et initier une réduction du travail du sol. Un troisième axe de travail concerne la diffusion des résultats et l'initiation d'un outil d'aide à la décision sur les couverts sous la forme d'un livrable à destination des agriculteur·ice·s.

Le présent mémoire abordera premièrement un état des lieux bibliographique des connaissances sur les couverts végétaux, il décrira ensuite la méthode utilisée pour répondre à la problématique posée, par la récolte des données de terrain et l'animation technique du groupe. Les principaux résultats seront analysés et discutés. Enfin, la portée et les perspectives du travail mené seront abordés.

## 1. Bibliographie

### 1.1. Couverts végétaux d'interculture : contexte et définitions

Alors qu'elles représentent 44% de la surface agricole utilisée en France en 2020 (Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires, 2022), les grandes cultures présentent un taux de MO faible (entre 1 et 2%) et qui a été divisé par deux depuis 1950 (Bourguignon, 2015 ; Robert & Stengel, 1999). En Occitanie notamment, l'érosion hydrique implique des pertes de MO allant jusqu'à 20 tonnes par hectare et par an (Agence de l'eau Adour Garonne, 2018).

L'intégration de couverts végétaux en interculture s'inscrit donc dans une démarche de protection et d'amélioration de la santé des sols (Silva *et al.*, 2016). Les bénéfices à plus ou moins long terme sur les sols et les cultures sont multiples et encore à l'étude (Adeux *et al.* 2022).

La définition des cultures intermédiaires a beaucoup évolué en fonction des connaissances théoriques et des services recherchés par leur intégration dans les systèmes culturaux (Justes & Richard, 2017). Une culture intermédiaire est définie par deux caractéristiques : le semis d'espèces adaptées à produire des services écosystémiques non marchands durant l'interculture, et la restitution au sol des couverts plusieurs semaines ou juste avant l'implantation de la culture principale (Justes & Richard, 2017). La culture intermédiaire se distingue des cultures dérobées et des CIVE par le fait qu'elles sont restituées intégralement au sol, et non pas exportées de la parcelle pour être valorisées (Justes & Richard, 2017).

La notion de couverts végétaux est généralement utilisée pour définir des cultures présentes entre deux cultures principales et dont tout ou partie peut être restitué au sol. Les principaux types de couverts végétaux couramment utilisés sont les CIPAN pour éviter le lessivage des nitrates, les engrais verts, qui ont pour but d'amender ou de restituer des éléments nutritifs à la culture suivante, les CIMS, et les cultures dérobées qui ont pour but de produire du fourrage ou des graines. Depuis les années 2010, on parle surtout de CIMS pour évoquer les Cultures Intermédiaires Multi-Services utilisées pour produire des services écosystémiques en période d'interculture.

### 1.2. L'utilisation des couverts végétaux pour faire face aux enjeux de dégradation des sols agricoles

Parmi les multiples services que peut apporter l'intégration d'un couvert en interculture par rapport à un sol travaillé laissé nu, plusieurs bénéfices agronomiques et environnementaux se distinguent et jouent un rôle clé dans les choix de gestion des agriculteur·ice·s.

### 1.2.1. Maintien et amélioration de la santé des sols pour une implantation des cultures suivantes optimales

#### *Protection du sol contre l'érosion et la battance*

Un couvert végétal ne restaure pas la structure des sols dégradés mais permet de la maintenir et d'éviter qu'elle ne se dégrade comme souvent dans un système de travail du sol intensif (Bourguignon, 2015). L'implantation d'un couvert réduit les phénomènes d'érosion, de lessivage et de battance (Justes & Richard, 2017 ; Constantin *et al.*, 2023). Ces effets sont permis par une action mécanique pendant leur développement et leur dégradation, en protégeant le sol de l'impact des pluies, et après leur destruction et dégradation, en augmentant le stock de MO favorisant la stabilité structurale (Jamet et Cadoux, 2023).

#### *Amélioration de la gestion de l'eau*

Les couverts végétaux augmentent la conductivité hydraulique des sols (Blanco-Canqui et Ruis, 2020). Au lieu de favoriser l'érosion hydrique (lessivage des argiles et des éléments nutritifs), l'eau de pluie circulant sur un couvert voit son infiltration facilitée grâce à la réduction de l'imperméabilité de la surface et au maintien de l'intégrité des macropores ouverts (Justes & Richard, 2017 ; Blanco-Canqui et Ruis, 2020). L'importante activité lombricienne sous couverts, favorisée par une réduction de la perturbation mécanique du sol et par un apport régulier de MO, est aussi fortement corrélée à une meilleure infiltration de l'eau dans les sols (Blanco-Canqui et Ruis, 2020). Toutefois, l'inertie de l'amélioration de l'infiltration de l'eau par le changement de pratiques en interculture est dépendante des lieux, de la texture des sols et de la gestion des couverts. En effet, le couvert ne peut parfois pas avoir d'effet observable sur la rétention d'eau tant que d'autres propriétés comme la porosité ou la stabilité des agrégats ne s'améliorent pas (Blanco-Canqui & Ruis, 2020). La distribution des pores est lente à changer, surtout dans le cas de faibles biomasses de couverts restituées (Blanco-Canqui & Ruis, 2020).

Concernant la disponibilité en eau pour la culture suivante, seules 30% des études montrent une amélioration directement due à la présence de couverts végétaux (Blanco-Canqui & Ruis, 2020). Néanmoins, la MO apportée par le couvert peut, par sa capacité d'échanges cationiques, conduire à une amélioration de la teneur en eau du sol (GIEE Magellan 2019 ; Bigorre *et al.*, 1999 ; CPVQ, 2000). On suppose que les sols sableux et argileux voient leur teneur en eau augmenter après un apport de MO, avec une augmentation d'autant plus prononcée que le sol est sableux (Khaleel *et al.*, 1981). Les observations appliquées aux champs décrivent parfois une amélioration globale de la teneur en eau des sols due à la couverture végétale (GIEE Magellan, 2019), mais la disponibilité de cette eau reste donc prudemment assurée par la communauté scientifique, notamment par la dépendance aux contextes d'étude.

#### *Maintien de la structure du sol et de sa stabilité*

Il y a peu d'effets directs avérés des couverts végétaux sur la stabilité des agrégats, mais la protection physique de surface qu'ils constituent, la stimulation de la vie du sol par l'apport de MO, ou encore le développement de systèmes racinaires denses et profonds permettent une meilleure cohésion des agrégats et la création de complexes argilo-humiques plus efficaces (Hudek, 2021 ; GIEE Magellan, 2019). Les racines créent en effet des voies préférentielles pour l'eau en maintenant la portance des sols et en apportant de la MO (Thomas, 2006 ; GIEE Magellan 2019). Plus la densité et la longueur des racines sont importantes, plus la stabilité des agrégats sera susceptible de s'améliorer (Hudek, 2021).

La différence de morphologie des racines entre les espèces souligne les fonctions variées qu'elles apportent dans la maîtrise de la dégradation du sol, de la porosité, et de la compaction. Ainsi, les espèces ayant un système racinaire long et avec une surface importante (avoine, seigle, sarrasin) peuvent mieux pénétrer à travers un sol compacté et sont capables d'atténuer sa compaction sur l'horizon de surface et jusqu'à 30 cm de profondeur (Hudek, 2021). Plus en profondeur, les moutardes et les radis seront plus susceptibles d'avoir un impact sur la porosité (Hudek, 2021).

La compaction du sol a tendance à diminuer sous l'effet des couverts (-5% en moyenne sur l'ensemble des articles analysés par Blanco-Canqui et Ruis en 2020), principalement en réduisant la résistance à la pénétration des racines, mais également dans certains cas, en ayant un effet positif sur la densité apparente du sol qui a tendance à diminuer (Blanco-Canqui et Ruis, 2020 ; Hudek, 2021).

Les mélanges d'espèces présentent des avantages non négligeables qui permettent parfois indirectement l'amélioration de la performance du couvert par rapport à un couvert monospécifique. En effet, la diversité des espèces mélangées et de leurs caractéristiques (notamment en termes de cinétique de croissance, appétence des ravageurs, besoins nutritifs) permet d'optimiser la couverture du sol au cours du temps (Tribouillois, 2015), limite les risques liés au climat, limite l'action des ravageurs et permet l'exploration de tout le potentiel nutritif du sol (Chambre d'Agriculture - Guide technique Grandes Cultures, 2023).

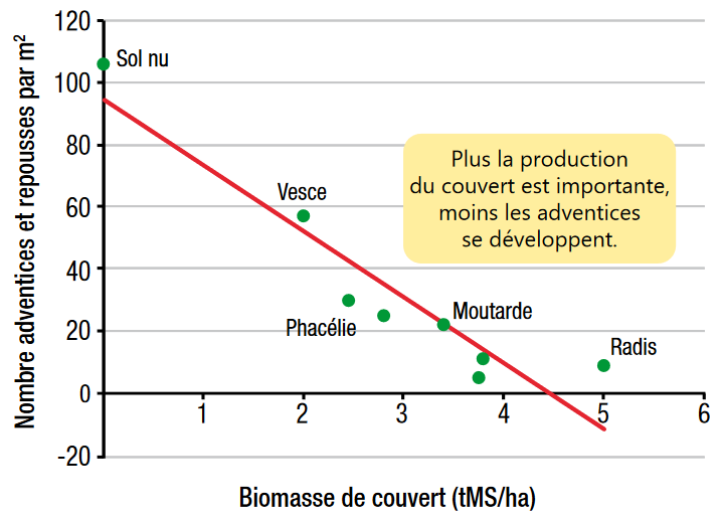
#### *Stimulation de l'activité biologique*

Les couverts améliorent l'activité, la diversité et l'abondance microbiologiques du sol en comparaison d'un sol nu (Kim *et al.*, 2020). L'activité biologique du sol est elle aussi favorisée par le maintien d'un habitat propice au développement de la vie du sol, notamment par la restitution de MO provenant des sécrétions racinaires, de la décomposition des racines et de la litière produite par les résidus de culture (GABB 32, 2012 ; Justes & Richard, 2017 ; Chambre d'Agriculture - Guide technique Grandes Cultures, 2023). Les effets des couverts sur l'activité biologique dépendent de la gestion agronomique des sols (Kim *et al.*, 2020).

### 1.2.2. Optimisation du cycle des éléments nutritifs et de la matière organique

#### *Réduction de la lixiviation des éléments minéraux*

Les couverts végétaux absorbent les éléments nutritifs dans la solution du sol et les mettent à l'abri de la lixiviation (GIEE Magellan, 2019 ; Justes & Richard, 2017 ; Constantin *et al.*, 2009). Ils permettent ainsi une baisse de la quantité d'azote résiduel minéral du sol (Tribouillois, 2015 ; Couëdel *et al.*, 2021) et peuvent assurer le maintien du taux d'azote stable dans le sol à long terme (Constantin *et al.*, 2009). L'efficacité de piégeage des nitrates, de la réduction des pertes en éléments nutritifs, et la vitesse à laquelle les éléments mis à disposition sont libérés pour l'alimentation des plantes peut être difficile à estimer et varie en fonction des conditions et des espèces implantées (Tribouillois, 2015, GIEE Magellan, 2019).



**Figure 1 :** Impact de différentes espèces de couverts d'interculture sur le salissement. (Arvalis Institut du Végétal, Terres Inovia et Unilet (2016) ; dans le Guide Grandes Cultures Biologiques, Chambre d'Agriculture, 2023) // **Figure 1 :** Impact of different intercropping cover crops on weediness. (Arvalis, Plant Institut, Terres Inovia and Unilet (2016) ; in the Field crops guide, Agricultural Chamber, 2023.)

## *Stockage du carbone et mise à disposition de l'azote dans les sols*

La présence de couvert en interculture favorise la biomasse microbienne du sol et impacte donc la quantité d'azote minéralisée (GIEE Magellan, 2019). L'azote restitué par le couvert prend en compte l'azote acquis par les plantes de couvert et l'azote donné au sol par leur dégradation (Justes *et al.*, 2009). Cette quantité d'azote restitué et la rapidité de la minéralisation dépendent notamment de l'état physique et organique du sol, du type de couvert, du ratio C/N des espèces qui le composent, de sa biomasse et de sa date de destruction (Constantin *et al.*, 2023 ; Tribouillois, 2015). Les légumineuses particulièrement, ont la capacité de fixer l'azote de l'air grâce à leur activité symbiotique, leur permettant de produire de l'azote en surplus pour le couvert en place et pour la culture suivante après leur dégradation (Constantin *et al.*, 2023).

Plus le ratio C/N d'une plante est faible, plus le taux de minéralisation est élevé et la cinétique de sa dégradation rapide (Tribouillois, 2015 ; Minette et Véricel, 2020). La dégradation de la biomasse produite par le couvert constitue un amendement du carbone séquestré par le couvert et peut conduire à une augmentation du stock de carbone dans le sol (Liu *et al.* 2005, Peng *et al.* 2023), qui participe notamment à la stimulation de cette minéralisation (Justes & Richard, 2017). L'ampleur du potentiel de stockage du carbone est variable en fonction des contextes climatiques, des propriétés du sol et des pratiques culturales en termes de travail du sol ou de rotation culturale (Peng *et al.*, 2023 ; Chenu *et al.* 2014). Le coefficient d'humification pour le carbone issu des racines de couvert est 2.3 fois plus haut que pour les parties aériennes des plantes (Kätterer *et al.*, 2011). Le carbone dérivant de la dégradation des racines est donc susceptible de contribuer davantage à la stabilisation du carbone et sa mise en réserve dans le sol que la même quantité de carbone dérivé des résidus aériens (Kätterer *et al.*, 2011). Le stockage du carbone dans le sol est cependant limité en amplitude car les teneurs en MO n'augmentent pas indéfiniment. Le taux de MO atteint en effet un plateau dont la valeur est dépendante du type de sol et, de manière plus générale, des conditions pédoclimatiques locales (Chenu *et al.*, 2014).

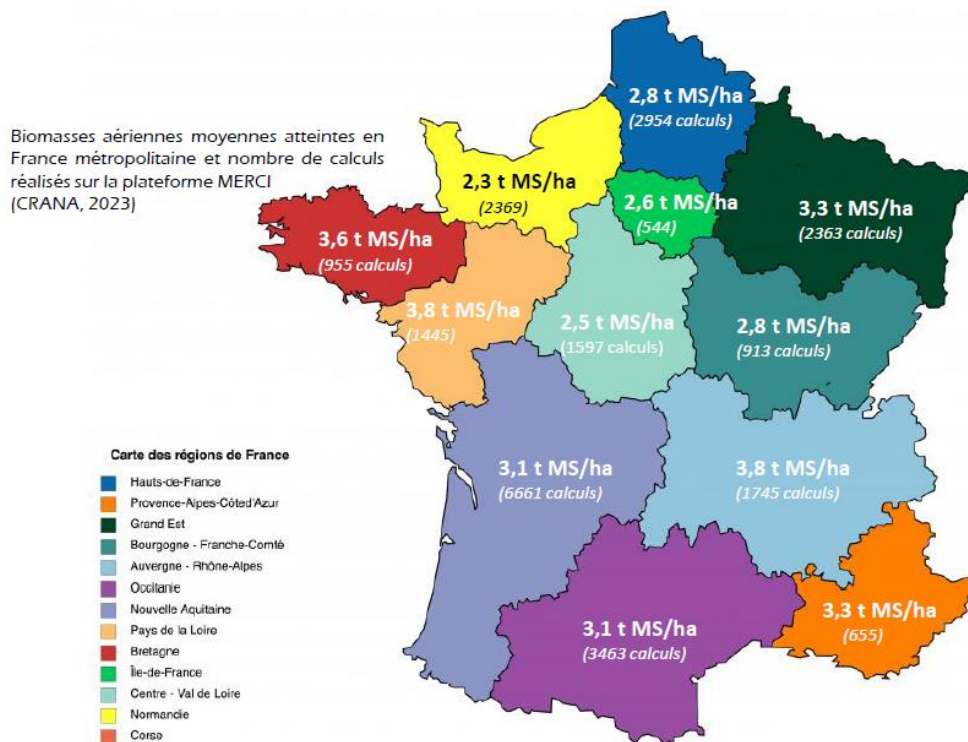
### 1.2.3. Régulation des adventices et autres services

#### *Contrôle des adventices*

Un couvert développé peut permettre de diminuer le niveau de salissement des parcelles en interculture (Fig. 1), notamment par compétition pour la lumière et les ressources, étouffement des adventices (Justes & Richard, 2017 ; Morison *et al.*, 2008 ; Adeux *et al.* 2022), ou grâce aux effets allelopathiques de certaines espèces (Adeux *et al.* 2022).

L'allélopathie est défini par Rice (1984) comme « tout effet direct ou indirect, positif ou négatif d'une plante sur une autre à travers la production de composés chimiques libérés dans l'environnement » (Doré *et al.*, 2004 ; Rice, 2012). Dans le cas des couverts végétaux, cela correspond à une exsudation de molécules biocides dans le milieu, notamment par les crucifères, graminées ou le sarrasin par exemple, qui peut conduire à une concurrence entre les couverts et les adventices (Justes & Richard, 2017).

Bien que des couverts productifs permettent un effet suppressif remarquable sur les populations adventices en comparaison d'un sol nu, l'effet suppressif des couverts sur les adventices n'est pas exclusivement dû à la biomasse du couvert (Adeux *et al.* 2021 ; Rouge *et al.*, 2022).



**Figure 2** : Biomasse aériennes totale moyenne sur les couverts végétaux de France métropolitaine. Données entrées sur le calculateur MERCI entre 2020 et 2023. (CRANA, 2023 dans Briaud et Minette, 2023). // **Figure 2** : Average total aerial biomass of plant cover crops in continental France. Data entered into MERCI calculator between 2020 and 2023 (CRANA, 2023 in Briaud, Q. and S. Minette. 2023).



D'autres mécanismes et variables entrent en jeu et sont principalement liés aux caractéristiques des espèces du mélange et des espèces adventices, tels que le type biologique, la phénologie, la croissance ou l'acquisition des ressources (Tribouillois *et al.*, 2015 ; Adeux *et al.*, 2022), mais aussi à l'état du milieu et aux pratiques de gestion agronomiques (Adeux *et al.*, 2021 ; Adeux *et al.* 2022, Cordeau *et al.* 2022, Rouge *et al.*, 2022). La capacité de la moutarde à réduire la croissance adventice par exemple, est observable même avec une faible productivité du couvert et pourrait être due à son rapide prélèvement d'azote du sol, sa couverture du sol dès les premiers stades de sa croissance, et ses potentiels effets allopathiques (Adeux *et al.* 2021). Au contraire, les espèces qui nécessitent une forte productivité pour montrer des effets sur les adventices (comme la vesce) peuvent permettre la lutte contre les adventices par leur effet étouffant (Adeux *et al.* 2021). La gestion agronomique, et notamment le travail du sol, entre aussi en jeu dans l'efficacité des couverts pour la lutte contre les adventices (Adeux *et al.*, 2021 ; Cordeau *et al.* 2022). Un travail du sol réduit est susceptible de favoriser une structure du sol plus grossière qu'en sol travaillé profondément, et d'impacter ainsi l'émergence du couvert, qui sera moins en mesure de concurrencer les communautés adventices (Adeux *et al.* 2021).

L'effet long terme des couverts sur les adventices des cultures suivantes dans la rotation est, quant à lui, encore mal connu et les conclusions à ce sujet restent prudentes (Adeux *et al.*, 2021 ; Adeux *et al.* 2022). Certains effets des couverts sur les adventices sont visibles mais concernent le stock semencier de la flore adventice peu nuisible, qui a tendance à diminuer quand les couverts sont installés sur une longue période. Les seuls effets avérés des couverts sont visibles sur les espèces adventices annuelles (Adeux *et al.*, 2022). Il existe peu de preuve d'effets positifs des couverts sur la gestion des espèces vivaces (Adeux *et al.*, 2022).

#### *Accueil et protection des auxiliaires*

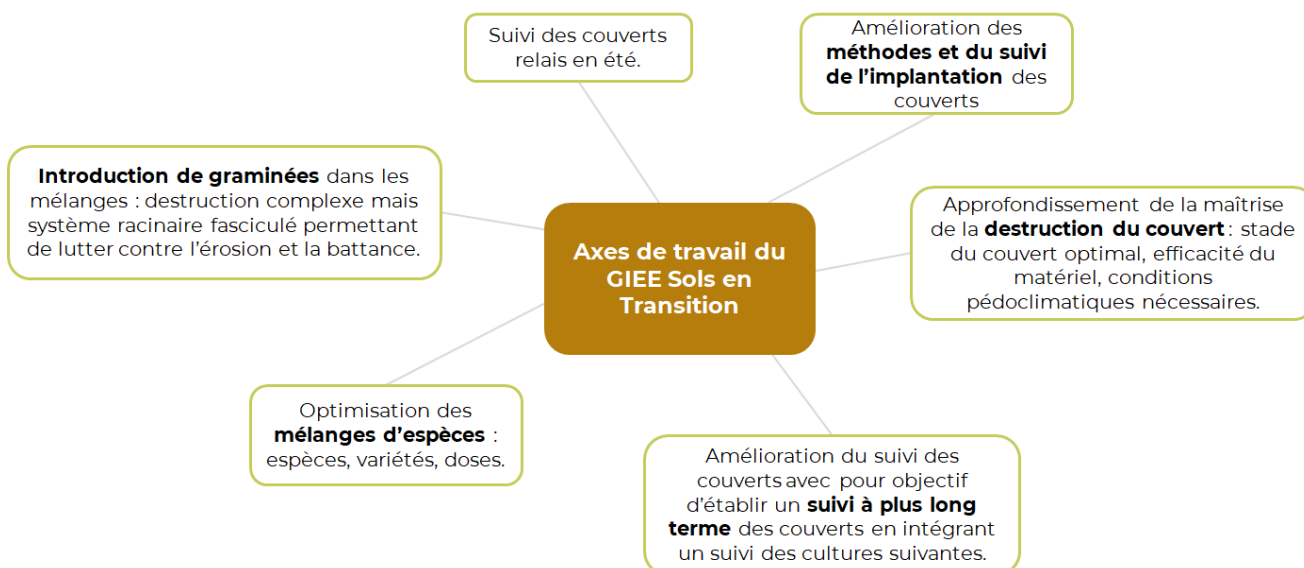
La population lombricienne du sol est sensible à la présence du couvert en surface. Bien que les effets directs du couvert sur les vers de terre ne soient pas toujours facilement quantifiables, l'amélioration des paramètres du sol et l'apport de matière assimilable a tendance à augmenter l'abondance des lombrics en comparaison d'un sol laissé nu (Euteneur *et al.*, 2020). La diversité des ratios C/N représentés dans les espèces du couvert est un facteur clé pour favoriser à la fois la reproduction et la croissance des lombrics (appétence pour les résidus de couverts à C/N faible), tout en assurant une bonne qualité du sol qui favorise leur abondance (grâce aux espèces aux C/N élevé) (Euteneur *et al.*, 2020)

### **1.3. Les couverts végétaux et leur utilisation**

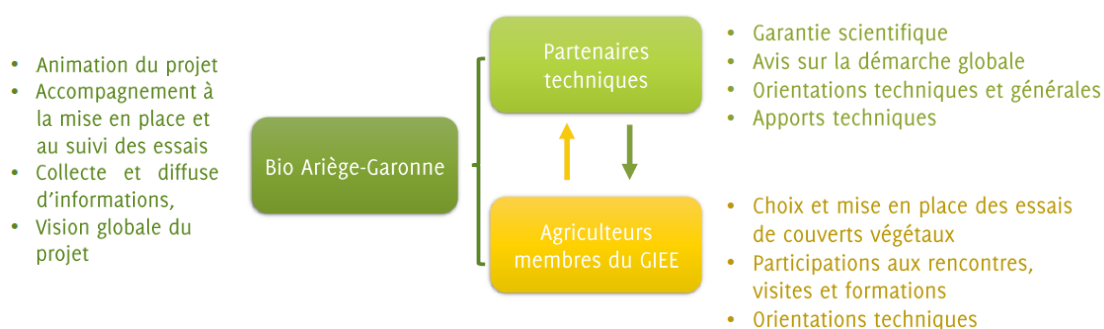
Aux Etats-Unis, la couverture des sols en interculture est encouragée par des subventions, qui ont permis d'augmenter la surface de sols couverts de 50 % entre 2012 et 2017, puis de 17 % entre 2017 et 2022 (Zulauf *et al.*, 2024). En 2022 les couverts d'interculture représentaient 4.7% de la surface agricole totale des Etats-Unis (USDA, 2022). En Union Européenne, plus de 23% des surfaces agricoles étaient encore laissées sans couvert végétal en hiver en 2016 (Peng, 2024).

Une estimation par imagerie satellite conclu qu'entre 31% et 43% des sols français étaient couverts en 2019 en interculture hivernale (Nowak *et al.*, 2021). Les couverts végétaux biologiques et conventionnels produisent en moyenne 3.3 T MS/ha, avec 37% des couverts suivis sur le territoire français présentant des biomasses inférieures à 2 T de MS/ha (analyse des données rentrées dans le calculateur MERCI entre 2020 et 2023 par Briaud et Minette, 2023).





**Figure 3** : Orientation prévisionnelle des essais par le GIEE Sols en transition. Axes de travail définis lors de la programmation du GIEE par l'ensemble du groupe d'agriculteur-ice-s et partenaires techniques. (Burc E., 2024, à partir du compte rendu de réunion par Bio Ariège-Garonne) // **Figure 3** : Provisional orientation of experiments by the EEIG "Sols en transition". Areas of work defined during EEIG programming by the entire group of farmers and technical partners. (Burc E., 2024, from BAG meeting report)



**Figure 4** : Fonctionnement du GIEE Sols en transition animé par Bio Ariège-Garonne. (Bio Ariège-Garonne 2023) // **Figure 4** : EEIG "Sols en transition" run by BAG. (Bio Ariège-Garonne, 2023)

La durée moyenne de développement des couverts végétaux d'interculture en France s'élève à 127 jours et les restitutions azotées au sol s'élèvent à 30 kg/ha, avec en moyenne 90 kg/ha d'azote piégé par le couvert (Briaud et Minette, 2023). Pour l'Occitanie, la production de biomasse moyenne des couverts est de 3.1 t de MS/ha (Fig. 2).

Dans le cadre du projet Sol D'Phy par Agro-transfert Ressources et Territoires il a été montré que pour maximiser la colonisation des racines et le potentiel de fissuration du sol, il est nécessaire de maximiser la durée de développement du couvert en l'implantant pendant 3 mois minimum, et d'optimiser la biomasse aérienne produite qui est recommandée supérieure à 2 t de MS/ha (Jamet et Cadoux, 2023). Concernant la composition des mélanges, 25 % des couverts implantés en France sont monospécifiques, seulement 13 % des couverts présentent plus de 5 espèces (Briaud et Minette, 2023).

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Le GIEE Sols en transition et son accompagnement

#### 2.1.1. Bio Ariège-Garonne : un Groupement d'Agriculteur·ice·s Biologiques et des projets de territoire

Le stage s'inscrit en appui à l'animatrice Grandes Cultures de l'association Bio Ariège-Garonne (BAG). Cette dernière est un Groupement d'Agriculteur·ice·s Biologiques (GAB) né de la fusion entre ERABLES 31 et le CIVAM Bio 09 depuis janvier 2021. L'association a pour but le développement de l'agriculture biologique et de l'agroécologie, locale, écologique et solidaire, auprès et avec les producteur·ice·s, transformateur·ice·s, les pouvoirs publics et les autres structures porteuse d'un projet de société écologique, équitable et solidaire. L'association s'attache à valoriser une agriculture éthique, rémunératrice pour les producteurs et ancrée sur son territoire. Les actions s'orientent sur l'accompagnement technique des agriculteur·ice·s, l'accompagnement des collectivités dans leurs projets agricoles et alimentaires, la sensibilisation à l'agriculture biologique et la représentation des agriculteur·ice·s d'Ariège et Haute Garonne.

BAG est affiliée au réseau FNAB, qui défend et développe l'agriculture biologique, et au réseau CIVAM, réseau de développement agricole et rural. L'association travaille en collaboration avec de multiples partenaires, comme la Chambre d'Agriculture, le conseil départemental, les plateformes de distribution ou d'autres associations, ce qui lui permet de s'inscrire pleinement dans le territoire et le corps professionnel qu'elle défend.

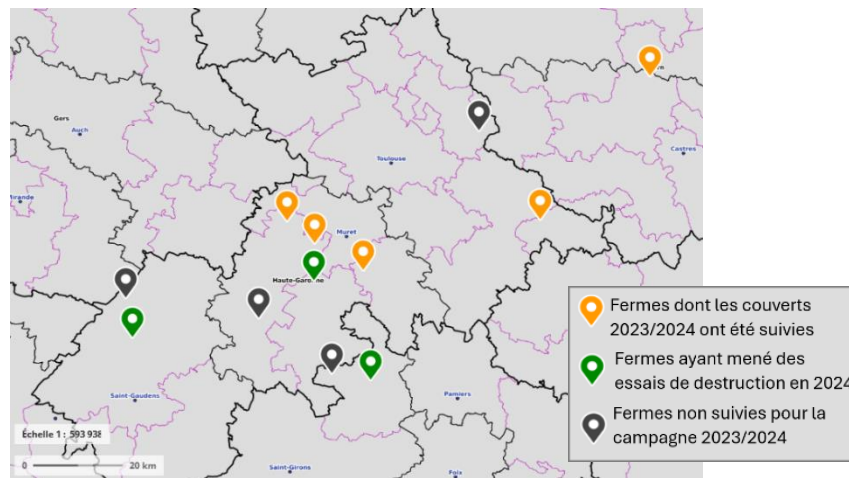
BAG est actuellement constituée de 12 salariées et d'un conseil d'administration, composé de 11 agriculteur·ice·s et distributeur·ice·s, dont le rôle est de décider des aspects stratégiques et d'image de l'association.

#### 2.1.2. Le GIEE Sols en transition : des expérimentations qui s'articulent autour des couverts végétaux

De 2020 à 2023, un premier GIEE animé par BAG, le GIEE Couverts végétaux, a permis de créer et dynamiser un groupe d'agriculteur·ice·s biologiques souhaitant explorer les pratiques de gestion des couverts végétaux sur le territoire d'Ariège et Haute-Garonne.



**Figure 5** : Rencontre GIEE du 25/03/2024 - visite des parcelles expérimentales de couverts végétaux menées par l'INRAE chez un agriculteur-ice du GIEE. (Photo : Bio Ariège-Garonne) // **Figure 5** : EEIG meeting - Tour of INRAE's experimental cover crop plots on a EEIG member's farm. (Picture : Bio Ariège-Garonne)



**Figure 6** : Localisation des fermes membres du GIEE Sols en transition en Haute Garonne et Ariège (Burc E., Mars 2024). // **Figure 6** : Location of Soils in Transition EEIG member farms in Haute-Garonne and Ariège (Burc E., March 2024).

Agriculteur concerné :		1		2		3		4		5		6		7		8		
Couvert étudié :		a	b	a	b	a	b	c	a	b	c	a	b	a	b	c	a	b
Espèces constituant le mélange	Féverole (Axel, Irena, Diva, et semences fermières)	x	x			x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	Moutarde (Asta, Carla)											x	x	x	x	x	x	
	Radis chinois (Daïkon)								x			x	x	x	x	x	x	
	Radis fourr. (Cassus et fermier)	x	x						x			x	x					
	Phacélie (Natra)								x							x	x	
	Vesce (de Narbonne, commune, fermière)			x								x	x			x	x	
	Trèfle blanc				x													
	Trèfle alex. (tigr)			x	x				x							x	x	
	Trèfle (squarosum)								x									
	Trèfle violet						x											
	Avoine brésilienne (Saia)								x		x							
	Avoine noire						x	x	x								x	
	Avoine fringuante			x														
	Avoine blanche (vodka)	x	x															
	Blé (rouge de Bordeaux)				x													
	Fenugrec (fenufix)			x	x													
	Tournesol (géant)				x													
	Sarrasin			x	x													
Pois (Assas, fermier)							x							x				
Colza				x														
Seigle fourr. Hiver (Turbo green)															x	x	x	
<b>Nombre total d'espèces constituant le mélange :</b>		<b>3</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>6</b>

**Figure 7** : Composition des mélanges de couverts hivernaux 2023/2024 sur les parcelles suivies dans le cadre du GIEE Sols en transition. (Burc E., 2024) // **Figure 7** : Composition of winter cover mixes 2023-2024 on plots monitored by the EEIG Soil in transition. (Burc E., 2024)

Le groupe a travaillé à l'identification des mélanges et itinéraires techniques les plus adaptés aux contextes des fermes et aux conditions pédoclimatiques, avec pour axes de travail principaux la gestion des adventices, la fertilité des sols, la limitation de l'érosion. Le GIEE Sols en transition, initié dès 2023, s'inscrit dans la continuité du premier. Il conserve les mêmes bases de travail en ajoutant deux autres objectifs que sont la réduction du travail du sol et la maîtrise des coûts de gestion des couverts. Pour cela, des pistes d'évolution par rapport au GIEE Couverts végétaux orientent les essais pour approfondir encore les connaissances et la maîtrise des itinéraires techniques répondant aux objectifs (Fig. 3).

Bio Ariège-Garonne constitue un intermédiaire entre les partenaires techniques du projet (INRAE, CREABio, expert agronome en semences de couverts, GIP LIA Auzeville) et les agriculteur·ice·s membres, par l'animation du groupe, l'accompagnement au suivi des essais et la collecte et la diffusion d'informations (Fig. 4). Le GIEE Sols en transition est constitué de 12 fermes labellisées AB, aux SAU comprises entre 32 et 240 ha (127 ha en moyenne), réparties sur les territoires de Haute-Garonne et Ariège.

L'animation du collectif de travail constitue le moteur des avancées et de l'amélioration des pratiques des agriculteur·ice·s membres. Les échanges de savoirs théoriques scientifiques et de retours d'expériences paysans permettant d'avancer constamment vers une meilleure maîtrise des pratiques, des rencontres du GIEE (environ 5 par an) ont été organisées par Bio Ariège-Garonne, rassemblant les agriculteur·ice·s et les partenaires techniques du GIEE (Fig. 5) pour des visites de fermes du groupe, de ferme innovante ou de plateformes expérimentales. Ces moments d'échanges, dont deux ont eu lieu pendant la durée du stage, ont été l'occasion de caractériser les besoins des agriculteur·ice·s pour orienter les futurs essais et ajuster la forme des livrables à diffuser en tenant compte des attentes du groupe.

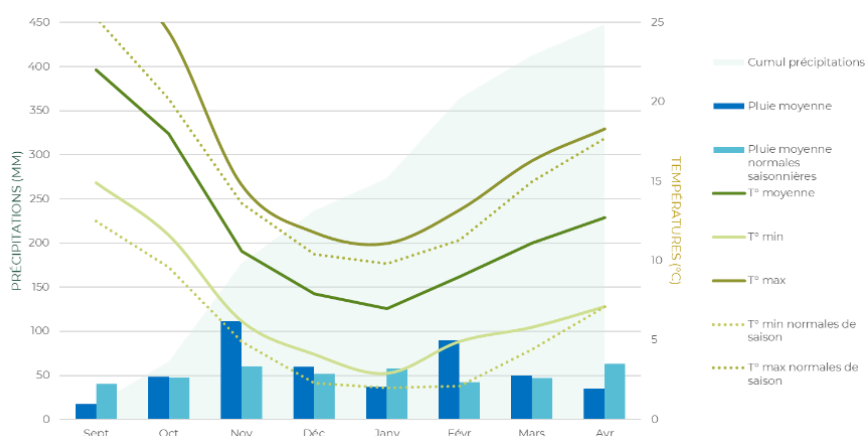
### 2.1.3. Profil des parcelles suivies et contextes expérimentaux

Le suivi a été réalisé chez les 8 agriculteur·ice·s du groupe ayant implanté des couverts d'interculture pendant l'hiver 2023-24 (Table 1). Certains agriculteur·ice·s ont mené cette année, en plus des essais d'identification des mélanges optimaux, des nouveaux essais sur l'amélioration de l'efficacité de destruction et la réduction du travail du sol (Fig. 6). Une partie du groupe n'a pas eu l'occasion ou n'a pas souhaité intégrer des couverts végétaux dans la rotation cette année et n'ont donc pas nécessité de suivi.

Au total 18 parcelles de surfaces variables (de 1 à 20 ha) en agriculture biologique ont fait l'objet de prélèvements et d'observations entre mars et juin 2024. Les parcelles sont toutes situées sur les départements d'Ariège et de Haute-Garonne, avec des typologies de sols variables (table 1 et Fig. 6). Les combinaisons d'espèces intégrées dans les mélanges et les itinéraires techniques associés ont été raisonnés individuellement par les agriculteur·ice·s en fonction de leurs objectifs et de leurs opportunités (Fig. 7). Les agriculteur·ice·s sont incité·e·s à intégrer des bandes « témoin » pour permettre une comparaison des modalités testées à une référence. Ces témoins peuvent être constitués d'une espèce pure, notamment pour être comparée au mélange de cette espèce avec d'autres, d'un mélange déjà mené pour explorer des améliorations potentielles, ou d'une bande laissée nue pour simplement estimer les bénéfices d'une couverture du sol. Néanmoins, les agriculteur·ice·s ne sont parfois pas en mesure de faire ces bandes témoin, par contrainte logistique ou manque de temps.

**Table 1 : Profil des fermes membres du GIEE. Les couverts hivernaux 2023-2024 des agriculteur-ice-s 1 à 8 ont été suivis dans le cadre du stage. Les autres n'ont pas mis en place de couverts cette année-là. (Burc E., 2023) // Table 1 : Profile of EEIG member farms. 2023-2024 winter cover crops of farmers 1 to 8 were monitored. The others did not set up any cover crops that year. (Burc E., 2023)**

Identifiant de l'agriculteur-ice membre du GIEE	Année d'installation	Nombre d'emplois/UTH	Système de production	SAU totale	Sols des parcelles suivies en 2024	Méthode de semis des couverts	Méthode de destruction privilégiée	Objectifs de services rendus par le couvert
Agri 1	2016	5	Grandes cultures, vigne	210	Argilo-calcaire	Semoir pour semis simplifié	Broyage et déchaumage (disques)	Fertilité et gestion des adventices
Agri 2	1985	2	Polyculture élevage	240	Argilo-calcaire	Semoir pour semis simplifié	Broyage et/ou déchaumage (disques)	Fertilité
Agri 3	2020	2,2	Polyculture élevage	128	Argilo-calcaire et boubène	Semoir direct à disques	Broyage et déchaumage (disques ou dents), pâturage	Fertilité, limitation de l'érosion, gestion des adventices
Agri 4	2013	1,5	Grandes Cultures (50% irrigués)	180	Boubène	Semoir à dents ou semoir combiné avec herse rotative	Broyage et passage de cultivateur (chisel)	Fertilité
Agri 5	1985	1	Grandes cultures	90	Boubène	Semis à la volée	Broyage et/ou déchaumage (disques)	Fertilité
Agri 6	1998	1	Grandes Cultures	110	Limono-argileux	Semoir pour semis simplifié	Fraise rotative	Fertilité et gestion des adventices
Agri 7	2014	1	Grandes cultures, légumes de plein champ, huiles	64	Limons	Semoir combiné et semis à la volée	Broyage et déchaumage (disques)	Fertilité et maintien de la structure du sol
Agri 8	2008	1	Grandes Cultures	67	Limo-sablo-argilo-caillouteux	Semoir combiné avec herse rotative	Roulage et semis direct sur couvert	Fertilité, gestion des adventices, maintien de l'humidité et de la structure du sol
Agri 9	1996	1	Grandes Cultures	95	Non suivi en 2024	Non suivi en 2024	Non suivi en 2024	Non suivi en 2024
Agri 10	2020	3	Grandes Cultures	203	Non suivi en 2024	Non suivi en 2024	Non suivi en 2024	Non suivi en 2024
Agri 11	1990	1	Grandes Cultures	113	Non suivi en 2024	Non suivi en 2024	Non suivi en 2024	Non suivi en 2024
Agri 12	2022	4	Grandes Cultures	32	Non suivi en 2024	Non suivi en 2024	Non suivi en 2024	Non suivi en 2024



**Figure 8 : Climatologie de la période de développement des couverts étudiés dans le cadre du GIEE Sols en transition. La station Muret-Lherm (31) est choisie pour sa situation géographique au milieu de l'ensemble des essais du groupe. (Bio Ariège-Garonne à partir de infoclimat.fr, 2024) // : Climatology during the cover crop development period monitored by the GIEE Sols en transition. (Bio Ariège-Garonne using background information on infoclimat.fr, 2024)**

## 2.2. Des expérimentations aux champs et par les agriculteur·ice·s pour un suivi en conditions réelles de production

Au regard des objectifs énoncé précédemment, les mesures menées chaque année sur les parcelles de couvert du groupe concernent les restitutions permises par le couvert aux cultures suivantes et son potentiel effet immédiat sur la structuration de surface du sol. Nous verrons, que cette années, d'autres aspects découlant de l'émergence de nouveaux besoins du groupe ont été abordés et seront approfondis pour compléter l'évaluation et l'optimisation des performances agronomiques et économiques des couverts.

### 2.2.1. Contexte des essais de couverts hivernaux 2023/24

*Contexte climatique local : une pluviométrie inhabituelle réduisant les fenêtres d'action lors de l'implantation et de la destruction.*

Les couverts relevés en 2024 ont subi un climat parfois peu propice à leur bonne implantation, avec un manque de pluies en automne suivie d'une période de forte pluviométrie en entrée d'hiver. De même, en fin de cycle, les pluies récurrentes ont empêché une destruction optimale chez certains agriculteur·ice·s. Globalement, des grands écarts entre la pluviométrie effective et la moyenne mensuelle ont été relevés (Fig. 8).

*La stratégie des essais paysans s'inscrit dans les conditions et contraintes de production*

Dans le cadre des essais, il a été convenu lors des précédents comités de pilotage que les parcelles expérimentales doivent faire l'objet de la même attention qu'une culture de rente par les agriculteur·ice·s. L'ensemble des opérations de l'itinéraire technique depuis la récolte de la culture précédente jusqu'à la dernière opération avant le semis de la culture suivante sont relevées. Contrairement à une station expérimentale contrôlée où des professionnels assurent le suivi, les parcelles font l'objet de moins de surveillance. Leur diversité de contexte et de mise en œuvre n'est pas maîtrisable et leur suivi est mené par les agriculteur·ice·s, l'animatrice Grandes Cultures, et éventuellement les partenaires techniques. La diversité des typologies des parcelles (coteaux séchants, fonds de vallée, caillouteux ou hydromorphes) permet d'obtenir des retours d'essais similaires à ceux qui peuvent être obtenus en conditions réelles de production sur le territoire considéré. Néanmoins, tout aléa mettant en danger la parcelle ou la production suivante peut faire l'objet d'une modification des méthodes de gestion et donc du dispositif expérimental, le couvert n'étant pas la priorité pour les agriculteur·ice·s qui souhaitent assurer premièrement les productions suivantes. Par exemple, un·e agriculteur·ice ayant mené des essais de destruction du couvert a subi des dégâts importants lors du semis de la culture suivante et a dû retravailler et semer sa parcelle, au risque de lisser les différences potentiellement observables entre les différentes modalités de travail du sol menées en amont. Les conditions de gestion des couverts ne sont ainsi pas maîtrisables, ce qui peut complexifier l'analyse et la généralisation des résultats mais qui intensifie la justesse des retours d'essais et les intègre pleinement dans le contexte de production.





**Figure 9** : Méthodologie de suivi des essais de couverts végétaux, déroulement des mesures et essais de destruction menés. (Burc E., 2024). // **Figure 9** : Methodology for monitoring cover crop experiments, measurement procedures and destruction trials. (Burc E., 2024).

## 2.2.2. Couverts hivernaux 2023-2024 : des suivis individuels pour une avancée du groupe vers des pratiques satisfaisantes

### *Réflexion collective et individuelle sur l'orientation des essais et suivi des parcelles*

Les échanges lors des rencontres permettent aux agriculteurs d'affiner l'orientation de leurs essais grâce à l'expertise et aux retours d'essais des autres membres et partenaires techniques du GIEE. C'est par ces échanges qu'est née l'envie pour certain·e·s de tester des manières d'optimiser les coûts et l'efficacité de destruction des couverts.

A la fin du cycle de développement du couverts (début du printemps), des relevés de biomasses sont réalisés au plus proche de la date de destruction prévue par les agriculteur·ice·s, dont la date est définie principalement en fonction de l'avancement du couvert, des conditions météorologiques et du temps disponible pour l'agriculteur·ice. Ce jour de rendez-vous constitue un moment d'échange, d'observations et de relevés sur la parcelle d'essais, généralement en présence de l'agriculteur·ice (Fig. 9). Par un échange préalable aux mesures, l'appréciation de l'agriculteur·ice sur la conduite de son couvert est relevée. Cet entretien non directif, permet de personnaliser l'échange, sa durée, en laissant l'agriculteur·ice exposer son expérience librement et spontanément. Des questions plus techniques et nécessaires à l'analyse des données peuvent également y être posées.

### *Utilisation de la méthode MERCI pour estimer les performances agronomiques des couverts*

Afin de quantifier les bénéfices agronomiques des couverts, une estimation des restitutions du couvert au sol et à la culture suivante est calculée à partir de relevés de biomasse menés sur chaque parcelle. Ces relevés sont faits en utilisant le protocole mis à disposition par la méthode MERCI (annexe I). La méthode MERCI est utilisée pour mesurer le recyclage et la mise à disposition des éléments minéraux par le couvert pour la culture suivante. En effet, la dynamique de minéralisation de l'azote est proportionnelle à la biomasse du couvert, à son ratio C/N et à sa date de destruction (partie 1.2.2.). De plus, il existe une forte corrélation entre la biomasse fraîche du couvert, sa biomasse sèche et les quantités d'azote produite. Les quantités d'azote apportées par le couvert peuvent donc être prédites en fonction de ces biomasses fraîches pesées au champ (Constantin *et al.* 2023).

Créé par la Chambre d'Agriculture en partenariat notamment avec Arvalis, l'INRAE et Bordeaux Sciences Agro, le calculateur MERCI couple les références de terrain de précédentes campagnes de mesures sur les couverts végétaux pour estimer les teneurs en azote, phosphore, potassium, soufre et magnésium restituables à la culture suivante, en prenant en compte les espèces implantées, leur biomasse, la durée de développement et le traitement (s'il est restitué ou exporté, enfoui ou laissé en dépôt de surface) ainsi que le contexte pédoclimatique dans lequel s'inscrit le couvert (Minette et Véricel, 2020). La quantité d'azote piégé par chaque espèce du couvert est aussi estimé en fonction de leur biomasse respective. La méthode permet également d'estimer la part de carbone provenant de l'interculture (par sa partie aérienne et racinaire) qui rejoint le stock de carbone stable du sol. La contribution du couvert aux entrées de carbone dans le sol est ainsi estimée par la méthode et exprimée en quantité de carbone stable (t/ha) et en quantité de matière organique entrante (t/ha), elle-même estimée et calculée à partir du carbone stable.



La méthode MERCI s'appuie sur la forte corrélation entre les biomasses aériennes et racinaire de chaque espèce pour estimer la biomasse racinaire de chaque espèce (Site internet et calculateur MERCI).

Parallèlement aux relevés de biomasse, et parce que l'action du système racinaire des couverts conditionne les effets de celui-ci (Hudek, 2021), un test bêche est réalisé sur chaque modalité en s'inspirant de la méthode VESS (annexe II), afin d'appréhender les potentiels effets du couvert en place et/ou des pratiques sur la structure des premiers horizons du sol, et notamment sur le maintien de cette structure par les racines. Dans la mesure du possible, les relevés sont faits en présence de l'agriculteur·ice pour qu'il·elle puisse apporter ses remarques et son appréciation quant à l'évolution du sol de ses parcelles.

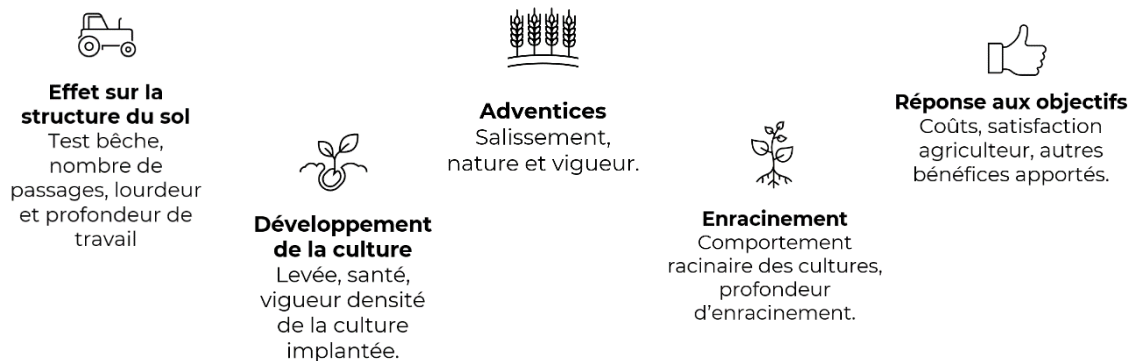
#### *Un suivi complet de l'itinéraire technique pour en calculer les coûts*

Un outil de calcul des coûts des itinéraires techniques a été précédemment initié par Bio Ariège-Garonne, et a fait l'objet d'amélioration et d'actualisation dans le cadre du stage. Le suivi des opérations culturales avant et après l'implantation du couvert végétal a été mené pour permettre de calculer les coûts de chaque itinéraire technique complet, et augmenter ainsi le nombre de références consultables pour le choix des agriculteur·ice·s. Le coût estimé des itinéraires techniques est calculé en prenant en compte les opérations culturales menées entre la récolte de la culture précédente et le semis de la culture suivante. En reportant les outils utilisés par chacun (type d'outil et largeur) au barème de coûts des opérations culturales 2023 (Chambres d'agriculture, 2023), le prix de chaque passage d'outil est calculé en intégrant le coût du GNR, les charges fixes et variables des outils (entretien, réparation et charges fixes annuelles) et le coût du chantier lié au tracteur adapté (Chambres d'agriculture, 2023). Etant donné que les coûts des semences est difficilement estimable car dépendante des années et choix d'approvisionnement des agriculteur·ice·s (semences auto-produite ou lignée achetée), une réflexion a été menée lors du comité de pilotage pour décider de les intégrer ou non au bilan des coûts. Le prix de vente des semences auto-produites est variable en fonction des coopératives, des périodes de l'année et des négociations, et ne peut donc pas constituer une référence de coût des semences fermières. Aucune référence de prix d'échange de semences fermière n'ayant pu être identifiée, il a été choisi d'intégrer le coût maximal de semences en estimant, pour chaque couvert, que l'ensemble des semences sont achetées par l'agriculteur·ice. Les prix retenus sont ceux des variétés correspondantes sur les sites des vendeurs semenciers (références intégrées préalablement dans l'outil de calcul). Avec cette estimation haute du prix, l'agriculteur·ice peut choisir d'autoproduire certaines semences pour réduire les coûts. On aboutit ainsi à un bilan théorique individuel des coûts totaux de l'itinéraire technique (annexe III). Ce bilan se veut le plus précis possible et pourra être ensuite une base d'aide à la décision pour cibler les éléments qui peuvent être impliqués dans les démarches de réduction des coûts.

### 2.2.3. **Initiation des essais de destruction pour tendre vers une optimisation de l'efficacité et une réduction du travail du sol**

#### *Co-construction du protocole d'essais et définition d'indicateur pour diriger le travail vers les besoins du groupe*

La co-construction d'essais sur l'efficacité immédiate et à long terme des différentes méthodes de destruction a été menée (Fig. 9).



**Figure 10** : Indicateurs de mesures retenus pour l'évaluation de l'efficacité de destruction du couvert sur les modalités menées. (Burc E., 2024) // **Figure 10** : Measurement indicators used to assess the effectiveness of cover crop destruction. (Burc E., 2024)

	<b>Agri 1</b>	<b>Agri 2</b>	<b>Agri 3</b>
Objectifs et/ou thématique de travail :	Tester la pertinence du broyage.	Evaluer l'efficacité agronomique et économique de la fraise rotative.	Optimiser le nombre de passages d'outils et étudier l'effet de la fertilisation du couvert
Essais menés :	Plusieurs bandes ont été réalisées pour confirmer ou non l'intérêt du broyage en amont des autres opérations de destruction. 2 bandes ont été menées sans broyage préalables (une modalité avec une culture précédente cameline et lentille et une modalité avec une culture précédente de seigle).	3 parcelles ont été détruites avec des combinaisons d'outils différentes, toutes intégrant la fraise rotative, connue pour son efficacité de préparation du sol. Chez Agri 2, les modalités n'ont pas pu être menées sur une même parcelle pour des raisons logistiques, les parcelles sont donc éloignées entre elles de 500 mètres à 7 kilomètres.	Sur une même parcelle, l'agriculteur-ice a mené 5 modalités de destruction différentes, avec et sans broyage, avec et sans chisel, avec et sans épandage de fumier pendant le développement du couvert.

**Table 2** : Objectifs et principe des essais de destruction des couverts hivernaux 2023/24 par 3 agriculteur-ice-s du GIEE Sols en transition. (Burc E., 2024) // **Table 2** : Objectives and principle of winter cover crop destruction experiments 2023/24 by 3 farmers of EEIG Soils in transition. (Burc E., 2024)

En concertation par téléphone et à la suite d'une visioconférence les agriculteur-ice-s intéressés et certains partenaires techniques et ressources externes, des indicateurs ont été identifiés par leur pertinence pour être mesurés après destruction du couvert et implantation de la culture suivante. Ces indicateurs (Fig. 10) visent à identifier l'efficacité des méthodes, en termes de maîtrise des adventices et des taux de repousses du couvert. Ils ont aussi pour but d'étudier les éventuels effets des techniques et outils de destruction testés sur l'implantation des racines, le développement et la santé de la culture suivante. Enfin, dans l'optique du groupe de tendre vers la réduction du travail du sol et la maîtrise des coûts, une attention particulière est accordée à l'effet de ces méthodes sur la structure du sol, et un bilan des coûts totaux des itinéraires techniques est calculé pour chaque modalité (voir partie 2.2.2.).

Les indicateurs sont relevés sur l'ensemble de la parcelle, avec 6 répétitions pour le comptage du taux de levée de la culture, 3 répétitions pour les tests bêches d'évaluation de la structure du sol et du système racinaire. Le reste est évalué à l'échelle de la parcelle (annexe IV).

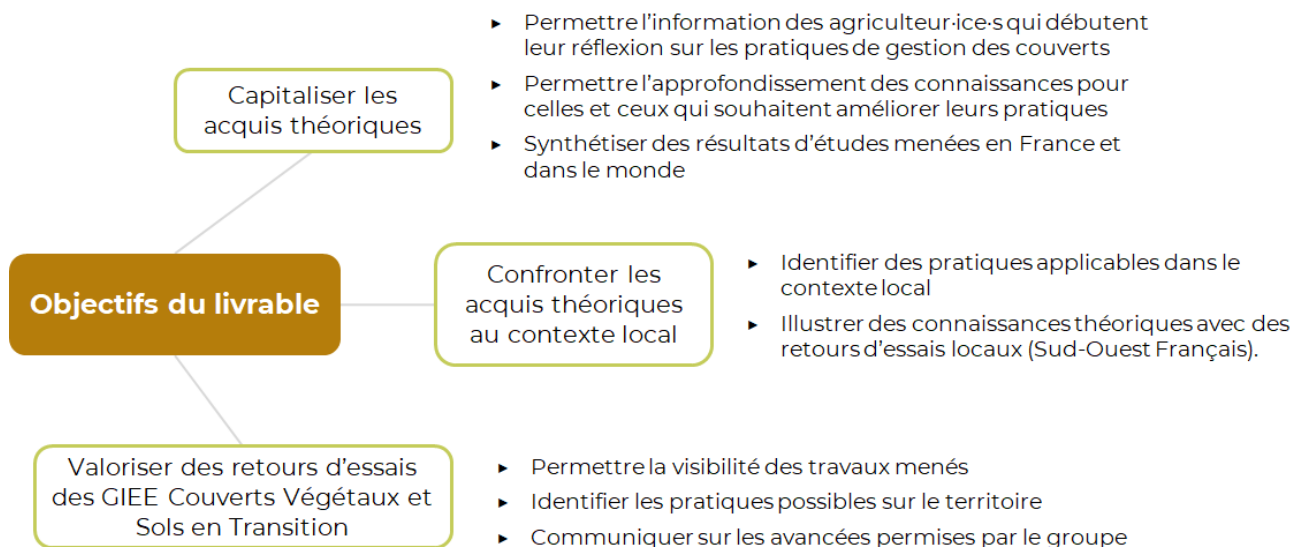
*Des mesures après implantation de la culture suivante : un recul nécessaire pour évaluer l'efficacité de destruction et l'effet du couvert à plus long terme*

Le suivi après l'implantation de la culture suivante a donc été initié dans le cadre du stage chez 3 agriculteur-ice-s du groupe, volontaires et disponibles pour mener des essais de destruction sur leurs parcelles de couvert. Sur une même parcelle ou, à défaut, sur plusieurs parcelles, différentes combinaisons d'opérations de destruction ont été menées avec des objectifs variables (table 2).

Les indicateurs précédemment définis par le groupe (partie précédente) y ont été relevés entre 4 et 5 semaines après le semis de la culture, et dans la mesure du possible, avant toute première opération de désherbage mécanique. La plupart des observations de gestion des adventices, effets sur la structure du sol, enracinement, sont menés lors de cette unique mesure au champ. Pour le reste des indicateurs, en l'absence de témoin et de conditions expérimentales contrôlées, les résultats des essais de destruction prennent la forme d'auto-évaluation de l'agriculteur-ice sur son itinéraire technique, évitant ainsi les biais impliqués par une mesure unique à un instant T, et intégrant le ressenti de l'agriculteur-ice sur l'ensemble de sa gestion de la parcelle.

Afin d'optimiser la méthode de suivi post-destruction du couvert, le protocole et la fiche de suivi de terrain qui ont été créés ont été testés en pratiques lors des premières mesures de terrains dans le cadre du stage et ont été révisés et perfectionnés pour être réutilisés les années suivantes et assurer ainsi un suivi à plus long terme des effets des couverts (annexe IV).

De même que pour l'ensemble de l'itinéraire technique, les coûts de mécanisation de chaque modalité de destruction ont été calculés.



**Figure 11** : Objectifs fixés pour la rédaction du livrable à destination des agriculteur·ice·s (Burc E., 2024) // **Figure 11** : Goals set to produce the deliverable for farmers. (Burc E., 2024)

## 2.3. Analyse des données : mutualiser les expériences et les connaissances au sein du groupe et avec les partenaires techniques

*Analyse des résultats obtenus pour la campagne hivernale 2023/2024 : les résultats des relevés*

*MERCI au cœur des bilans*

Après saisie des résultats de biomasses prélevées dans le calculateur MERCI, les restitutions potentielles sur chaque parcelle (azote, phosphore, potasse, carbone stable, matière organique) sont estimées par le logiciel et extraites du calculateur pour être analysées.

Le rapport azote piégé/azote restitué est calculé pour évaluer l'efficacité, pour une quantité de biomasse donnée, de la conversion de l'azote piégé en restitution pour la culture suivante. De même, le rapport entre la biomasse produite et l'azote restitué est calculé pour chaque couvert.

Par la particularité de l'expérimentation aux champs, seuls les essais comportant un témoin peuvent être comparés entre eux. Les modalités sans témoin sont analysées individuellement. Des échanges avec les partenaires techniques ont mené à un consensus sur la manière d'analyser les résultats du groupe : le plus pertinent, avec les moyens à disposition, est d'évaluer l'état structurel du sol et les restitutions et de les aligner avec l'appréciation de l'agriculteur·ice concerné sur la satisfaction de ses objectifs et la facilité de gestion de son couvert tout au long de l'itinéraire technique.

L'objectif des analyses est de connaître les bilans individuels et collectifs sur la campagne de couverts hivernaux 2023/2024, en chiffrant les restitutions potentielles de chaque couvert pour le sol et la culture suivante et en identifiant les obstacles rencontrés et les progrès que chaque expérimentateur·ice a pu faire dans la maîtrise de l'itinéraire technique.

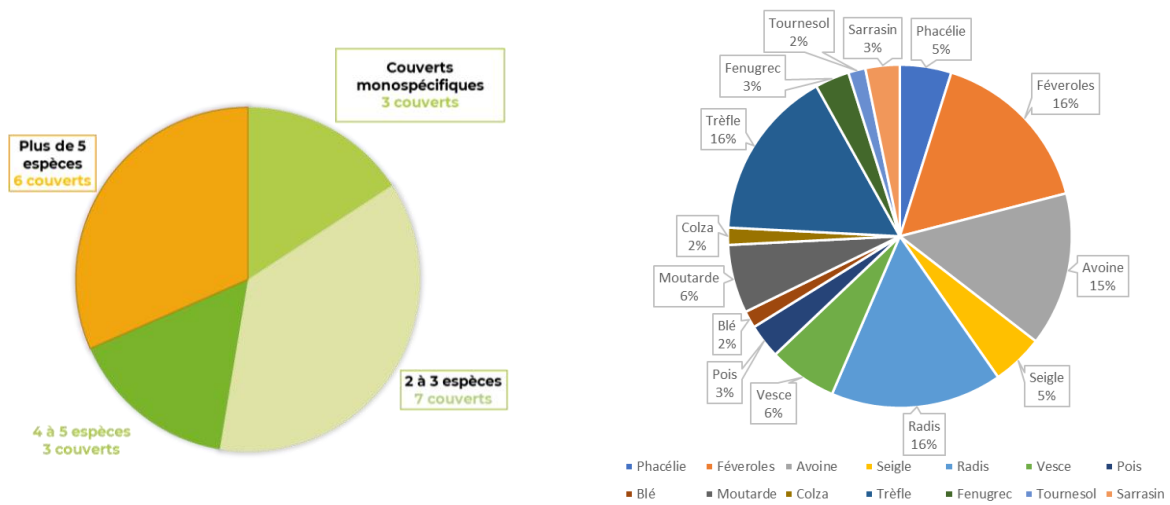
*Restitution des résultats : les échanges sur les pratiques testées au cœur des décisions d'avenir*

Les résultats des essais de couverts menés en hiver 2023/2024 sont présentés lors d'un COFIL en juin 2024, en binôme avec l'animatrice Grandes Cultures. L'objectif premier de cette rencontre est de capitaliser les conclusions tirées de chaque expérimentation, d'échanger à leur sujet, et d'orienter en conséquence les essais à venir. Il se déroule en trois parties : un passage en revue des résultats individuels des agriculteur·ice·s, un temps d'échanges au sujet des expériences menées, et un temps de définition des objectifs et stratégies à venir pour les orientations des expérimentations. La rencontre se fait en présence et avec la participation encouragée des partenaires techniques.

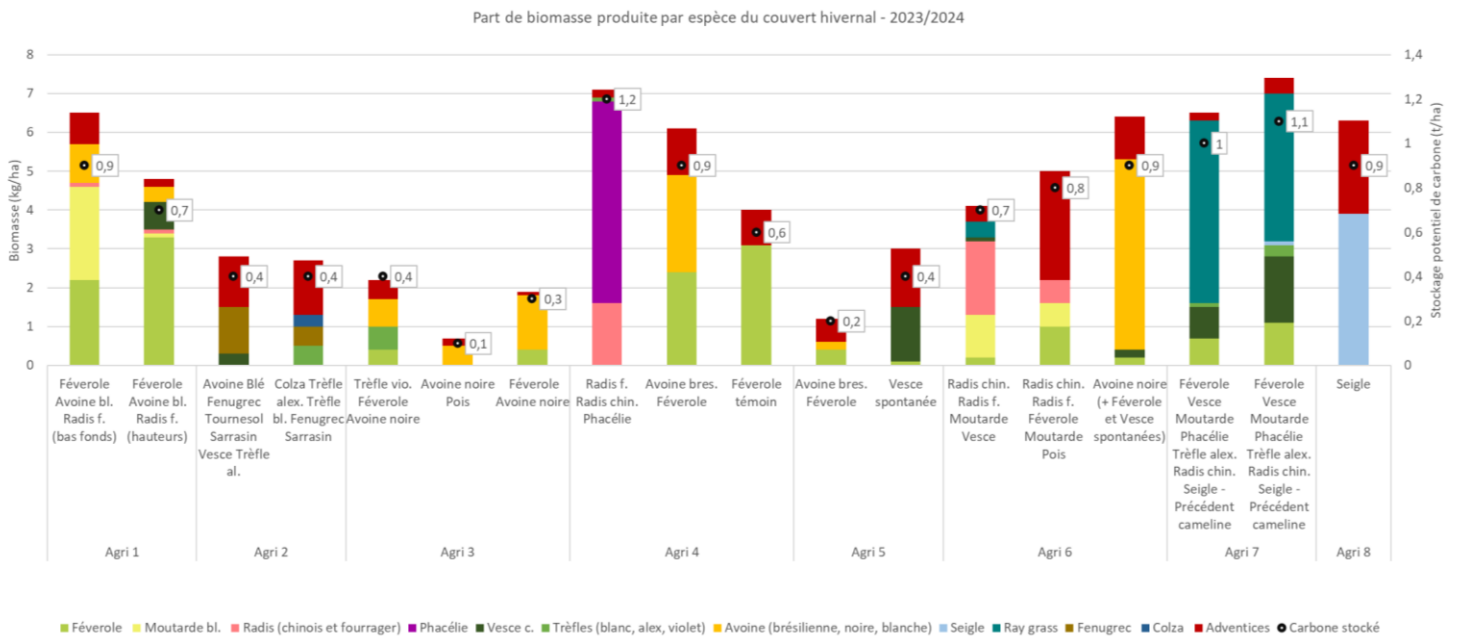
## 2.4. Diffusion des résultats pour l'aide à la décision

*Création de fiches techniques individuelles pour capitaliser les résultats d'essais*

Afin de valoriser et diffuser les essais menés par les agriculteur·ice·s, de mutualiser l'expérience acquise au fil des années, et d'améliorer ainsi la connaissance des couverts et des pratiques associées, des fiches techniques sont créées pour être diffusées et servir d'aide aux choix. Plusieurs versions se sont succédées, et ont été améliorées en réponse aux précisions et souhaits émis par les agriculteur·ice·s lors des rencontres et échanges individuels. La version finale se rapproche ainsi au maximum des attentes du groupe et pourra servir de base pour la communication des résultats des prochaines années.



**Figure 12** : Caractérisation des espèces utilisées dans les couverts. Couverts hivernaux 2023/2024 du GIEE Sols en transition. (Burc E., 2024) // **Figure 12** : Characterization of species used in cover crops. GIEE Soils in transition 2023/2024 winter cover crops. (Burc E., 2024)



**Figure 13** : Biomasse produite par les espèces du couvert et stockage potentiel du carbone stable dans le sol. Estimations issues du calculateur MERCI. Données prélevées sur les couverts hivernaux 2023/2024 du GIEE Sols en transition, sans les bandes témoin. (Burc E., 2024) // **Figure 13** : Biomass produced by cover crop species and potential storage of stable carbon in the soil. Estimations from MERCI calculator. Data collected on the 2023/2024 winter cover crops of EEIG Soils in transition, without the control strips. (Burc E., 2024)

De même que les fiches techniques, la rédaction d'un livrable à vocation d'information et d'accompagnement des agriculteur·ice·s dans leurs démarches et réflexion autour des couverts végétaux est lancée. L'objectif de ce livrable est de valoriser les travaux du groupe, en capitalisant un grand nombre de connaissances théoriques sur les bénéfices, les complexités et les pratiques de gestion des couverts végétaux, tout en les croisant avec des retours d'expériences menées par le GIEE et par d'autres organismes sur l'ensemble du territoire Occitan (et régions voisines s'intégrant dans le contexte Sud-Ouest). Le guide s'appuie sur plus de 60 sources, parmi lesquelles nous pouvons citer Arvalis, l'ITAB, le GIP LIA, les Chambres d'Agriculture, le GIEE Magellan. Il est pensé pour répondre aux objectifs du groupe (Fig. 11).

## 3. Résultats

### 3.1. Bilan de la campagne hivernale 2023/2024 : des performances agronomiques variables qui conditionnent en partie la satisfaction des agriculteur·ice·s

La fin d'année 2023 a été peu propice à l'implantation des couverts hivernaux, notamment par un mois de septembre sec suivi d'un automne très pluvieux (Fig. 8), rendant difficile l'accès aux champs par les machines. Les dates de semis, le nombre d'espèces et la composition des mélanges ont été très variables au sein du groupe, dépendant principalement des opportunités (semences disponibles, temps de travail), des objectifs et des conditions pédoclimatiques (Fig. 12, table 4). Les espèces dominantes pour leur utilisation dans le groupe sont la féverole (présente dans 16% des couverts), le radis (16%), l'avoine (15%) et le trèfle (16%), avec pour chacune des variétés variables selon les préférences des agriculteur·ice·s (Fig. 7 et 12). Au total sur l'ensemble du groupe, 14 espèces différentes ont été implantées.

#### *Satisfaction des expérimentateur·ice·s*

Au cours des échanges avec les agriculteur·ice·s, leurs ressentis vis-à-vis de la maîtrise de l'itinéraire technique (très satisfait, satisfait, moyennement satisfait, assez satisfait, plutôt peu satisfait) sont relevés et les objectifs futurs qui découlent des expérimentations peuvent être abordés (Table 3). Il s'agit ici d'une liste non exhaustive des principales perspectives évoquées par l'agriculteur·ice interrogé au regard de ses expérimentations récentes et des échanges entre pairs. Le niveau de satisfaction est évalué soit directement pendant l'entretien si l'agriculteur·ice expose clairement son niveau de satisfaction, soit indirectement à la suite des échanges en fonction de l'évaluation globale de tous les aspects évoqués par l'agriculteur·ice. Globalement les agriculteur·ice·s sont plutôt satisfait·e·s de leurs couverts mais n'ont pour la plupart pas eu la possibilité de maîtriser pleinement leur implantation du fait d'une météo particulièrement défavorable (partie 2.1) au travail des parcelles et à une forte concentration des travaux culturaux sur une courte période.

Expérimentateur-ice	Evaluation par l'agriculteur-ice	Perspectives de l'agriculteur-ice
Agri 1	<b>Satisfait-e</b> Point positif : forte biomasse produite Point négatif : différence entre les parcelles (hauteur et bas-fonds) et crainte d'une grenaison des repousses de moutarde.	Intérêt pour la destruction par la fraise rotative dans une perspective de réduction du nombre de passages et limiter les problèmes de tassement.
Agri 2	<b>Satisfait-e</b> Point positif : bonne production de biomasse, facilité de destruction du fenugrec Point négatif : beaucoup de dégâts de limaces sur la culture suivante. Après 4 ans en ABC, développement de nouvelles adventices à maîtriser (légumineuses).	Eviter l'avoine dans les couverts pour limiter l'humidité au moment du semis et maîtriser les limaces.
Agri 3	<b>Moyennement satisfait-e</b> Point positif : voit une amélioration de la structure du sol depuis le début des couverts. Point négatif : semis trop tardif, peu de levée du pois semé.	Prendre du recul sur les récents essais de pâturage des couverts.
Agri 4	<b>Très satisfait-e</b> Point positif : forte production de biomasse, facilité du mélange avoine/féverole pour de bons résultats de biomasse produite. Point négatif : développement du trèfle difficile (confirmé les années précédentes).	Continuer l'utilisation du radis. Garder le mélange avoine/féverole pour assurer la facilité et réussite du couvert.
Agri 5	<b>Plutôt peu satisfait-e</b> Point positif : peu de temps passé sur les couverts et coût réduits, la vesce spontanée joue le rôle de couvert. Point négatif : mauvaises conditions de semis, parcelles non ressuyées au moment du semis.	Réflexion sur l'utilisation de la vesce spontanée en couvert pour limiter les coûts.
Agri 6	<b>Satisfait-e</b> Point positif : bonne production de biomasse, bonne structuration du sol par l'avoine. Point négatif : mauvaise levée du pois.	Continuer d'utiliser l'avoine, malgré les subtilités de destruction qu'elle implique, pour son effet structurant. Utilisation de la fraise rotative satisfaisante, méfiance sur les années propices à la compaction.
Agri 7	<b>Moyennement satisfait-e</b> Point positif : forte production de biomasse, amélioration de la fertilité et de la vie du sol. Point négatif : mauvaises conditions de semis favorisant l'invasion de ray-grass et la mauvaise levée de la phacélie, radis et moutarde. Couvert et adventices moins développés sur le précédent seigle.	Travail sur la maîtrise des adventices et le maintien de la structure du sol (limons). Souhait de détruire le couvert avec la fraise rotative mais sol trop caillouteux.
Agri 8	<b>Satisfait-e</b> Point positif : assez de biomasse produite pour permettre le semis direct du soja en suivant. Point négatif : semis tardif, variété de seigle (Turbo green) peu satisfaisante au roulage.	Retour à l'auto-production et l'utilisation de la variété satisfaisante (Ovid) pour les prochaines campagnes.

**Table 3** : Appréciation des agriculteur-ice-s du GIEE Sols en transition sur leurs couverts végétaux hivernaux 2023/2024. Perspectives avancées pour les prochaines campagne - liste non exhaustive des éléments abordés pendant les entretiens. (Burc E., 2024) // **Table 3** : EEIG Soils in transition farmers' assessment of their 2023/2024 winter cover crops. Prospects for future campaigns (non-exhaustive list of topics discussed during the interviews). (Burc E., 2024)



### *Biomasses produites*

Le premier indicateur de réussite du couvert pris en compte est la biomasse mesurée aux champs pour chaque espèce du couvert et des adventices (Fig. 13).

Pour la campagne 2023/2024, les biomasses produites sont très variables en fonction des contextes et la satisfaction des agriculteur·ice·s diffère au sein du groupe (Fig. 13 et Table 3). Trois des couverts ont des biomasses sèches inférieures à 2 T de MS/ha, qui correspondent à des niveaux de satisfaction moyen à faible (Agri 3 et Agri 5) (Fig. 13 et table 4).

Les couverts du groupe ont produit en moyenne 4.5 tonnes de MS/ha, avec des biomasses allant de 0.8 à 7.4 tonnes de MS/ha. Cette année, les mélanges aux plus fortes productions de biomasse ont été la féverole/avoine blanche/radis (4.7 à 6.5 t MS/ha), le radis fourrager/radis chinois/phacélie (7.1 t MS/ha), l'avoine brésilienne/féverole (6.1 t MS/ha), l'avoine noire pure (6.4 t MS/ha), la féverole/vesce/moutarde/phacélie/trèfle/radis chinois/seigle (6.4 et 7.4 t MS/ha) et le seigle (6.3 t MS/ha) (Fig. 13 et Table 4). Certains couverts, moins productifs en biomasse correspondent aux couverts qui n'ont pas ou peu satisfait les agriculteur·ice·s, par des mauvaises conditions d'implantation ou de croissance, notamment l'avoine noire/pois de Agri 3 (0.8 T MS/ha) et ou l'avoine brésilienne/féverole (1.1 T MS/ha) de Agri 5 (Fig.13 et Table 3).

L'estimation des biomasses racinaires et de leur proportion par rapport aux biomasses aériennes sont variables d'un mélange à l'autre, en allant de 19 à 68% de MS racinaire (Table 4).

Les mélanges contenant du pois ont des résultats de biomasse plutôt faible, notamment à cause de mauvaises conditions de levée qui n'ont pas permis un développement correct du pois. Le comportement du trèfle dans les couverts s'est montré variable en fonction des mélanges est des contextes. À la suite des échanges avec les agriculteur·ice·s, ce comportement aléatoire se montre assez récurrent au fil des années et dépendant notamment des espèces et variété de trèfles utilisées, de la gestion du couvert (notamment du niveau d'affaiblissement du trèfle par les opérations culturales), et des densités de semis. La vesce n'a pas montré de problématique de développement sur les essais de cette année.

### *Gestion des adventices*

La part des adventices dans la biomasse totale est variable d'un couvert à l'autre (Fig. 13 et table 4), avec des couverts très peu touchés par les adventices (notamment le radis f./radis ch./phacélie/trèfle de Agri 4 ou féverole/avoine et avoine/pois de Agri 3), et d'autres particulièrement colonisés par les espèces adventices (radis ch./radis f./féverole/moutarde/pois de Agri 6 et féverole/vesce/moutarde/phacélie/trèfle/radis ch./seigle de Agri 7). Le couvert de Agri 7 est particulièrement concurrencé par les adventices (2/10) mais présente une forte production de biomasse et un chevelu racinaire dense structurant l'horizon de surface du sol visible lors du test bêche (Table 4). Dans le cas de cet agriculteur·ice sur sol limoneux, le ray-grass spontané, favorisé par une météo défavorable au couvert au début de son cycle, s'est fortement développé.

	Couvert relevé	MS aérienne (t/ha)	MS racinaire (t/ha)	MS racinaire en % de MS aérienne	Azote piégé (kg/ha)	Azote restitué (kg/ha)	Azote piégé/Azote restitué	Biomasse azote restitué	Stockage carbone (t/ha)	Evolution N <sub>2</sub> O (t/ha)	Pression adhésive (1 : très compétitif, 10 : faible)	Taux de recouvrement du sol par le couvert (en % de sol couvert)	Culture précédente	Date de semis du couvert	Date de destruction	Prix de mécanisation des itinéraires techniques (de la première opération après la culture précédente à la dernière avant semis de
Agri 1	Féverol/Avoine bl./Radis f. (bas fonds)	6,5	1,4	22%	170	62	2,74	0,10	0,9	1,6	7	90%	Blé moderne	19/10/2023	02/04/2024	282 €/ha
	Féverole/Avoine bl./Radis f. (hauteurs)	4,7	0,9	19%	145	62	2,34	0,08	0,7	1,1	6	80%	Blé moderne	19/10/2023	02/04/2024	282 €/ha
	Témoin (Moutarde Spontanée)	6,4	1,3	20%	155	56	2,77	0,11	0,9	1,6	/	95%	Blé moderne	19/10/2023	02/04/2024	282 €/ha
Agri 2	Avoine/Blé/Fenugrec/Tournesol/Sarrasin/Vesce/Trèfle al.	2,8	0,7	25%	85	38	2,24	0,07	0,4	0,7	7	90%	Blé (izalco)	11/10/2023	07/04/2024	387 €/ha
	Colza/Trèfle alex./Trèfle bl./Fenugrec/Sarrasin	2,8	0,7	25%	80	36	2,22	0,08	0,4	0,7	5	70%	Blé/féveroles	15/09/2023	08/04/2024	318 €/ha
Agri 3	Trèfle vio./Féverole/Avoine noire	2,2	1,1	50%	75	35	2,14	0,06	0,4	0,6	5	85%	Blé dur	19/10/2023	30/03/2024	345 €/ha
	Avoine noire/Pois	0,8	0,2	25%	25	11	2,27	0,07	0,1	0,2	7	45%	NR	01/11/2023	01/03/2024	430 €/ha
	Féverole/Avoine noire	1,9	0,5	26%	50	19	2,63	0,10	0,3	0,5	10	65%	Soja	01/11/2023	30/03/2024	523 €/ha
Agri 4	Radis f./Radis chin./Phacélie/Trèfle	7,1	3,5	49%	200	65	3,08	0,11	1,2	2	9	90%	Orge pois	15/09/2023	27/03/2024	390 €/ha
	Avoine bres./Féverole	6,1	1,5	25%	145	41	3,54	0,15	0,9	1,5	6	80%	Soja	22/10/2023	27/03/2024	362 €/ha
	Témoin (féverole)	4	0,8	20%	120	45	2,67	0,09	0,6	1	4	60%	Triticale pois	22/10/2023	27/03/2024	362 €/ha
Agri 5	Avoine bres./Féverole	1,1	0,3	27%	35	16	2,19	0,07	0,2	0,3	3	35%	Blé/féverole	15/11/2023	11/04/2024	218 €/ha
	Témoin (Vesce spontanée)	2,9	0,5	17%	95	45	2,11	0,06	0,4	0,7	/	85%	Blé/féverole	NR	11/04/2024	150 €/ha
Agri 6	Radis chin./Radis f./Moutarde Vesce	4	2,7	68%	130	41	3,17	0,10	0,7	1,3	5	65%	Blé ancien	16/09/2023	05/04/2024	345 €/ha
	Radis chin./Radis f./Féverole/Moutarde/Pois	5	1,6	32%	130	42	3,10	0,12	0,8	1,3	4	90%	Avoine blanche	20/09/2023	16/04/2024	275 €/ha
	Avoine noire	6,4	1,7	27%	140	42	3,33	0,15	0,9	1,6	3	95%	Avoine blanche	20/09/2023	13/04/2024	376 €/ha
Agri 7	Féverole/Vesce/Moutarde/Phacélie/Trèfle alex./Radis chin. Seigle - Précédent seigle	6,4	2,1	33%	180	59	3,05	0,11	1	1,6	2	100%	Seigle	28/10/2023	11/04/2024	541 €/ha
	Féverole/Vesce/Moutarde/Phacélie/Trèfle alex./Radis chin./Seigle - Précédent cameline	7,4	2,1	28%	220	83	2,65	0,09	1,1	1,9	2	100%	Caméline/lentille	28/10/2023	11/04/2024	572 €/ha
Agri 8	Seigle	6,3	1,6	25%	145	50	2,90	0,13	0,9	1,5	5	80%	Blé dur	07/11/2023	20/05/2024	250 €/ha

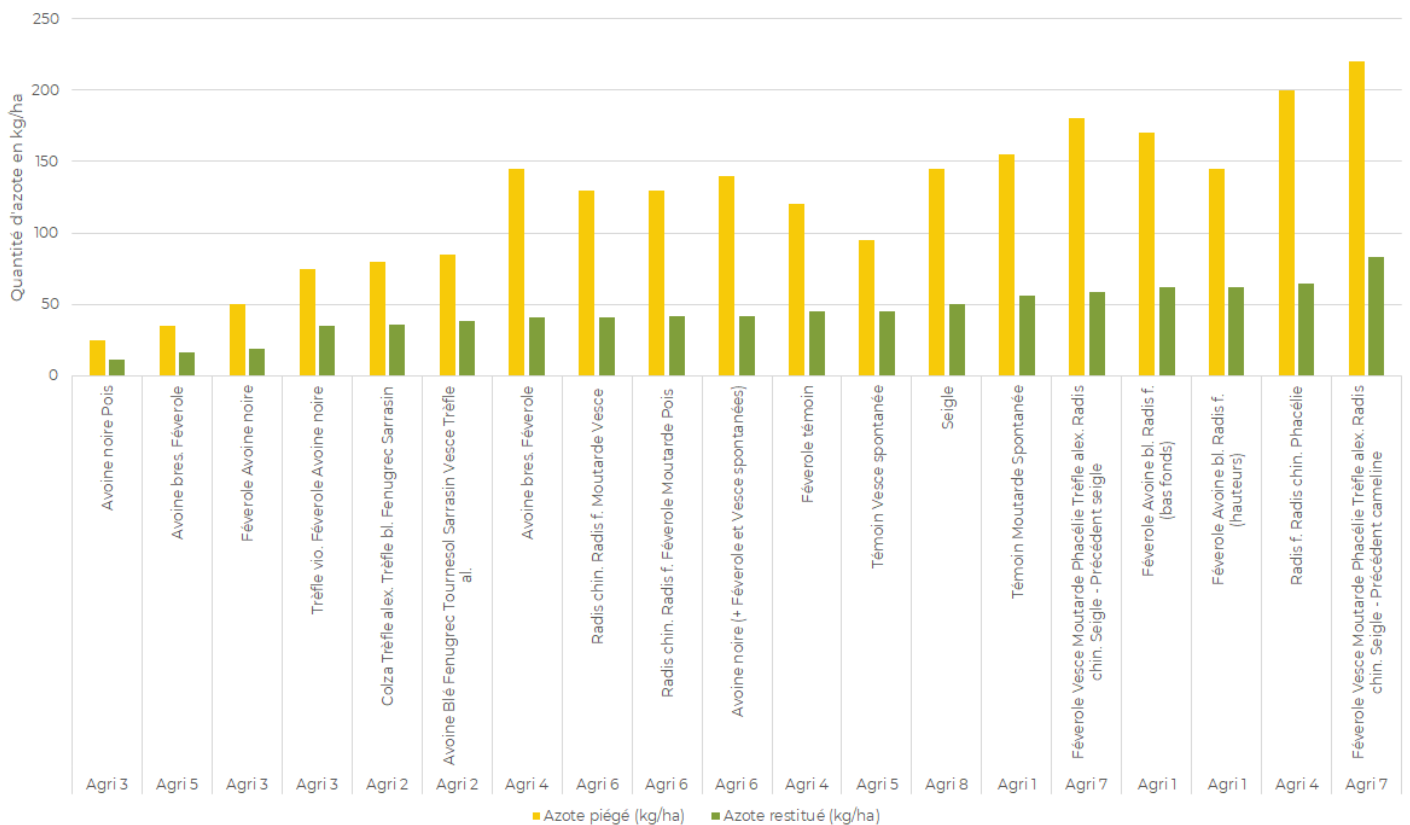
**Table 4 :** Bilan des itinéraires techniques des couverts et des restitutions estimées par la méthode MERCI. Données prélevées sur les couverts hivernaux 2023/2024 du GIEE Sols en transition (2024). Abréviations : NR : non renseigné ; Avoine bl. : avoine blanche ; Radis f. : radis fourrager ; Trèfle alex. : trèfle d'Alexandrie ; Radis chin. : radis chinois ; Trèfle bl. : trèfle blanc. (Burc E., 2024) // **Table 4 :** Overview of technical itineraries for cover crops and estimated returns using the MERCI method. Data collected on the 2023/2024 winter cover crops of the GIEE Sols en transition (2024). (Burc E., 2024)

### *Restitutions azotées estimées*

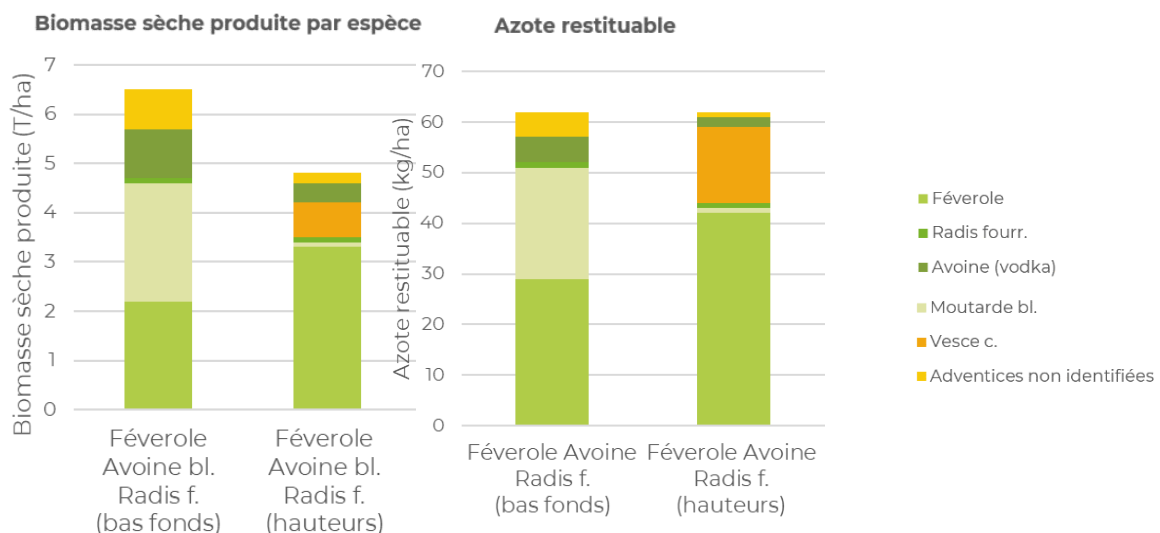
Le piégeage de l'azote et les restitutions azotées à la culture suivantes sont estimés avec la méthode MERCI (Table 4 et Fig. 14). En moyenne, l'azote piégé par les couverts représente 122 kg/ha, avec une moyenne de 44.6 kg/ha d'azote restitué pour la culture suivante.

Le couvert de féverole pure de Agri 4, bien que produisant une plus faible quantité de biomasse que son couvert de féverole/avoine, présente un rapport biomasse produite/azote restitué parmi les plus faibles (0.09 contre 0.15 pour le couvert de féverole/avoine), et restitue donc au sol une plus grande quantité d'azote que d'autres couverts de même biomasse (Table 4). De même, malgré une plus faible biomasse du couvert en « hauteurs » de Agri 1 par rapport au même mélange en « bas-fonds », la proportion de féveroles dans la biomasse totale est supérieure et l'azote restitué est identique (Table 4 et Fig. 15).

Les apports de matière organique au sol par le couvert varient entre 0.2 T/ha et 1.9 T/ha, avec une moyenne de 1.15 T/ha (Table 4). Le stockage potentiel du carbone varie entre 0.1 et 1.2 T/ha, avec une moyenne de 0.7 T/ha (Fig. 13 et Table 4).



**Figure 14** : Quantités d'azote piégé et restitué pour chaque couvert. Estimation par le calculateur MERCI. (Burc E., 2024) // **Figure 14** : Nitrogen uptake and release for each cover crop. Estimation by MERCI calculator. (Burc E., 2024)



**Figure 15** : Focus sur l'efficacité des restitutions d'azote pour une biomasse aérienne donnée – cas de Agri 1. (Burc E., 2024) // **Figure 15** : Focus on the efficiency of nitrogen release for a given aerial biomass - Agri 1 case study. (Burc E., 2024)

## 3.2. Retours sur l'efficacité de destruction et la maîtrise des coûts : des essais peu nombreux mais prometteurs.

### 3.2.1. Bilan des coûts des itinéraires techniques

Les coûts des itinéraires techniques varient entre 150 €/ha pour le couvert de vesce spontanée, et 572 €/ha pour le couvert Agri 7 avec précédent cameline (Table 4). Les coûts de mécanisation des couverts est peu conditionné par la quantité de biomasse produite (Fig. 16), le  $R^2$  de la droite de régression linéaire étant faible (inférieur à 0.03).

### 3.2.2. Retours d'essais sur les expérimentations de destruction

Les agriculteur·ice·s ayant mené des essais de méthodes de destruction sur leurs parcelles ont tous·tes été confronté·e·s à des imprévus liés notamment aux conditions pédoclimatiques inadaptées à une mise en place correcte des cultures. Certains essais initialement prévus ont donc été modulés en réponse à ces aléas, aboutissant à des modalités de destruction propres à chaque contexte.

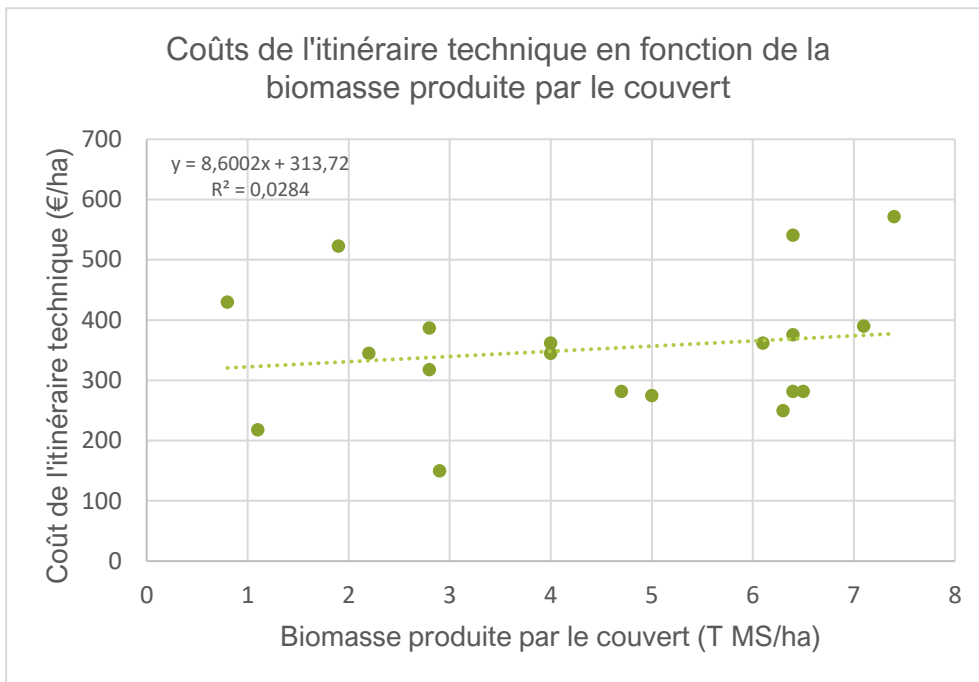
Malgré cela, chaque agriculteur·ice a pu identifier les pratiques qui conviennent à son contexte et ses objectifs. Les essais ont notamment confirmé que le broyage en première opération de destruction permet une meilleure efficacité des opérations suivantes (passage des outils à disques et à dents facilité, absence de résidus de couverts en surface) et donc de la préparation du semis de la culture suivante, malgré un coût légèrement plus élevé que pour des modalités sans broyage (325 €/ha main d'œuvre comprise, contre 295 €/ha sans broyage dans le cas de Agri 1) (Table 4). L'utilisation de la fraise rotative dans le processus de destruction et de préparation du semis permet, dans la plupart des cas, de limiter drastiquement le nombre de passages d'outils et d'obtenir dès le premier passage un sol propice au semis. Cette année, du fait de la particularité des conditions climatiques favorables à la levée des adventices et défavorable au passage des tracteurs aux moments de l'année adéquat, Agri 2 a souhaité assurer la préparation du sol et a ajouté d'autres opérations culturales au passage de la fraise, notamment pour réduire la pression adventice.

La priorité cette année a été donnée à la démarche de lancement du travail sur la mise en place et le suivi de ces essais. Les résultats obtenus par chaque agriculteur·ice sont précieux pour elles·eux et pour les autres professionnels car cela constitue une vitrine des possibilités d'itinéraires techniques envisageables et peut représenter une aide aux choix des pratiques. Néanmoins, par l'impossible généralisation des résultats du fait de la singularité des contextes et des essais, l'analyse des essais 2024 ne seront que peu évoqués dans le présent mémoire. Un exemple de comparaison des modalités chez un agriculteur·ice expérimentateur est néanmoins consultable en annexe V.

### 3.2.3. Valorisation et diffusion des données

*La nécessaire capitalisation des résultats pour leur intégration dans le livrable*

Le guide aborde les grandes thématiques qui entrent en jeu dans le choix des pratiques intégrant les couverts d'interculture. Il est divisé en 4 parties qui abordent sous différentes approches les étapes de la gestion des couverts végétaux, du choix des espèces à la destruction, en passant par l'implantation et les points de vigilance à considérer pendant son développement.



**Figure 16** : Coûts des itinéraires techniques en fonction de la biomasse totale produite par le couvert. Biomasse estimée par la méthode MERCI sur les couverts hivernaux 2023/2024 du GIEE Sols en transition. (Burc E., 2024) // **Figure 17** : Costs of technical management as function of total biomass produced by the canopy. Biomass estimated by MERCI method on winter cover 2023/2024 of the GIEE Soils in transition (Burc E., 2024)

Une partie bibliographique synthétise des connaissances théoriques et pratiques sur les services apportés par les couverts ainsi que les enjeux auxquels ils sont susceptibles de répondre. Une autre partie aborde la gestion technique de la mise en place des couverts dans les rotations, définissant notamment les pratiques d'implantation et de destruction ainsi que l'adaptation de ces techniques aux objectifs et contextes de chaque agriculteur·ice. Un outil d'aide au choix des espèces du couvert (annexe VI) est créé avec l'objectif de capitaliser les informations d'experts à ce sujet. Cet outil se base principalement sur les caractéristiques agronomiques propres à chaque espèce et la capacité de ces espèces à répondre aux objectifs de services écosystémiques visés par l'agriculteur·ice. Il intègre les retours d'essais du GIEE et de ses partenaires techniques. Le guide aborde ensuite les subtilités du choix des méthodes de destruction en définissant les points clés de vigilance à prendre en compte pour une efficacité optimisée et une maîtrise des coûts de destruction.

La validation du livrable par les partenaires techniques, les agriculteur·ice·s du groupe et la responsable de communication de l'association aura lieu dans les mois suivant la période de stage pour une diffusion dès que possible. Sa disposition sous forme de fiches a été pensée pour qu'il puisse être complété si d'autres éléments ou thématiques de travail veulent être abordées à l'avenir.

#### *Valorisation des résultats individuels et échanges générés par les retours d'essais*

A chaque agriculteur·ice du groupe correspond une fiche technique qui retrace l'ensemble des essais qu'il a mené en hiver 2023/2024, les résultats obtenus en matière de restitution au sol, d'état de surface des sols, ainsi que l'appréciation générale de l'agriculteur·ice sur la gestion de sa parcelle et l'atteinte de ses objectifs. Elles intègrent un bilan estimé des coûts impliqués dans l'itinéraire technique complet. Ces fiches ont pour vocation de constituer un support de présentation des résultats et d'aide à la décision pour les agriculteur·ice·s souhaitant initier ou approfondir leurs pratiques. Pour cela, elles seront diffusables et accessibles à tous (annexe VII). Ces fiches seront, à l'instar du guide, validées par les partenaires techniques et les agriculteur·ice·s du groupe avant d'être rendues accessibles librement en ligne.

Les fiches individuelles ont été créées et ajustées progressivement en prenant en compte les attentes exprimées par le groupe lors des échanges individuels, rencontres techniques et comité de pilotage. Elles seront diffusées entre autres à l'occasion de salons comme Innov'Agri (salon plein champs de démonstrations agricoles) ou les Pyrénéennes (salon mettant à l'honneur toutes les filières agricoles de la chaîne Pyrénéenne) en fin d'année 2024.

## **4. Discussion**

### **4.1. Les partages d'expérience en conditions agriculteur·ice·s permettent d'aider aux choix des couverts au regard de leurs services écosystémiques et de leurs bénéfices agronomiques pour la culture suivante**

Les observations relevées sur les parcelles d'essais de la campagne hivernale 2023/2024 sont un pas de plus vers la maîtrise des itinéraires techniques. L'identification des mélanges d'espèces et des pratiques qui optimisent les services rendus est permise par la pluralité, la répétition et l'amélioration des essais au fil des années.

#### 4.1.1. Ciblage progressif des espèces satisfaisantes pour chaque contexte

*La production de biomasse, principal indicateur de satisfaction des agriculteur·ice·s*

Les dates de semis sont tardives par rapport à la période recommandée dans le Sud de la France entre le 15 août et le 15 septembre (Chambre d'Agriculture Drôme, 2017). Les couverts testés dont les biomasses sèches estimées sont inférieures à 2 T MS/ha (table 4) se trouve en deçà de la biomasse considérée comme étant la limite basse pour que le couvert remplisse ses fonctions premières de couverture et de maintien de la structure (Jamet et Cadoux, 2023). Les productions faibles de biomasses ou les proportions élevées d'adventices peuvent être aussi liées à la période tardive d'implantation étant donné qu'à l'entrée de l'hiver, la croissance des couverts se trouve ralentie (Chambre d'Agriculture Drôme, 2017), et qu'un semis tardif laisse peu de temps au couvert de se développer avant cette chute de la production de biomasse.

On note cependant lors des entretiens qu'une faible production de biomasse n'est pas nécessairement synonyme d'échec, certain·e·s agriculteur·ice·s privilégiant notamment l'amélioration progressive de la santé et de la structure du sol. C'est le cas notamment de Agri 3, dont le couvert a produit une biomasse faible mais qui estime observer une amélioration de la structure de son sol depuis le début de l'installation des couverts sur sa parcelle. Un couvert à faible biomasse peut ainsi satisfaire les objectifs par d'autres propriétés des espèces, notamment de structuration du sol ou de couverture à moindre coût et investissement en temps de travail (Tribouillois *et al.* 2015., Hudek, 2021).

Les résultats montrent que la biomasse, parfois non négligeable, des adventices dans le couvert peut augmenter considérablement la biomasse totale de la couverture végétale. Les effets potentiellement pénalisants des adventices sur la croissance du couvert et la gestion de la culture suivante (partie 1.2.3.) peuvent être en partie compensés par la forte biomasse produite qu'elles permettent et par le développement d'un système racinaire très dense dont le pouvoir structurant en surface peut être très favorable (Arvalis – Les fiches couverts). Néanmoins, dans le cas d'un couvert riche en adventices, leur maîtrise par la suite n'est pas assurée (Adeux *et al.*, 2022) et les coûts d'implantation et de semence du couvert n'étant pas négligeables, les objectifs du couvert ne sont généralement pas pleinement atteints.

*Les dynamiques de l'azote, un paramètre au cœur des choix*

Les résultats du GIEE soulignent la relation entre la biomasse produite par le couvert et sa quantité d'azote restituable au sol (Constantin *et al.*, 2023). Plus la biomasse du couvert est élevée, plus celui-ci est susceptible de restituer de l'azote. Cette tendance n'est cependant pas systématique, certains couverts aux faibles biomasses présentant des taux d'azote restituables plus élevés que des couverts à plus forte biomasse.

Bien que la quantité d'azote piégé par le couvert conditionne en partie la quantité d'azote restitué au sol (Fig. 14), des variations entre les mélanges sont perceptibles, confirmant la pluralité des facteurs entrant en jeu dans la capacité des plantes à piéger efficacement l'azote et à la restituer au sol (partie 1.2.2.). Le couvert de vesce spontanée de Agri 5 par exemple présente un rapport azote piégé/azote restitué faible, témoignant d'une efficacité de conversion de l'azote piégé en azote restituable (Fig. 15) - efficacité propres aux légumineuses et à leur activité symbiotique favorisant la fixation de grandes quantités d'azote du sol et de l'air (Constantin *et al.*, 2023).



A l'inverse, les couverts ne contenant pas ou peu de légumineuses sont susceptibles d'avoir des taux d'azote piégé élevés en regard des restitutions qu'elles permettent. C'est le cas notamment du couvert de radis/moutarde/vesce de Agri 6, dont le taux d'azote piégé est particulièrement élevé par rapport à la quantité d'azote qu'elle permet de restituer (Fig. 14). Ces résultats confirment les acquis théoriques sur les différences et la complémentarité des caractéristiques propres à chaque espèce (Tribouillois, 2015 ; GIEE Magellan, 2019).

#### *L'amélioration de la fertilité du sol par les couverts*

Les apports estimés de MO et de carbone au sol présentent également un intérêt important pour les agriculteur·ice·s qui souhaitent que la fertilité de leur sol soit conservée ou améliorée par les couverts (Table 1). Les estimations de restitutions en MO et carbone par la méthode MERCI sont un facteur d'atteinte des objectifs du couvert. Dans tous les cas de figure, les couverts, même peu développés, sont source de MO et de carbone (Table 4). La seule valeur d'estimation des apports de MO et carbone ne semble cependant pas permettre de quantifier la potentielle amélioration de la fertilité du sol, sans prendre en considération le type de sol et le capital de départ sur lequel on se base. Il serait donc pertinent de connaître la teneur en MO initiale du sol pour pouvoir conclure sur la capacité du couvert à compenser les éventuelles pertes de MO impliquée par la gestion de la culture précédente, l'érosion, ou la baisse de l'activité biologique du sol (partie 1.2.1.).

#### *La maîtrise des adventices comme objectif*

Au vu des résultats, nous ne pouvons pas affirmer que les couverts végétaux jouent un rôle positif sur la maîtrise des adventices. Les couverts où la biomasse des adventices est haute correspondent souvent à des couverts pour lesquels l'agriculteur·ice n'est pas ou peu satisfait du développement de son mélange (Table 3). Cette insatisfaction vient de problématiques d'implantation (semis tardif, mauvaises conditions climatiques au moment du semis), ou d'autres causes (vieille semence au taux de germination inconnu par exemple) (Fig. 13, Table 3). L'hypothèse d'une faible compétition de départ du couvert sur les adventices due aux mauvaises conditions de levée du couvert et/ou des bonnes conditions de levée des adventices pourrait expliquer ces proportions d'adventices élevées, rejoignant certaines précédentes études sur le sujet (Adeux *et al.*, 2023 ; Gebhard *et al.*, 2013). Pour les essais de Agri 7, on peut notamment avancer l'hypothèse que la différence de biomasse des adventices et du couvert entre ses deux parcelles côte-à-côte (même mélange implanté) pourrait être dû à la différence de précédent de culture, avec une plus faible biomasse d'adventices et du couvert pour le précédent seigle, supposant qu'il pourrait avoir des effets dépressifs sur les cultures suivantes (ici, le couvert).

#### *Une combinaison de facteurs conditionne la réussite : les espèces, la gestion, le contexte.*

La plupart des couverts sont des mélanges d'espèces (Fig. 12), plus complexes à mettre en place (prix, méthode de semis, approvisionnement) mais souvent choisis par les agriculteur·ice·s pour leur meilleure résilience (Tribouillois *et al.*, 2015). L'analyse des estimations MERCI confirme la variabilité des caractéristiques et des restitutions des mélanges (Constantin *et al.*, 2023), et souligne la pertinence de la prise en compte de chacune des espèces pour l'élaboration d'un bilan robuste des bénéfices du mélange (Minette et Véricel, 2020 ; Constantin *et al.*, 2023) (Annexe VII).

La biomasse racinaire notamment, dont la proportion par rapport à la biomasse totale diffère en fonction des espèces (Table 4), conditionne les taux de carbone potentiellement restitué au sol par son efficacité d'humification plus élevée que la partie aérienne (Kätterer *et al.*, 2011).

Lors du choix des mélanges, la valeur de cette biomasse racinaire théorique peut donc être à maximiser si l'objectif de l'agriculteur-ice est d'augmenter le taux de carbone dans son sol. Les résultats montrent que la présence de radis, de féverole et d'avoine en mélange notamment engendrent des biomasses racinaires élevées. Les analyses de Hudek *et al.* (2022) décrivent déjà l'imposante biomasse racinaire du radis par rapport aux autres espèces du couvert, et l'importante densité racinaire de l'avoine pouvant expliquer sa forte biomasse mesurée.

Le ratio entre la quantité d'azote piégé et restitué diffère en fonction des espèces et de leur quantité intégrée dans le couvert (Table 4), constat vérifié par Tribouillois (2015). En fonction des besoins de l'agriculteur-ice en azote pour la culture suivante, ce ratio pourra donc constituer une base pour le choix des couverts adaptés.

Par suite du travail mené sur les légumineuses en couvert dans le GIEE Couverts végétaux, et parce que la forte présence des féveroles dans les itinéraires culturaux intensifie sa sensibilité aux maladies et la transmission de celle-ci (Terre Inovia et ITAB, 2018), les compositions des essais de cette campagne ont confirmé l'intérêt et l'orientation du groupe vers une diversification des légumineuses dans les mélanges avec notamment l'intégration du trèfle, du pois ou de la vesce.

Les retours d'essais confirment donc que la mesure de biomasse ne constitue pas un indicateur unique de performance du couvert mais que son analyse par la méthode MERCI est un moyen peu coûteux et fiable de connaître les bénéfices du couvert pour la culture suivante et cibler ainsi les leviers d'amélioration. Les restitutions ne sont cependant pas systématiquement à la base du choix des agriculteur-ice-s, qui privilégient parfois d'autres effets plus mécaniques du couvert (protection de surface ou effet structurant par exemple).

La multiplication des essais permet non seulement de cibler les espèces souhaitées pour leurs bénéfices et leur praticité de mise en œuvre, mais aussi d'ajuster le choix des variétés et les doses optimales de chacune en mélange.

#### 4.1.2. Une dynamique collective précieuse pour créer des références et aider au choix des mélanges

*La création de support d'information comme moyen de valoriser les essais et d'aider aux choix*

Le manque de mutualisation des savoir-faire et des expériences de chacun peut être un frein dans l'engagement vers un changement de pratiques. Dresser des bilans d'essais et diffuser les retours d'expérience des agriculteur-ice-s est un moyen de faire bénéficier tous les acteur-ice-s du secteur des avancées et des connaissances théoriques et pratiques acquises. La mise à disposition des résultats et les échanges à ce sujet sont un moyen de faire un retour individuel aux expérimentateur-ice-s, et de valoriser leurs travaux en les diffusant. L'appui des partenaires permet d'apporter précision, recul, et légitimité aux livrables.

A défaut de pouvoir apporter des solutions applicables indépendamment du contexte, les fiches techniques et le livrable produits permettent une capitalisation des essais déjà menés ainsi que la multiplication des exemples de pratiques vertueuses. Ils ont pour objectif de servir de support d'aide au choix pour l'implantation des couverts dans le contexte local (Ariège et Haute-Garonne) et plus.

*La confrontation permise entre les acquis théoriques et les spécificités de leur application en conditions de production*

Hormis la montée en compétence technique individuelle, les essais et rencontres du GIEE sont aussi un levier pour fédérer et dynamiser le groupe, en favorisant les échanges et en créant parfois des liens d'entraide. Les échanges entre pairs et le partage des résultats aux autres acteurs du territoire sont un moyen d'engager un plus grand nombre d'agriculteur·ice·s dans leurs changements de pratiques. La présence de partenaires techniques membres d'instituts de recherches en agronomie (INRAE, ITAB, Creabio, GIP LIA, experts semenciers) lors des rencontres est précieuse pour faire se rencontrer les connaissances scientifiques et empiriques, dont les approches et mise en œuvre sont différentes, mais qui sont étroitement complémentaires (Lacoste *et al.*, 2021).

L'aspect localisé des groupes d'expérimentation peut être une limite dans l'utilisation des résultats puisqu'ils sont spécifiques aux contextes comme évoqué précédemment, mais c'est cette même spécificité qui peut être considérée comme un atout pour ce type d'approche expérimentale. En effet, ce type de groupement d'expérimentateur·ice·s diffuse des résultats adaptés aux territoires dans lesquels ils s'inscrivent. La multiplication de ce type de projet collectif permettra d'affiner les propositions de solutions applicables aux contextes locaux.

L'hypothèse de départ (H1) peut ainsi être validée : les retours d'expérimentations en conditions agriculteur·ice·s permettent d'améliorer les choix des mélanges des couverts d'interculture pour augmenter leurs services écosystémiques et leurs bénéfices agronomiques pour les cultures suivantes. Il est certain que les essais au champ permettent de définir rapidement et précisément les combinaisons d'espèces favorisant l'atteinte des objectifs pour l'agriculteur·ice concerné et son contexte. Il serait cependant inexact d'affirmer que de ces expérimentations puissent découler des références robustes et généralisables qui permettent de cibler précisément des bénéfices quantifiables étant donnée la pluralité des contextes d'essais et la variabilité des profils des agriculteur·ice·s expérimentateur·ice·s.

## 4.2. Des essais qui mèneront à une meilleure gestion de la destruction, impliquant une possible réduction des coûts et du travail du sol.

### 4.2.1. Une réduction des coûts possible par le ciblage des outils adaptés

Les variations de coûts obtenus (Table 4) peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs, qui peuvent constituer des axes de travail pour leur réduction :

- ▶ La constitution des mélanges : plus un mélange est complexe, plus son implantation pourra demander des méthodes de semis spécifiques, avec parfois deux passages de semoir nécessaires ;
- ▶ Le choix des espèces : les graminées sont les espèces désignées comme les plus difficiles à être détruite (Guesquière *et al.*, 2012), nécessitant parfois une réflexion approfondie pour le choix des outils de destruction (Table 2) ;

- ▶ Les moyens matériels de l'exploitation : les agriculteur-ice-s qui ont à disposition une quantité et une qualité limitées de machines n'ont pas autant de choix de méthodes de destruction que d'autres aux possibilités plus variées, et n'ont donc pas forcément l'occasion d'atteindre la destruction idéale. Certains agriculteur-ice-s par exemple souhaiteraient détruire les couverts avec des outils spécifiques mais planifient leurs investissements éventuels, en s'appuyant sur les retours d'essais du groupe (Table 3);
- ▶ Les objectifs de l'agriculteur-ice : la destruction et la préparation du sol sera plus ou moins minutieuse en fonction des priorités de l'agriculteur-ice et de sa volonté de sécuriser l'implantation de la culture suivante (tolérance aux adventices, temps de travail, minimisation du nombre de passages) ;
- ▶ Le type de sol : le nombre et le coût des opérations sera différent entre les sols aux structures naturellement favorables au semis et ceux, plus difficiles, qui nécessitent un plus grand nombre d'opérations pour obtenir une structure favorable ;
- ▶ L'année : l'ensemble des opérations est conditionné par les conditions climatiques tout au long de l'itinéraire technique.

#### 4.2.2. Une réduction du travail du sol possible mais qui nécessite une multiplication des essais

De même que pour les coûts engendrés par l'itinéraire technique, les méthodes de gestion des couverts sont propres à chaque agriculteur-ice en fonction de ses préférences et de son contexte, mais les échanges sur ces choix et les retours entre pairs sur les avantages et les obstacles rencontrés par chacun sont un moyen de mutualiser les connaissances pratiques et d'identifier les possibilités les plus adaptées au territoire. Le travail du sol conditionne l'état du sol de la parcelle et est susceptible d'enrayer ou de conserver les potentiels effets bénéfiques du couvert sur la structure sol, sa gestion de l'eau, et sa stabilité, par une perturbation plus ou moins intense et profonde du sol (Blanco-Canqui et Ruis, 2020). La maîtrise de la gestion mécanique des couverts est ainsi un levier primordial de réduction du travail du sol et des coûts qu'il est nécessaire d'intégrer dans les réflexions communes.

La co-construction des expérimentations développée tout au long du présent rapport s'est montrée très pertinente pour actionner ce levier, par la coordination des réflexions et l'établissement du suivi des essais par et pour les agriculteur-ice-s expérimentateur-ice-s. La co-construction de ces essais et leur ajustement au grès des évolutions des besoins du collectif permettent de faire continuellement correspondre les analyses aux enjeux rencontrés par le groupe. Les résultats obtenus en termes de structure du sol et développement de la culture suivante permettent d'expérimenter les méthodes de destruction possible et de tirer rapidement un bilan pour préciser les combinaisons de méthodes susceptibles de fonctionner sur un contexte donné.

La seconde hypothèse (H2) est donc en partie validée, en confirmant que les coûts de conduite des couverts et le travail du sol impliqué dans leur gestion peuvent être réduits par une meilleure connaissance et maîtrise des méthodes de destruction adaptées aux contextes locaux. Etant donné que cette hypothèse découle d'un réel besoin exprimé par les agriculteur-ice-s d'optimiser le nombre et le type de passages d'outils pour la destruction, les expérimentations au champ apparaissent effectivement comme un juste moyen d'explorer de nouvelles méthodes tout en s'inscrivant pleinement dans le contexte de l'agriculteur-ice concerné-e. La multiplication des expérimentations est importante pour mutualiser un grand nombre de résultats et diversifier ainsi les

référence de coûts chiffrés sur lesquels d'autres professionnels peuvent s'appuyer, en adaptant les résultats à leurs contextes. Un point de vigilance est cependant à souligner sur le manque de recul sur les expérimentations de destruction en cette première année de mise en œuvre du protocole de suivi. Les futurs essais permettront de préciser les conclusions qui ont pu être tirées, d'étoffer le nombre de retours d'expériences et de conforter ainsi la validation de cette hypothèse.

### 4.3. Limites et perspectives au travail mené

#### 4.3.1. Limites identifiées aux travaux menés

*Des avancées certaines permises par le dynamisme du groupe mais une standardisation des résultats difficile*

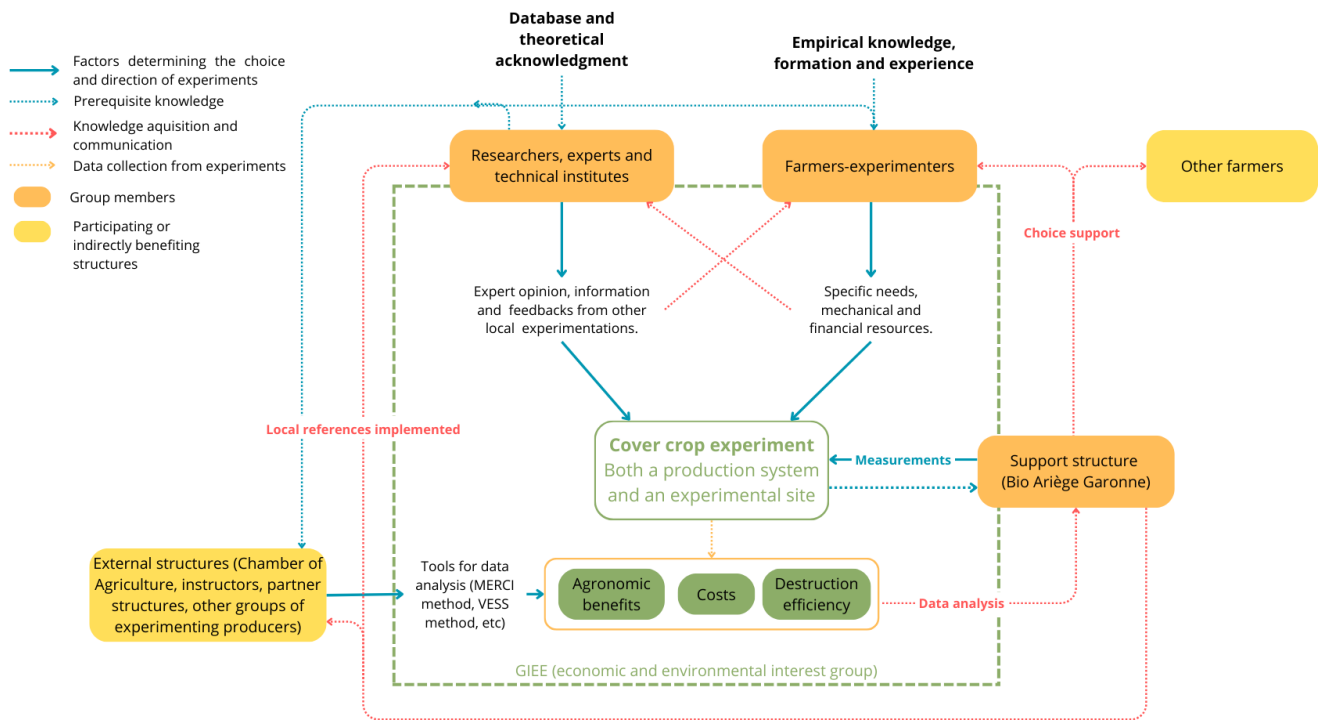
Les retours d'essais en conditions agriculteur-ice-s ont la spécificité de permettre d'améliorer les pratiques en identifiant des possibilités de gestion concrètes et adaptées au territoire sur lequel elles s'inscrivent. Ils permettent d'accéder à une rapidité d'innovation remarquable étant donné que les essais aux champs répondent à des problématiques spécifiques et fait l'objet d'essais ciblés, résultant à des conclusions propres au contexte étudié. En l'espace d'une année, des expérimentations menées par un agriculteur-ice peuvent ainsi faire avancer considérablement sa réflexion et les choix qu'il ou elle fera.

Néanmoins, les résultats obtenus par les essais paysans ne sont pas généralisables, du fait de l'impossible uniformisation du dispositif expérimental, notamment par les différences de contexte pédoclimatiques, les variations interannuelles du contexte d'essais, les habitudes et les choix de gestion de l'agriculteur-ice. Les protocoles d'essais sont parfois modifiés individuellement en réponse à d'autres paramètres, et ne sont donc pas standardisés entre les parcelles d'essais. L'objectif des groupements d'agriculteur-ice-s expérimentateur-ice-s n'est donc pas de dresser des conclusions formelles sur le sujet mais plutôt de multiplier les exemples et retours d'essais individuels pour diriger les choix vers des pratiques susceptibles d'être satisfaisantes, sous réserve de les recontextualiser à l'échelle de chaque parcelle. La diversité des profils et des stratégies adoptées au sein du groupe, et la valorisation des résultats obtenus permet d'établir un large panel des méthodes de gestion envisageables.

*Des limites certaines à l'approche par les essais paysans mais une complémentarité entre savoirs empiriques et théoriques*

Une des limites du travail réalisé se trouve dans le manque de standardisation des résultats d'essais, étant donné qu'il existe peu de références locales sur les restitutions attendues des couverts et que les données récoltées aux champs, par la particularité de leur contexte, ne peuvent pas constituer en elles-mêmes des indicateurs robustes.

Les questions soulevées lors de l'interprétation des résultats des essais rejoignent celles abordées par le récent mouvement « On-Farm Experimentation » qui consiste à ancrer des travaux de recherches dans les activités des exploitations agricoles, en faisant collaborer les intérêts de chaque participant, qu'il soit agriculteur, chercheur ou acteur du secteur agro-alimentaire (Lacoste *et al.*, 2021).



**Figure 17 :** Schéma conceptuel des interactions inter-acteurs impliquées dans l'accompagnement du GIEE Sols en transition. Echanges de connaissances et création de nouvelles ressources par l'expérimentation en conditions agriculteur-ice-s biologiques. (Burc E., 2024) // **Figure 19 :** Conceptual scheme of interactions involved in supporting of EEIG Soils in transition. Exchange of knowledge and creation of new resources through experimentation under organic farming conditions. (Burc E., 2024)

Cette approche favorise la création de connaissances locales et appliquées mais pose de nouvelles questions de recherche, notamment sur le statut qu'il est possible de donner aux données produites et sur la manière envisageable d'hybrider les connaissances formelles, expertes et issues de données récoltées (Lacoste et Bellon-Maurel, Communiqué de presse de l'INRAE et #DigitAg, décembre 2021).

Le point fort de l'expérimentation au champ, et ce qui la rend complémentaire de la recherche fondamentale ou appliquée, se trouve notamment dans la rapidité de l'identification des méthodes de gestion satisfaisantes et précises pour le contexte pédoclimatique, sociologique et économique de l'agriculteur·ice. En effet, les études menées par des instituts de recherche permettent certes d'aboutir à des conclusions robustes et avec une portée de grande ampleur, mais nécessitent structurellement des délais plus longs pour la diffusion des résultats, eux-mêmes parfois peu ancrés dans les spécificités des territoires. L'expérimentation au champ par des collectifs d'agriculteur·ice·s n'est pas à opposer à d'autres formes de recherche puisqu'elle confronte les acquis théoriques à la réalité de terrain, pour identifier des pratiques vertueuses et satisfaisantes en conditions de production. Cette complémentarité entre les secteurs de recherche et ce partage des volets de l'expérimentation constitue un levier majeur dans l'accélération et la précision de l'amélioration des systèmes agricoles par la coopération inter-acteurs. Les essais naissent des échanges et n'auraient probablement pas lieu sans un accompagnement des agriculteur·ice·s par les experts techniques et le maintien d'une dynamique de groupe. De même, la recherche fondamentale ou appliquée tend aussi à se nourrir des retours des agriculteur·ice·s pour identifier les besoins et cibler les thématiques qui ont besoin d'approfondissement (Fig. 19).

#### 4.3.2. Perspectives : continuer les essais pour en multiplier la robustesse et l'utilité

##### *Evaluation dans le temps de la santé du sol*

Des points d'amélioration peuvent être évoqués pour les prochaines campagnes de suivis des couverts par BAG. Concernant l'évaluation des performances agronomiques des couverts, et notamment l'apport de matière organique engendrée par sa dégradation, multiplier le nombre de mesures sur les parcelles pourrait être un moyen d'explorer l'évolution au cours du temps des effets du couvert par rapport au capital de départ de la parcelle. En effet, dans les analyses menées jusqu'alors, l'unique mesure des biomasses au moment de la destruction, bien que constituant un bon indicateur de réussite du couvert, ne prend pas en compte l'état du sol de départ puisque tous les agriculteur·ice·s n'ont pas nécessairement eu l'occasion ou les moyens de mener des analyses de sol sur les parcelles concernées. Un suivi plus précis au cours du temps pourrait être mené, incluant notamment des analyses de sols à différentes étapes de l'itinéraire technique. La mise en place et la prise en charge de ces analyses de sol doivent être pensées pour répondre aux objectifs sans constituer un poids économique et logistique trop conséquent pour les différentes parties. L'option privilégiée par le groupe serait de cibler certaines fermes pour suivre plus assidument l'évolution des paramètres de sol pendant le couvert et après sa destruction. Les frais d'analyse pourront ainsi être pris en charge par les financements du GIEE. C'est ici que le collectif prend tout son sens, en regroupant les moyens (financiers, connaissances théoriques et technique, et moyens humains pour le suivi) pour avancer vers des essais ambitieux et pertinents, qui seraient moins aisés à mettre en œuvre à l'échelle individuelle.

Les essais menés sur les fermes cibles pourront ainsi constituer des références assez robustes pour être applicables à d'autres contextes puisque les analyses de sols permettront, pour un type de sol donné, d'identifier les parcelles comparables avec plus d'exactitude. Connaître les effets réels des couverts et des pratiques sur les sols pourrait accélérer l'évolution des essais et l'atteinte des pratiques agroécologiques optimales, tant pour les bénéfices agronomiques que pour la maîtrise des coûts de gestion.

#### *Etablissement préalable d'indicateurs supplémentaires pour l'analyse des entretiens individuels*

L'évaluation de la performance des couvertes pourrait elle aussi être améliorée par la définition préalable d'indicateur de réussite ou de satisfaction qui pourraient permettre d'évaluer plus objectivement l'appréciation des agriculteur·ice·s sur la maîtrise des itinéraires techniques. L'avantage de l'entretien libre avec l'agriculteur·ice en amont des mesures de terrain est de permettre la libre expression des ressentis sur l'ensemble de l'itinéraire techniques, en personnalisant l'échange pour en faire ressortir toutes les subtilités propres au contexte de l'agriculteur·ice·s et de la parcelle. Il pourrait néanmoins, sans être remplacé, être complété par l'établissement d'indicateurs afin de pouvoir comparer plus exactement les retours d'essais entre les agriculteur·ice·s. Une notation sur une échelle de 1 à 10 par les agriculteur·ice·s sur les notions suivantes pourraient par exemple être proposée à chaque début d'entretien :

- La facilité d'approvisionnement en semence du mélange de couvert choisi ;
- La praticité de l'implantation du mélange de couvert semé ;
- La rapidité de croissance du couvert en début de développement ;
- La rapidité du recouvrement par le couvert ;
- La facilité de la reprise des sols lors des opérations de travail du sol suivant la première opération de destruction du couvert ;
- L'amélioration estimée de la structure du sol sur la parcelle ;
- La maîtrise des repousses de couverts sur la culture suivante ;
- La maîtrise des repousses d'adventices sur la culture suivante.

L'évaluation de ces indicateurs pourrait être menée lors du dernier échange entre l'animatrice et l'agriculteur·ice, une fois que l'ensemble de l'itinéraire technique est mené et que le bilan de la campagne peut être fait avec assez de recul par l'agriculteur·ice. Une réflexion devra cependant être menée sur la subjectivité de la notation étant donné qu'elle serait faite par les agriculteur·ice·s, dont les perceptions peuvent varier d'un individu à l'autre.

#### *La multiplication des essais apportera plus de recul sur les essais de destruction*

La proposition du suivi par BAG des essais de destruction sera renouvelée les prochaines années. Les méthodes et outils de suivi post-destruction ont été créés pour assurer la fluidité des expérimentations les années suivantes et permettre ainsi la multiplication des essais et des contextes étudiés pour étoffer les références à ce sujet. Plus le nombre de modalités testées sera grand, plus l'aide aux choix de l'agriculteur·ice impliqué, et ceux aux contextes similaires, sera précise. A la fin du stage, les retours d'essais sont trop peu nombreux pour identifier des éventuelles tendances mais permettent individuellement de tirer des hypothèses pour la suite. La multiplication des retours d'essais et leur diffusion permettra d'élargir les références pour l'aide au choix.



## Conclusion générale

L'expérimentation en conditions de production est prometteuse étant donné qu'elle permet l'identification rapide de solutions concrètes aux problèmes ciblés par les expérimentateur·ice·s. Lorsqu'elle est menée en groupement de producteur·ice·s et qu'elle intègre des structures partenaires, cette forme d'expérimentation permet la mutualisation des connaissances théoriques et techniques favorables à l'avancée commune vers des pratiques satisfaisantes. De plus, la souveraineté des agriculteur·ice·s expérimentateur·ice·s dans le choix de la stratégie des essais est une approche qui leur permet d'être pleinement acteur et actrices de l'orientation des recherches.

Ce stage a permis d'apporter un recul et de nouvelles perspectives aux expérimentations déjà menées dans les campagnes précédentes du GIEE Couverts Végétaux et Sols en transition. En effet, par une approche technique, il a permis de capitaliser les retours d'essais et de les rendre diffusables au plus grand nombre. Par une approche plus globale, l'animation du groupe et la stimulation des échanges entre les acteurs a permis de lancer des nouvelles expérimentations, en prenant en compte et en s'adaptant à l'évolution des besoins du groupe, tout en s'inscrivant dans l'émergence des nouvelles directions que souhaitent explorer ses membres. L'amélioration de la conduite des couverts végétaux et l'atteinte des objectifs des agronomiques et économiques se construit solidement grâce aux échanges et à la mise en commun de méthodes qui s'inscrivent au maximum dans le contexte local.



**Figure de l'annexe I :** Photographies de terrains : dispositif de mesure par la méthode MERCI et Test Bêche (Estelle Burc, le 20/03/2024 à Lherm)

# ANNEXES

**Annexe I :** Protocole de mesures de biomasse suivi par le GIEE Sols en Transition sur les parcelles d'essais des agriculteur-ices. Utilisation de la méthode MERCI. Méthode consultable sur : <https://methode-merci.fr> . (Chambre d'Agriculture de Nouvelle Aquitaine, 2023)

Matériel : bêche, sacs plastiques, peson, sécateur, GPS, appareil photo, fiche « terrain ».

Sur chaque parcelle, la méthode de prélèvement est appliquée en s'appuyant sur les recommandations de la méthode MERCI :

- 3 placettes de 1 m<sup>2</sup> chacune sont prélevées sur chaque parcelle. La méthode MERCI préconise 1 ou 2 prélèvements pour une parcelle homogène, 3 prélèvements (ou plus) pour une parcelle hétérogène. N'ayant pas la possibilité matérielle d'assurer pleinement que la parcelle est hétérogène, et afin d'assurer une représentativité maximale des mesures, le choix a été fait de réaliser systématiquement 3 prélèvements.
- Les placettes sont choisies aléatoirement sur la parcelle. Il est cependant nécessaire d'éviter les passages de roue ou les zones présentant des particularités très localisées susceptibles de ne pas être représentatives de la parcelle (bords de champ par exemple). Les coordonnées GPS de chaque placette sont enregistrées sur la fiche terrain propre à la parcelle étudiée.
- Sur chaque placette, la partie aérienne de toutes les plantes du couverts (y compris les adventices) sont coupées au niveau du sol et triées par espèces. Chaque espèce est pesée sur place. Les adventices, si elles sont multiples, sont rassemblées et forment une seule et même pesée que l'on nommera « adventices ». Si une espèce adventice se démarque par sa présence systématique et en grande quantité, elle peut être séparée du reste des adventices pour être pesée à part et rentrée dans le calculateur MERCI en tant qu'espèce à part entière, permettant ainsi de gagner en précision sur les restitution qu'elle apporte.
- La hauteur du couvert est appréciée à l'échelle de la parcelle par l'observateur.
- Le stade de développement (stade végétatif, floraison, fructification) de chaque plante est évalué, ainsi que l'état sanitaire (sain, malade, gelé).
- Le pourcentage de couverture totale du couvert est estimé, au regard des trois répétitions, par l'observateur ou via l'application CANOPEO.
- La pression adventice est notée par observation visuelle sur une échelle de 1 à 10 (de 1 à 4 : niveau de salissement important et compétitif sur le couvert ; de 5 à 7 : niveau de salissement moyen mais à risque progressif sur les futures campagnes ; de 8 à 10 : niveau de salissement contrôlé).
- L'homogénéité du couvert est notée de 1 à 3 (1 : couvert hétérogène, 2 : homogénéité moyenne ; 3 : couvert hétérogène)
- Pour finir, le prélèvement d'une bêchée par parcelle permet de commenter la structure et la vie des premiers 20 à 30 cm de sol. L'éventuelle présence d'une semelle de travail est notée, ainsi que toute observation pouvant ajouter des éléments nécessaires à la compréhension de la parcelle (densité et profondeur des racines, présence de vie du sol, nombre et taille des galeries de vers de terre, compaction, porosité, taille et friabilité des agrégats).

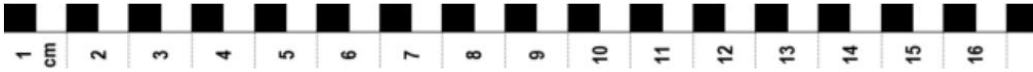
Les données de terrain sont ensuite rentrées manuellement dans le calculateur MERCI et les résultats sont analysés et discutés lors du comité de pilotage annuel regroupant les agriculteur-ice-s et les partenaires techniques du groupe.



## Evaluation Visuelle de la Structure des horizons de surface des sols cultivés (VESS)

Traduction de la clé visuelle développée par Guimarães, R.M.L., Ball, B.C., and Tormena, C.A. (2011) adaptée de Boizard, H. et al., in Baize, D. et al., (2013)

Qualité de la Structure	Apparence générale	Taille	Racines	Porosité Visible*	Apparence après extraction : même sol mais travail du sol différent	Traits distinctifs	Apparence des agrégats* ou fragments* de ≈ 1.5 cm de diamètre
<b>Sq1 Friable</b> Agrégats* se désagrègent très facilement avec les doigts	Pas de motte fermée*	La plupart des agrégats* < à 0.6 cm.	Les racines colonisent l'ensemble du bloc : les racines sont bien présentes à l'intérieur et autour des agrégats*	La plupart des agrégats* sont TRES poreux			Agrégats* très poreux, composés de plus petits maintenus ensemble par les racines. Ils sont pour la plupart directement obtenus lors de l'extraction du bloc.
		Mélange d'agrégats* arrondis de 2mm à 7cm		La plupart des agrégats* sont poreux.		Forte porosité des agrégats*	Agrégats* arrondis, fragiles, poreux qui se cassent facilement.
<b>Sq3 Ferme</b> La plupart des agrégats* se désagrègent facilement entre les doigts	Présence possible de mottes fermées*	Mélange d'agrégats* de 2 mm-10 cm. Moins de 30% < 1cm.	Pas ou peu de racines à l'intérieur des fragments*. Les racines présentes sont concentrées autour des mottes fermées, dans les « pores grossiers visibles »* et les fissures*	Présence possible de pores grossiers visibles* et de fentes de retrait*			Agrégats* avec peu de pores visibles et plutôt arrondis.
		moins de 30% des mottes sont de taille < 7cm ; structure lamellaire possible.		Très peu de « pores grossiers »* et de fissures*. Anoxie* possible.		Racines dans les pores grossiers visibles*	Ces fragments* de forme cubique à bords anguleux et fissures internes sont faciles à obtenir sur sol humide.
<b>Sq4 Compact</b> Assez difficile de briser les mottes fermées* avec une seule main	Principalement mottes fermées* angulaires	mottes angulaires > 10cm, très peu de taille < 7cm.					Ces fragments* à bords anguleux peuvent être difficiles à obtenir même sur sol humide.
<b>Sq5 Très Compact</b> Très difficile de briser les mottes fermées* avec la main	Principalement mottes fermées* angulaires						



**Annexe III** : Exemple de bilan des coûts individuel pour l'ensemble des opérations culturales impliquées dans la gestion de l'interculture. Bilan transmis aux agriculteur-ices en fin de campagne. (Burc E., 2024).

Mélange 1				Mélange 2			
Semences du mélange achetées		Quantité kg/ha	Prix total €/ha	Semences du mélange achetées		Quantité kg/ha	Prix total €/ha
Trèfle_alexandrie	Saniros	2	7,22	Trèfle_alexandrie	Saniros	2	7,22
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total semences</b>			<b>7,22</b>	<b>Total semences</b>			<b>7,22</b>
Outils	Temps travail h/ha	Fuel (L/ha)	Prix total (avec prix du GNR et paiement de la MO)	Outils	Temps travail h/ha	Fuel (L/ha)	Prix total (€/ha) GNR et MO compris)
Déchaumeur à disques indépendants (4m)	0,29	8,16	35,04	Déchaumeur à disques indépendants (4m)	0,29	8,16	35,04
Cultivateur (4m)	0,63	12,60	50,45	Déchaumeur à disques indépendants (4m)	0,29	8,16	35,04
Semoir TCS à dents (4m)	0,37	8,10	44,87	Herse rotative 4m	0,59	11,86	66,49
Epandeur à fumier (hérissons horizontaux, 12 m3)	1,25	10,50	81,30	Semoir TCS à dents (4m)	0,37	8,10	44,87
Broyeur ou gyrobroyeur	0,67	11,20	50,70	Déchaumeur à disques indépendants (4m)	0,29	8,16	35,04
Déchaumeur à disques indépendants (4m)	0,29	8,16	35,04	Déchaumeur à disques indépendants (4m)	0,29	8,16	35,04
Cultivateur (4m)	0,63	12,60	50,45	Herse rotative 4m	0,59	11,86	66,49
Déchaumeur à disques indépendants (4m)	0,29	8,16	35,04	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
	Temps de travail (h/ha)	Conso GNR (L/ha)	Coût hors MO (€/ha)		Temps de travail (h/ha)	Conso GNR (L/ha)	Coût hors MO (€/ha)
	<b>4,39</b>	<b>79,48</b>	<b>303,80</b>		<b>2,69</b>	<b>64,46</b>	<b>269,60</b>
	Coût MO (€/ha)	Coût GNR (€/ha)	Coût avec MO (€/ha)		Coût MO (€/ha)	Coût GNR (€/ha)	Coût avec MO (€/ha)
	<b>79,09</b>	<b>95,13</b>	<b>382,90</b>		<b>48,41</b>	<b>77,16</b>	<b>318,01</b>
Coûts totaux (semences + opérations mécaniques) :		Total hors MO (€/ha)	Total avec MO (€/ha)	Coûts totaux (semences + opérations mécaniques) :		Total hors MO (€/ha)	Total avec MO (€/ha)
		<b>311,02</b>	<b>390,12</b>			<b>276,82</b>	<b>325,23</b>

**Annexe IV** : Fiche de terrain créée à partir des indicateurs priorités par le groupe pour évaluer les parcelles d'essais après destruction et implantation de la culture suivante. (Burc E., 2024).

Notations et observations culture suivante - Parcelle :						
Modalité 1 :			Modalité 2 :			
Modalité						
Date et coordonnées GPS						
Photo parcelle/modalité	<input type="checkbox"/>					
Stade de la culture/hauteur						
% et taille des résidus en surface						
Homogénéité de la culture Comptage : (optionnel)	Répétition 1	Répétition 2	Répétition 3	Répétition 1	Répétition 2	Répétition 3
	Répétition 4	Répétition 5	Répétition 6	Répétition 4	Répétition 5	Répétition 6
Densité de plantes cultivées <input type="checkbox"/> pieds/m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> pieds/3m						
Moyenne plantes cultivées (pieds/ha)						
Evaluation du salissement						
Pression adventices (note / 10)						
Stade de développement adventices						
Espèces adventices						
Autres observations						
Sol - test bêche						
Observations (méthode Vess)	Bêchée 1	Bêchée 2	Bêchée 3	Bêchée 1	Bêchée 2	Bêchée 3
Taille des agrégats et friabilité						
Colonisation des mottes par les racines (Présence/Abs)						
Porosité des agrégats						
Apparence des agrégats						
Note (méthode Vess)						
Comportement racinaire de la culture en place (coudes, profondeur, densité)						
Profondeur maximal des racines						
Activité biologique (ex : turricules, taille des galeries)						
Semelle travail - si oui : profondeur	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non

**Annexe V** : Exemple de bilan des essais chez les agriculteur·ice·s expérimentant des méthodes de destruction innovantes dans leurs systèmes. (a) Exemple de tableau comparatif des modalités testées par un agriculteur·ice ; (b) Comparaison visuelle des modalités testées par les trois expérimentateur·ice·s et coûts de destruction calculés. (Burc E., 2024)

(a)

	Modalité 1 – broyage et déchaumeurs à disques (précédent cameline/lentille)	Modalité 2 – pas de broyage (précédent cameline/lentille)	Modalité 3 – broyage et charrue déchaumuse (précédent cameline/lentille)	Modalité 4 – pas de broyage (précédent seigle)
Résidus de couvert	Répartis assez uniformément, 10 % de recouvrement de surface.	Répartition irrégulière, présence de tas de résidus, recouvrement 10 à 15% de la surface	Résidus bien mélangés, 5% en surface.	Répartition irrégulière, présence de tas de résidus, recouvrement 10 à 15% de la surface
Homogénéité de la culture	Moyenne	Hétérogène	Moyenne.	Hétérogène
Densité de plantes cultivées levées sur une ligne de 3m (avec un inter-rang de 60cm)	27,6 plantes/3m (équivalent à <b>15,3 plantes par m²</b> ) Répétitions comptage : 19, 39, 31, 22, 27 plantes/3m.	26,4 plantes/3m (équivalent à <b>14,7 plantes par m²</b> ) Répétitions comptage : 26, 30, 27, 28, 21 plantes/3m.	16,5 plantes/3m (équivalent à <b>9,2 plantes/m²</b> ) NB: potentiel effet bord ici, bande de 6m en bord de champ. Répétitions comptage : 16, 17, 21, 9, 16, 20 plantes/3m.	21,6 plantes/3m (équivalent à <b>12 plantes/m²</b> ) Répétitions comptage : 18, 26, 28, 23, 19, 13 plantes/3m.
Pression adventice (1 : salissement important; 10 : contrôlé)	<b>4/10</b> : stade de développement 15 cm.	<b>2/10</b> : stade de développement 15 à 20 cm.	<b>5/10</b> : stade de développement : 5-10 cm.	<b>7/10</b> : pas besoin de passage de herse étrille après semis ici (effet allélopathique du seigle?)
Espèces adventices	Panic, liseron. Passage des roues très visible (moins d'efficacité de la herse étrille donc panic)	Envahi de panic, moins de différence sur les passages de roues, le salissement est global.	Panic principalement, passage des roues très visible (moins d'efficacité de la herse étrille donc plus de panic)	Chardon, amarante, liseron, chénopodes, moindre invasion de panic par rapport aux autres modalités.
Etat du sol (bilan des trois tests bêches par modalité)	Surface très friable, limite plus dense à 5-7 cm, colonisation de l'ensemble du profil et des agrégats par les racines. Petits VDT et nombreuses petites galeries.	Surface très friable, limite plus dense à 12 cm. Colonisation de l'ensemble du profil et des agrégats par les racines. Présence de VDT.	Première couche de végétation mulchée, terre très souple en surface. Limite plus dense à partir de 8-10 cm de profondeur. Colonisation de l'ensemble du profil et des agrégats par les racines. Petits VDT et nombreuses petites galeries.	Surface friable, limite plus dense à 10 cm, hydromorphie détectée (tâches sombres et odorantes). Colonisation de l'ensemble du profil et des agrégats par les racines. Présence de VDT.
Appréciation agriculteur	Même modalité que la 3 sans la charrue déchaumuse, le passage du broyeur permet l'efficacité des opérations suivantes.	Destruction du couvert plus compliqué, passages moins efficaces qu'avec un précédent broyage.	Couvert trop développé pour permettre le passage de la charrue sur la bande, a dû arrêter à cause du bourrage.	Le cover crop doit être passé plus profond que prévu (15 cm) pour être efficace sur les modalités sans broyage.



(b)

229 €/ha MO comprise

311 €/ha MO comprise

255 €/ha MO comprise

174 €/ha MO comprise

204 €/ha MO comprise



1  
Broyeur + DD  
+Scalpeur+DD  
+Chisel



2  
Broyeur + Fumier +  
DD + Scalpeur + DD +  
Chisel



3  
Broyage + Fumier + DD +  
Scalpeur + DD



4  
Broyage + DD +  
Scalpeur + DD



5  
Fumier + DD + Scalpeur  
+ DD

Coût opérations mécaniques de destruction du couvert à implantation de la culture (semis non inclus, passage de herse étrille au semis inclus) :



325 €/ha avec MO  
(+ passage herse étrille après semis)

1 (précédent  
cameline/lentille)  
Broyeur  
Déchaumeur disques X3  
Herse rotative  
Scalpeur  
Semis  
Herse étrille



295 €/ha avec MO  
(+ passage herse étrille après semis)

2 (précédent  
cameline/lentille)  
Déchaumeur à disques x3  
Cover crop (15 cm)  
Herse rotative  
Semis  
Herse étrille



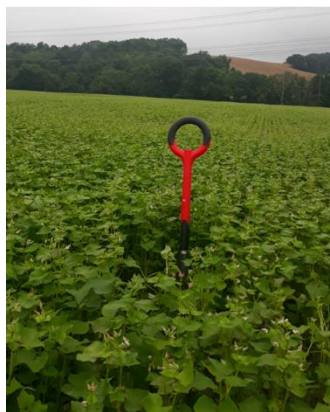
421 €/ha avec MO  
(+ passage herse étrille après semis)

3 (précédent  
cameline/lentille)  
Broyeur  
Charrue déchaumeuse  
Déchaumeur disques X3  
Herse rotative  
Scalpeur  
Semis  
Herse étrille



295 €/ha avec MO

4 (précédent seigle)  
Déchaumeur à  
disques x3  
Cover crop (15 cm)  
Herse rotative  
Semis



Modalité 1 (sarrasin  
précédent couvert de rad.  
ch./rad. f./moutarde/vesce)  
Broyage  
Déchaumeurs à disques  
Fraise rotative  
Vibroculteur



Modalité 2 (Soja précédent  
couvert d'avoine)  
Broyage  
Déchaumeur à disques  
Fraise rotative  
Vibroculteur  
Herse rotative



Modalité 3 (Sarrasin  
précédent couvert de rad.  
ch./rad.  
f/féverole/moutarde/pois)  
Broyage  
Fraise rotative  
Vibroculteur



## Annexe VI : Outil d'aide à la décision créé pour le livrable - Tableau comparatif des principales espèces de couverts végétaux. Intégration de références et de retours d'essais inscrits dans le contexte du Sud – Ouest Français. (Burc E., 2024)

### Légende



Les espèces en gras sont les plus aptes à être intégrées dans le contexte Occitanie (GIP LIA - Synthèse technique Couverts végétaux 2016-2018).

#### Méthode de semis :

Tous : toutes les méthodes peuvent être adaptées

SD : semis direct sur chaume (graine recouverte)

SC : semis sous la coupe

T : semis classique avec préparation du sol

V : semis à la volée (avec ou sans roulage)

"sous couvert" : possibilité de semer dans culture ou couvert.

*Remarque : les méthodes seront plus ou moins adaptées en fonction des conditions et de la gestion de la parcelle.*

#### Méthode de destruction :

Broy : broyeur (seul ou combiné avec des outils de travail du sol)

R+G : roulage sur gel

R : roulage (rouleau classique ou hacheur)

Ch : labour

Tr : Travail du sol (déchaumeur, fraise rotative, dents, etc)

*Remarque : méthodes à adapter en fonction des types de sols et des conditions de la destruction*

#### Profondeur d'enracinement :

+++ Profonde

++ Moyenne

+ Superficielle

#### Système racinaire :

P : Pivotant

F : Fasciculé

#### Autres

"Allélo" = effet allélopathique observé

"/" = pas de donnée

#### Sources :

Arvalis Institut du Végétal - Fiches Couverts végétaux.

GIP LIA - Synthèses Techniques Couverts Végétaux 2016-2018 et 2022.

ITAB - Choisir et réussir son couvert végétal pendant l'interculture en AB. Guesquière J., Cadillon A, Fourrié L et Fontaine L. (2012).

ITAB - Caractéristiques des espèces. Complément technique à "Choisir et réussir son couvert".

Cadillon A., Fontaine L., Fourrié L. (2013).

GIEE Magellan - Guide Magellan. Semis direct, du couvert annuel au couvert permanent (2019).

Chambre d'agriculture des Pyrénées Atlantiques - Les couverts végétaux, comprendre, choisir et réussir.


Chambre d'agriculture de la Drôme - Activer les atouts agronomiques des couverts végétaux

CIRAD - Fiche technique plantes de couverture. Manuel pratique du semis direct à Madagascar, Volume 3 (2012).

		Evaluer les caractéristiques d'intérêt pour chaque espèce d'un mélange :										Connaître et cibler les services rendus :					
Families	Espèces	Type de sol favorable	Système racinaire	Profondeur d'enracinement	Mode de semis adapté	Facilité d'implantation	Vitesse de germination	Vitesse de croissance	Floraison	Remarques	Potentiel de production de biomasse	Fixation de l'azote	Restitution d'azote à la culture suivante	Potentiel de stockage du carbone	Maîtrise des adventices	Effets positifs sur la structure du sol	
Crucifères	Radis chinois <i>Raphanus sativus longipinnatus</i>	Tous sauf boubènes hydromorphes.	P	+++	Tous				Tardive, plus tardive que le radis fourrager	Masse racinaire élevée					Allélo		
	Radis fourrager <i>Raphanus sativus</i>		P	+++	Tous				Assez tardive mais risque de floraison en fin d'interculture.	Masse racinaire élevée					Allélo		
	Moutarde blanche <i>Sinapis alba</i>		P	+++	Tous				Après 2 mois de développement, certaines variétés sont plus tardives.	Racines fines, supportent la compaction. Stress hydrique début de cycle. Fort développement en sortie d'hiver.							
	Moutarde brune <i>Brassica juncea</i>		P	+++	Tous. Petit PGM.				Rapide et risque de grenaison, plus tardive que la moutarde blanche	Racines fines, supportent la compaction.						Allélo	
	Navette <i>Brassica rapa oleifera</i>		P	+++	Tous				Tardive, pouvant être avancée par des épisodes de gel.	Sensible à la sécheresse.							
	Moutarde d'Abyssinie <i>Brassica carinata</i>		P	+++	Tous				Plus tardive que les autres crucifères, risque de grenaison faible.								
	Cameline <i>Camelina sativa</i>		P	/	V, T, SD.				Maturité précoce, risque de montée à graine si semis précoce.	Sensible au stress hydrique en début de cycle.						Allélo	
Légumineuse	Féverole <i>Vicia faba</i>	Argilo-calcaires à limoneux.	P	++	T, SD.				Mi-avril/mi-mai.	Sensible au stress hydrique en début de cycle.							
	Pois fourrager <i>Pisum sativum</i>	Tous	F	++	T, SD.				Tardive, peu de risque de floraison.	Fort développement au printemps.							
	Trèfle violet <i>Trifolium pratense</i>	Tous, adapté aux sols humides et acides.	P	++	Tous				/	Plus adapté que le trèfle blanc pour semis à la volée ou sous couvert							
	Trèfle blanc <i>Trifolium repens</i>	Tous, adapté aux sols humides et acides.	F	++	Tous + sous couvert.				/	Sensible au stress hydrique.							
	Trèfle incarnat <i>Trifolium incarnatum</i>	Tous, adapté aux sols humides et acides.	P	++	Tous + sous couvert.				Avril-juin	Sensible au stress hydrique. Reprise en sortie d'hiver.							
	Trèfle d'Alexandrie <i>Trifolium alexandrinum</i>	Tous, supporte les sols acides.	P	++	Tous. + sous couvert.				Tardive	Recouvrement des graines nécessaire. Sensible au stress hydrique.							
	Gesse <i>Lathyrus sativus</i>	Assez argileux, supporte sableux/calcaires.	P	/	Tous				Printemps								
	Fenugrec <i>Trigonella foenum-graecum</i>	Argilo-calcaires, craint les sols asphyxiants.	P	+	T, SD, SC.				Printemps								
	Lentille fourragère <i>Lens nigricans</i>	Tous, adapté aux sols argilo-calcaires	P	/	T, SD, SC.				Généralement pas de floraison à l'automne.						Allélo		
	Vesce velue <i>Vicia villosa</i>	Tous	P	++	T, SD + sous couvert.				Tardive, printemps.	Biomasse racinaire faible. Fort développement en sortie d'hiver.							
	Vesce de narbonne <i>Vicia narbonensis</i>	Tous	P	++	T, SD + sous couvert.				Tardive, printemps.				/				
Asteracées	Niger <i>Guizotia adyssinica</i>	Tous	P	++	T, SD				Tardive.	Besoin de températures élevée pour survivre.					Allélo		
	Tournesol <i>Helianthus annuus</i>	Tous	P	+++	T, SD				Tardive.								
Graminées	Avoine rude <i>Avena strigosa</i>	Tous, éviter sur sols >30% d'argiles	F	++	T, SD, V possible avec déchaumage.				4 à 5 mois après semis						Allélo		
	Avoine printemps ou hiver <i>Avena sativa</i>	Tous si bien drainés	F	++	T, SD, V possible avec déchaumage.				4 à 5 mois après semis								
	Seigle forestier <i>Secale cereale</i>	Tous	F	+++	Tous. Recouvrement des graines.				Cycle long, peu de risque de floraison ou montée de graine avant destruction.	Racines fines, supportent la compaction							
	Seigle fourrager <i>Secale cereale</i>	Tous, préfère les sols acides	F	+++	Tous. Recouvrement des graines.				Cycle long, peu de risque de floraison ou montée de graine avant destruction.	Racines fines, supportent la compaction. Fort développement en fin de cycle.							
	Moha fourrager <i>Setaria italica subsp. moharia</i>	Tous. Supporte les calcaires à faible potentiels	F	+++	Tous				Grenaison rapide pour certaines variétés								
	Sorgho fourrager <i>Sorghum sudanese</i>	Tous	F	+++	Tous				Pas de risque de montée à graine						Allélo		
	Ray-grass italien <i>Lolium multiflorum</i>	Tous	F	+	T, SD				Pas de risque de floraison ou montée de graine								
Autres	Lin <i>Linum usitatissimum</i>	Tous	P	+	Tous				Tardive (mai-juin)								
	Phacélie <i>Phacelia tanacetifolia</i>	Tous	P	++	Tous				Tardive, grenaison environ 1 mois après floraison.	Forte prise au vent, graines photosensibles, vigilance sur le réglage du semoir.							
	Sarrasin <i>Fagopyrum esculentum</i>	Tous	P	++	T, SD				Risque de floraison précoce et montée à graines possible					Allélo			

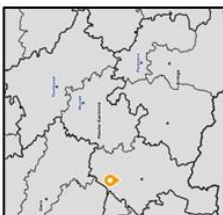
Adapter la destruction aux espèces implantées :		Expérimenter, partager et s'appuyer sur des retours d'essais sur le territoire :	Identifier les points forts et les sensibilités de chaque espèce pour optimiser les effets et éviter les échecs :		
Sensibilité au gel (°C)	Facilité de destruction	Mode de destruction les plus adapté	Retours d'expérimentation locales, des experts et partenaires techniques (GIEE Couverts Végétaux 2020-2023, GIP LIA, INRAE).	Autres services du couverts, points de vigilance et sensibilité maladies/ravageurs.	Ordre de prix semences en €/ha (Arvalis)
-7		R, R+G, Tr, Ch, Broy. Détruire au moins 1 mois avant la culture suivante pour limiter l'effet dépressif.	Les crucifères sont bourrées de glucosinolate donc effet piège à azote et soufre. Faible utilisation des champignons du sol pendant leur développement, donc si utilisées en pure, elles peuvent rendre la mycorisation lente pour les cultures suivantes. Le radis fourrager concurrence le raygrass sur l'azote.	Apport de MO stable important car l'efficacité de conversion en MO est 2 fois plus important pour le système racinaire que la partie aérienne. Effet dépressif. Forte exigence en azote.	26 à 40
-10		Ch, R+G, Broy, Tr. Détruire au moins 1 mois avant la culture suivante pour limiter l'effet dépressif.		Très tolérante au froid, moins sensible au stress hydrique qu'une moutarde. Effet dépressif (faim azotée), forte exigence en azote. Risque sclérotinia.	26 à 40
-5		Biomasse importante : rouleau hacheur lesté ou outils à disques en 1 ou 2 passages, Broy. possible. Sinon : R+G, Broy, Tr.	La présence de moutarde dans le mélange avance la date de semis à fin août - mi septembre (normalement plutôt octobre). Précocité différente d'une variété à l'autre (jusqu'à 1,5 mois de différence). Exemple : Sibellius : C/N assez bas, fournit une bonne quantité d'azote, Verte : C/N=11, intéressante. Réduction possible du piétin échaudage dans les céréales.	Peut avoir un effet dépressif sur la culture suivante si trop développée, sensible au stress hydrique ou azoté qui peut entraîner une mise à fleur rapide.	11 à 25
-5		Si biomasse importante : rouleau hacheur lesté ou outils à disques en 1 ou 2 passages, Broy. possible. Sinon : R+G, Broy, Tr.		Peut avoir un effet dépressif sur culture suivante. Risque sclérotinia. Plus faible production de biomasse que la moutarde blanche, couvre moins le sol.	11 à 25
-13		Tr (plusieurs passages), Ch.		Rupture de la plupart des maladies des céréales. A éviter dans les rotations avec colza, légumineuses ou tournesol, pour les risques de sclérotinia.	11 à 25
-10		Difficile si le stade est avancé : Br, R+G, Tr, Ch.	Réduction possible du piétin échaudage dans les céréales.	Lignification plus faible que les autres crucifères. Risque sclérotinia. Moins couvrante que la moutarde blanche.	26 à 40
-5 à -10		Gel si bien développé, Br, Tr, R+G, Ch.	Réduction possible du piétin échaudage dans les céréales.	Intéret en mélange pour explorer les strates inférieures. Effets allélopathiques, concurrentiel et nettoyant importants à considérer en mélange. Risque sclérotinia.	11 à 25
-10		Br, Tr, Ch, R. Exemple : rouleau hacheur avant et DDI. Deuxième passage pour limiter la reprise de la végétation.	Semis à retarder pour éviter les risques de maladie (fin septembre à mi novembre). Bons résultats en association avec de la Moutarde. Variété Axel performante mais sensible aux maladies.	Sensibilité anthracnose, botrytis, rouille brune, sitones.	41 à 55
-10		Ch, R+G.		Sensibilité aphanomyces, sclerotinia.	> 85
-13		Tr, Ch.	Exemple de destruction : Déch. à ailettes pour sectionner le système racinaire + reprise avec un outil animé pour incorporer et accélérer la décomposition.		11 à 25
-13		Tr, Ch.	Exemple de destruction : scalpeur ou déchaleur à ailettes pour sectionner le système racinaire + outil animé pour incorporer et accélérer la décomposition.	Plus performant et plus robuste que les autres trèfles, facile à reproduire tous les ans. Forte concurrence avec des espèces cultivées une fois implanté.	11 à 25
-13		Tr, Ch. A détruire juste avant les boutons floraux pour plus de facilité.	Croissance dans une faible amplitude de pH, ce qui peut freiner son développement. Exemple de destruction : outil à disques ou ailettes selon enracinement + reprise avec un outil animé.	Très mellifère. Petite graine peu tolérante aux périodes de sécheresse.	41 à 55
-4		Tr, R+G, Ch. Plus facile que les autres trèfles.	Variété akenaton produit plus de biomasse que Tigr. Attire les limaces + très concurrentiel donc peu compatible avec SDSC, sensible au froid, favoriser un trèfle mono-coupe pour limiter une reprise de végétation après une phase de gel.	Adapté pour les couverts d'interculture et en tant que plantes compagne pour le colza. Appétence limaces.	42 à 55
-5		R+G, Broy, Tr, Ch.		Supporte bien la sécheresse. Sensible Aphanomyces.	56 à 85
-5		Tr, Broy, R+G, Ch.		Intéret dans les mélanges pour explorer la strate inférieur. Odeur caractéristique pouvant attirer le gibier, manque d'agressivité (idéalement à associer).	56 à 85
-7		Tr, Ch, R+G.		Intéret dans les mélanges pour explorer la strate inférieur. Sensibilité aphanomyces. A associer pour avoir plus de biomasse.	> 85
-12		Tr, Ch. Difficile si forte biomasse en sortie d'hiver.	Biomasse produite par la vesce velue plus importante que pour la vesce commune. Variété Monstia : développement plus en hauteur.	Pousse bien en conditions froides. Sensibilité aphanomyces. Attention à sa présence dans les cultures suivantes (agressivité).	56 à 85
-5		Tr, Ch. Plus sensible que les autres vesces au broyage.	Choix de la vesce : si tournesol en suivant, prévoir une variété qui peut se détruire tôt ou ne pas mettre de vesce, car la vesce explose au printemps (tardivement mais beaucoup).	/	+ cher que les autres vesces
-10		Tr, Ch.	Vesce commune de printemps : mise en place plus rapide et plus agressive dans les premiers stades. Vesce commune d'hiver : production de biomasse exponentielle en sortie d'hiver.	Intéressante pour l'exploration de la strate inférieure. Vesce sensible au gel, moins agressive que vesce velue. Risque sclerotinia, attractif pour les limaces noires.	56 à 85
-1		R, R+G, Broy, Tr, Ch.		Famille peu cultivée donc coupure dans la rotation, résistance sécheresse. Très sensible au gel, forte appétence limaces, risque sclérotinia, allélopathie forte.	11 à 25
-2		Br, Tr, Ch, G+R.		Intéret en conditions sèches, effet tuteur, après destruction sa tige noircie et peut favoriser le réchauffement du sol. Risque sclérotinia et appétence limaces.	11 à 25
-7		Broy, Tr, Ch, R+G si bien développé.	Ne gèle pas en Occitanie, peu adaptée au contexte local, potentielle reprise de végétation après destruction au stade floraison.	Moins sensible que l'avoine blanche à la rouille et JNO mais aussi hôte pour les pucerons	41 à 55
0 à -13		R+G, Ch, Broy, Tr.	Les repousses d'avoine peuvent être utilisées comme culture intermédiaire	Sensibilité ravageurs (pucerons et JNO), rouille et virose.	11 à 25
-13		Meilleure destruction en sols bouillonnés.		A éviter sur des sols avec teneur en argile supérieure à 30%, effets dépressifs (stress hydro-azoté).	41 à 55
-13		R à épiaison pour SD, R+G, Ch, Tr.	Risque d'assèchement du sol et effet dépressif si destruction tardive. : Ovid Variété Ovid présente une meilleure biomasse que turbo green, forestal, dukato, reflektor, antoninskiet une meilleure gestion adventices en bouillonnés de coteaux.	Rustique, s'adapte bien à de nombreux types de sols, effet tuteur dans les mélanges. Plante hôte pour les pucerons, moins sensible aux maladies que l'orge ou l'avoine classique.	11 à 25
-2		G, R+G, Broy, Tr.		Bonne tolérance à la sécheresse, associée à un trèfle : augmente la biomasse. Sensible au stress hydrique en début de cycle. Attractif pour les pucerons.	11 à 25
-4		Broy, G, R+G, Tr.		Bonne résistance à la sécheresse et chaleur. Décomposition lente (C/N élevé) qui peut être contraignant pour les autres cultures.	41 à 55
-15		Ch, Tr.		Risque d'assèchement du sol qui peut pénaliser la culture suivante, délicat à détruire, effet dépressif, salissement. Plante hôte pour les pucerons.	26 à 40
0 à -7		R+G, Broy, Tr, Ch.		Intéressant contre les insectes ravageurs, intérêt en mélange pour explorer la strate inférieur ou intermédiaire, propriétés nettoyantes pour la parcelle.	11 à 25
-4 à -13		R, R+G, Tr.		Peu de risque maladies, casse le cycle des adventices, intérêt dans l'association pour explorer la strate intermédiaire. Risque de montée des graines et salissement si semis précoce.	41 à 55
-2		R+G, Broy, Ch, Tr.		Adaptée au sol superficiel, mobilise beaucoup de ressources (P, Ca) et permet de limiter la levée des adventices. Risque de salissement pour les cultures suivantes, sensibilité au gel.	56 à 85

# Annexe VII : Exemple de fiche technique individuelle remise aux agriculteur-ices du groupe et diffusée par BAG. (Burc E., 2024)



**GIEE COUVERTS VÉGÉTAUX**  
Julien

**Fiche 5 A – Retours d'essais paysans : couverts hivernaux 2023-**



Blé

Couvert

Sarrasin

Avoine

Couvert

Sarrasin

Ateliers	Grandes cultures
SAU	110 ha
Type de sol	Limono-argileux
Objectif du couvert	Fertilité, régulation des adventices.

### CHOIX DU COUVERT

Espèce et variété	Modalité 1				Modalité 2				
	Radis fourrager (Casou)	Radis chinois (Daikon)	Moutarde blanche (Carla)	Vecke (Dose)	Radis fourrager (Casou)	Radis chinois (Daikon)	Moutarde blanche (Carla)	Féverole	Pois
Dosage (kg/ha)	2	2	4	10	2	1	4	100	60

### ITINÉRAIRES TECHNIQUES

#### Modalité 1

Semoir céréales TCS

Semis CV 16/09/2023

25/07/2023 Récolte blé

18/08/2023 Déchaumeur à disques

10/09/2023 Déchaumeur à disques

25/07/2023 Récolte blé

18/08/2023 Déchaumeur à disques

10/09/2023 Déchaumeur à disques

#### Modalité 2

Semoir céréales TCS

Semis CV 20/09/2023

16/04/2024 Destruction CV

29/05/2024 Semis sarrasin

Coût total estimé hors semence	345 €/ha
Coût ITK (sans main d'œuvre)	281 €/ha
Coût main d'œuvre (MO)	64 €/ha
Temps de travail	3,6 h/ha
Consommation de CIR	70 l/ha
Coût semences (cas de semences achetées*)	290 €/ha

\* Le prix des mélanges est variable en fonction de l'utilisation ou non de semences fermées dans le mélange, le prix de la semence a été estimée au prix haut, c'est-à-dire en faisant l'hypothèse d'un achat de toutes les semences du mélange par l'agriculteur. Sources utilisées : Agronomie, CC COL, Vital Concept, Germes, Va de Cassagne, Agro doc.


### Modalité 2

Semoir céréales TCS

Semis CV 20/09/2023

Déchaumeur à disques

Récolte Avoine



Modalité 1 – 03/04/2024

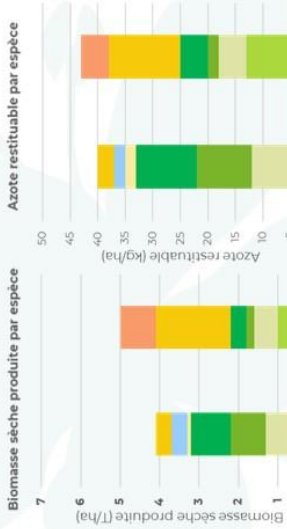
\*Outil de calcul des restitutions au sol par le couvert développé par la Chambre d'Agriculture (methode-mercif)

### RÉSULTATS

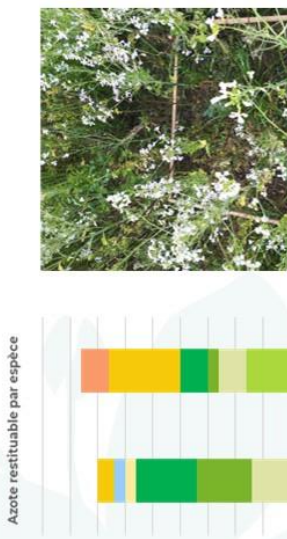
Estimations par le calculateur MERCI*	Modalité 1	Modalité 2
Biomasse sèche aérienne (t/ha)	4	5
Biomasse racinaire estimée (t/ha)	2,7	1,6
Stockage du C (t/ha)	0,7	0,8
Evolution MO (t/ha)	1,3	1,3

Coût total estimé hors semence	275 €/ha
Coût ITK (sans main d'œuvre)	221 €/ha
Coût main d'œuvre (MO)	53,8 €/ha
Temps de travail	3 h/ha
Consommation de CIR	54 l/ha
Coût semences (cas de semences achetées*)	€/ha

Biomasse sèche produite par espèce



Azote restitué par espèce



Bio-Ariège-Garonne - 6 route de Nescus - 09240 La Bastide-De-Sérou



## Bilan des essais de destruction

### Observations après implantation de la culture suivante

Coût des opérations mécaniques de destruction du couvert à l'implantation de la culture (semis non inclus):

210 €/ha avec MO



Modalité 1 - 28/06/2024

175 €/ha avec MO



Modalité 2 - 28/06/2024

Modalité 1 - broyage /déchaumeurs /disques/fraise/Vibroculteur	Modalité 2 - Broyage/fraise/Vibroculteur
Structure de surface poreuse et légère propice au développement racinaire des cultures.	Bien qu'avec un développement hétérogène et des zones très clairsemées, le taux de levée est aussi bon (voire mieux) que la modalité 1 → possibilité pour les plus jeunes pieds de rattraper les autres à l'avenir ?
Peu d'effet visible du déchaumage sur le développement de la culture la modalité 5 est menée sur une parcelle à quelques km de la modalité 1.	Hétérogénéité de la parcelle possiblement due à un effet variation de structure intra-parcelle



Agrégat plus compact et plus gros en profondeur mais présence de galeries et pénétration des racines



- ✓ Cette année, le broyage était obligatoire pour stopper le couvert rapidement (période dense en travail au moment de l'explosion du couvert). Il est possible de faire sans mais l'efficacité de la combinaison broyage/fraise est remarquable.
- ✓ Globalement peu de semelle de travail observé, surface très poreuse et propice au développement racinaire de la culture, le tassement et la compaction des mottes à partir de 15cm serait à surveiller.

### Commentaires

L'effet de la fraise sur la structure du sol très dépendant des années, il arrive d'avoir des problèmes de semelle de travail (pas le cas cette année).  
Autres problèmes posés par la fraise : la fréquence de changement des jeux de dents dépend des sols, il est impossible de l'utiliser sur sols caillouteux.

Observations (03/04/2023)	Modalité 1	Modalité
<b>Homogénéité</b>	Moyenne	Moyenne
<b>Couverture du sol</b>	65 %	90 %
<b>Note salissement</b>	5/10 : moyen	4/10 : moyen à compétitif
<b>Adventices</b>	Repousses féveroles, véronique, RC.	Dominance ray-grass, véronique, plantin, vesce.
<b>Dégâts culture et autres observations</b>	Grosses galeries de vers de terre, cheveu racinaire dense concentré sur les premiers cm, gros agrégats.	Vie du sol très présente, agrégats petits et friables, cheveu racinaire dense (du fait des repousses graminées).

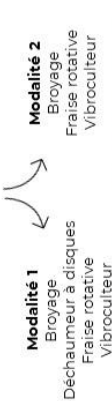
### Commentaires

Dans la modalité 2, le pois n'a que très peu levé. Le développement du couvert s'est intensifié à l'entrée du printemps, la structure du sol est favorable à l'implantation d'une culture, notamment par l'effet structurant des repousses spontanées d'avoine.  
Sur les deux modalités, les stades des couverts étaient avancés (fraisaison avancée et post floraison), d'où la nécessité d'un broyage pour stopper le couvert le plus rapidement possible et permettre de continuer la destruction dès que possible. L'agriculteur aurait préféré détruire plus tôt (météo inadéquate et manque de temps).

### SUIVI POST-DESTRUCTION

#### Essais

Les deux modalités ont été suivies pour leurs combinaisons d'outils de destruction différentes.



179 pieds/m<sup>2</sup>



Parcelle homogène  
Peu d'activité biologique, petites galeries de VDT  
Pression adventice plutôt contrôlée  
Agrégats plus compacts à partir de 15 cm mais très friables et poreux.

213 pieds/m<sup>2</sup>



Parcelle hétérogène  
Activité biologique présente.  
Pression adventice contrôlée  
Agrégats plus compacts à partir de 15 cm mais assez friables et poreux.

Objectif : Suivi d'un itinéraire avec fraise rotative.

NB : Les parcelles n'ayant pas exactement les mêmes contextes (localisation, précèdent), il n'est pas possible de les comparer directement entre elle. Le suivi permettrait d'identifier des ITK envisageables pour parvenir à une efficacité satisfaisante pour un nombre de passages d'outils minimal.

# Références

## Articles

- Adeux, G., S. Cordeau, D. Antichi, S. Carlesi, M. Mazzoncini, *et al.* 2021. Cover crops promote crop productivity but do not enhance weed management in tillage-based cropping systems. *European Journal of Agronomy* 123: 126221. doi: 10.1016/j.eja.2020.126221.
- Adeux, G., D. Moreau, A. Rouge, J.-P. Guillemain, and S. Cordeau. 2022. Effets à court terme et long terme de l'introduction de couverts végétaux d'interculture et des pratiques associées sur les adventices. *Agronomy, Environnement & Sociétés* 12(1). doi: 10.54800/gut670.
- Beaudoin, N., J. Tournebize, L. Ruiz, J. Constantin, and E. Justes. 2012. Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires - Conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques. 4. Nitrate et eau en période d'interculture.
- Bigorre, F., D. Tessier, and G. Pédro. 2000. Contribution des argiles et des matières organiques à la rétention de l'eau dans les sols. Signification et rôle fondamental de la capacité d'échange en cations. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science* 330: 245–250. doi: 10.1016/S1251-8050(00)00136-1.
- Blanco-Canqui, H. 2023. Do cover crop mixtures improve soil physical health more than monocultures? *Plant Soil*. doi: 10.1007/s11104-023-06086-4.
- Blanco-Canqui, H., and S.J. Ruis. 2020. Cover crop impacts on soil physical properties: A review. *Soil Science Society of America Journal* 84(5): 1527–1576. doi: 10.1002/saj2.20129.
- Bourguignon, L., and C. Bourguignon. 2016. La mort des sols agricoles. *Études sur la mort* 148(2): 47–53. doi: 10.3917/eslm.148.0047.
- Briaud, Q. and S. Minette. 2023. Analyse de la base de données MERCI. Agence de l'eau Loire-Bretagne et Chambre d'agriculture Nouvelle-Aquitaine. Consultable sur : <https://methode-merci.fr/bibliotheque>.
- Constantin, J., B. Mary, F. Laurent, G. Aubrion, A. Fontaine, *et al.* 2010. Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 135(4): 268–278. doi: 10.1016/j.agee.2009.10.005.
- Constantin, J., S. Minette, G. Vericel, L. Jordan-Meille, and E. Justes. 2024. 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. *Plant Soil* 494(1–2): 333–351. doi: 10.1007/s11104-023-06283-1.
- Cordeau, S., D. Moreau, A. Rouge, J.-P. Guillemain, and G. Adeux. 2022. Optimiser la régulation biologique des adventices par l'utilisation de couverts végétaux à l'échelle du système de culture. *Agronomy, Environnement & Sociétés* 12(1). doi: 10.54800/pet752.
- Costa, A., L. Cotonat, A. Couëdel, and C. Seassau. 2018. Biofumigation : Définition. *Dictionnaire d'agroécologie*. <https://doi.org/10.17180/7j7p-yc19>.

- Couédel, A., L. Alletto, E. Justes, J. Desplanques, P. David, *et al.* 2021. CRUCIAL - Services écosystémiques produits par les cultures intermédiaires multiservices de légumineuses et de crucifères. *Innovations Agronomiques* 84, 217-225. doi: 10.15454/NFSR-JW66.
- CPVQ, Conseil des Productions Végétales du Québec. 2000. Gestion de la matière organique. Guide des pratiques de conservation en grandes cultures. Feuillet 3. <https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/Feuillet3.pdf>.
- Chenu, C., K. Klumpp, A. Bispo, D. Angers, C. Colnenne, *et al.* 2014. Stocker du carbone dans les sols agricoles : évaluation de leviers d'action pour la France. *Innovations Agronomiques* 37, 23-37. doi: [10.17180/DS2F-E425](https://doi.org/10.17180/DS2F-E425).
- Doré, T., M. Sène, F. Pellissier, and C. Gallet. 2004. Approche agronomique de l'allélopathie. *Cahiers Agricultures* : 13, pp. 249-256.
- Euteneuer, P., H. Wagenristl, S. Steinkellner, M. Fuchs, J.G. Zaller, *et al.* 2020. Contrasting effects of cover crops on earthworms: Results from field monitoring and laboratory experiments on growth, reproduction and food choice. *European Journal of Soil Biology* 100: 103225. doi: 10.1016/j.ejsobi.2020.103225.
- Gebhard, C.-A., L. Büchi, F. Liebisch, S. Sinaj, and H. Ramseier. 2013. Screening de légumineuses pour couverts végétaux : azote et adventices. *Recherche Agronomique Suisse* (9) : 384-393.
- Gis Sol. 2011. L'état des sols de France. Groupement d'intérêt scientifique sur les sols, 188 p.
- Hudek, C., C. Putinica, W. Otten, and S. De Baets. 2022. Functional root trait-based classification of cover crops to improve soil physical properties. *European Journal of Soil Science* 73(1): e13147. doi: 10.1111/ejss.13147.
- Justes, E., B. Mary, and B. Nicolardot. 2009. Quantifying and modelling C and N mineralization kinetics of catch crop residues in soil: parameterization of the residue decomposition module of STICS model for mature and non mature residues. *Plant Soil* 325(1-2): 171-185. doi: 10.1007/s11104-009-9966-4.
- Justes, E., and G. Richard. 2017. Contexte, concepts et définition des cultures intermédiaires multi-services. *Innovations Agronomiques* 62, 1-15. doi: 10.15454/1.5174017785695195E12.
- Kätterer, T., M.A. Bolinder, O. Andrén, H. Kirchmann, and L. Menichetti. 2011. Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 141(1-2): 184-192. doi: 10.1016/j.agee.2011.02.029.
- Khaleel, R., K.R. Reddy, and M.R. Overcash. 1981. Changes in soil physical properties due to organic waste applications: a review. *Journal of Environment Quality* 10(2): 133-141. doi: 10.2134/jeq1981.00472425001000020002x.
- Kim, N., M.C. Zabaloy, K. Guan, and M.B. Villamil. 2020. Do cover crops benefit soil microbiome? A meta-analysis of current research. *Soil Biology and Biochemistry* 142: 107701. doi: 10.1016/j.soilbio.2019.107701.

- Lacoste, M., S. Cook, M. McNee, D. Gale, J. Ingram, *et al.* 2021. On-Farm Experimentation to transform global agriculture. *Nat Food* 3(1): 11–18. doi: [10.1038/s43016-021-00424-4](https://doi.org/10.1038/s43016-021-00424-4).
- Liu, A., B.L. Ma, and A.A. Bomke. 2005. Effects of Cover Crops on Soil Aggregate Stability, Total Organic Carbon, and Polysaccharides. *Soil Science Society of America Journal* 69(6): 2041–2048. doi: [10.2136/sssaj2005.0032](https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0032).
- Minette, S. G. Véricel. 2020. Couvert végétal. Maximiser les restitutions d'azote. *Perspectives agricoles* 480 : 14-27. Disponible sur : <https://www.perspectives-agricoles.com/qualite-debouches/couverts-vegetaux-maximiser-les-restitutions-dazote> (consulté le 15/04/2024)
- Morison, M., L. Guichard, and M.-H. Jeuffroy. 2008. Comment maîtriser la flore adventice des grandes cultures à travers les éléments de l'itinéraire technique ? *Innovations Agronomiques* 3: 27–41. doi: [10.17180/1a2s-rk23](https://doi.org/10.17180/1a2s-rk23) .
- Nowak, B., G. Marliac, and A. Michaud. 2021. Estimation of winter soil cover by vegetation before spring-sown crops for mainland France using multispectral satellite imagery. *Environmental Research Letters* 16(6): 064024. doi: [10.1088/1748-9326/ac007c](https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac007c).
- Peng, Y., E.L. Rieke, I. Chahal, C.E. Norris, K. Janovicek, *et al.* 2023. Maximizing soil organic carbon stocks under cover cropping: insights from long-term agricultural experiments in North America. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 356 : 108599. doi: [10.1016/j.agee.2023.108599](https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108599).
- Peng, Y., L. Wang, P.-A. Jacinthe, and W. Ren. 2024. Global synthesis of cover crop impacts on main crop yield. *Field Crops Research* 310: 109343. doi: [10.1016/j.fcr.2024.109343](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109343).
- Robert M., P. Stengel. 1999. Sols et agriculture : ressource en sol, qualité et processus de dégradation. Une prospective mondiale, européenne et française. *Cahiers Agriculture* 8 : 301-308. Disponible sur : <https://revues.cirad.fr/index.php/cahiers-agricultures/article/view/30187> (consulté le 18/06/2024).
- Rouge, A., G. Adeux, H. Busset, R. Hugard, J. Martin, *et al.* 2022. Weed suppression in cover crop mixtures under contrasted levels of resource availability. *European Journal of Agronomy* 136: 126499. doi: [10.1016/j.eja.2022.126499](https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126499).
- Silva, A.D.N., C.C.D. Figueiredo, A.M.D. Carvalho, *et al.* 2016. Effects of cover crops on the physical protection of organic matter and soil aggregation. *Australian Journal of Crop Science* 10(12): 1623–1629. doi: [10.21475/ajcs.2016.10.12.PNE164](https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.12.PNE164).
- Thureau, B., E. Congy, and P. Bolo. 2008. L'appropriation de l'obligation de couverture hivernale des sols par les agriculteur-ices. *Courrier de l'environnement de l'INRA* (56).
- Thomas, F. 2006. Augmentation de la biomasse en circulation au travers de couverts et mélanges de couverts végétaux : Expérience française. *Options méditerranéennes: Série A. Séminaire méditerranéens*. (69): 37–42.
- Warwick, S.I. 1979. The biology of canadian weeds. 37 *Poa annua*, L. *Can. J. Plant Sci.* 59(4): 1053–1066. doi: [10.4141/cjps79-165](https://doi.org/10.4141/cjps79-165).
- Zulauf, C., G. Schnitkey, N. Paulson, and C. Jonathan. 2024. Cover Crops and Covered Cropland, 2022 US Census of Agriculture. *farmdoc daily* (14): 37.



## Thèses

Tribouillois, H., Caractérisation fonctionnelle d'espèces utilisées en cultures intermédiaires et analyse de leurs performances en mélanges bispécifiques pour produire des services écosystémiques de gestion de l'azote, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2014, 179 pages. Disponible sur : <https://theses.hal.science/tel-04260110> (consulté le 08/03/2024).

## Sites internet

Les Fiches Couverts - ARVALIS-infos.fr. Disponible sur : <https://fiches.arvalis-infos.fr> (consulté le 30/07/2024).

Chambre d'Agriculture. 2023. Grandes cultures biologiques, les clés de la réussite. Guide technique réalisé par le réseau agriculture biologique des Chambres d'agriculture. Disponible sur : [https://chambres-agriculture.fr/?id=2835206&tx\\_news\\_pi1%5Bnews%5D=29756&tx\\_news\\_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx\\_news\\_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=6c682a84654b04a675e7386f58ed18aa](https://chambres-agriculture.fr/?id=2835206&tx_news_pi1%5Bnews%5D=29756&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=6c682a84654b04a675e7386f58ed18aa) (consulté le 21/06/2024).

Comité de Bassin Adour-Garonne. 2018. Plan d'adaptation au changement climatique de bassin Adour-Garonne. <https://www.calameo.com/agence-de-leau-adour-garonne/read/0002225925a1be226b094>.

DRAAF. 2021. Recensement agricole 2020. Agreste 7 : 1-4. Disponible sur : <https://www.bnsp.insee.fr/ark:/12148/bc6p0792b75.textelimage> (consulté le 21/06/2024).

GABB 32. 2012. Couverts végétaux, Techniques Superficielles, Agriculture Biologique et Agroforesterie. Synthèse des deux journées de rencontre et d'échanges entre agriculteur·ice·s du Sud-Ouest. Disponible sur : <https://agriculture-de-conservation.com/sites/agriculture-de-conservation.com/IMG/pdf/ac-gabb-32.pdf> (consulté le 21/06/2024).

GIEE MAGELLAN. 2019. Guide MAGELLAN. Semis direct, du couvert annuel au couvert permanent. Disponible sur : <https://gieemagellan.wixsite.com/magellan/guide-culture-magellan> (consulté le 06/03/2024)

Infoclimat. 2024. Climatologie de l'année 2023 à Muret-Lherm (31). Disponible sur : <https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2023/muret-lherm/valeurs/07628.html> (consulté le 03/06/2024).

Jamet, D., S. Cadoux. 2023. Services rendus par les couverts d'interculture. Terres Inovia. Disponible sur : <https://www.terresinovia.fr/-/services-rendus-par-les-couverts-d-interculture> (consulté le 14/03/2024).

Lacoste, M. V. Bellon-Maurel. Expérimentation à la ferme : un mouvement mondial pour accélérer les transitions du monde de l'agriculture. Communiqué de presse du 23 décembre 2021. Disponible sur : [https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/CP\\_Experimentations-ferme-mouvement-mondial-accelerer-transitions-agricoles.pdf](https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/CP_Experimentations-ferme-mouvement-mondial-accelerer-transitions-agricoles.pdf) (consulté le 23/07/2024).

MERCI - Site officiel et calculateur en ligne. Disponible sur : <https://methode-merci.fr/foire-aux-questions> (consulté le 13/08/2024)

Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires. 2022. Les sols en France- Synthèse des connaissances en 2022. *Données et études statistiques - Pour le changement climatique, l'énergie, l'environnement, le logement, et les transports*. Disponible sur : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/les-sols-en-france-synthese-des-connaissances-en-2022>(consulté le 13/08/2024).

Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement Climatique. 2023. Etat des lieux sur le changement climatique et ses incidences agricoles en région Occitanie. Disponible sur : <https://occitanie.chambre-agriculture.fr/publications/toutes-les-publications/la-publication-en-detail/actualites/oracle-2023-etat-des-lieux-sur-le-changement-climatique-et-ses-incidences-agricoles-en-region-occi/> (consulté le 19/06/2024).

Regnier, E. 2023. Sols menacés. Peut-on encore sauver les sols ? Ressources, la revue d'INRAE. Disponible sur : <https://www.inrae.fr/dossiers/peut-encore-sauver-sols/sols-menaces> (consulté le 06/05/2024).

USDA. 2022. 2022 Census of Agriculture : Cover crop use continues to be most common in eastern United States. Economic Research Service - US Department of Agriculture. <https://www.ers.usda.gov/data-products/chart-gallery/gallery/chart-detail/?chartId=108950> (consulté le 13/08/2024).

## Ouvrages

Rice, E.L. 2012 (première édition : 1984). Allelopathy. Academic Press. ISBN : 0-12-587055-8.

## Documents techniques

Chambres d'agriculture de France. 2023. Les coûts 2023 des Opérations Agricoles. Un référentiel pour le calcul des coûts de production et le barème d'entraide. Disponible sur : <https://chambres-agriculture.fr/publications/toutes-les-publications/la-publication-en-detail/actualites/couts-des-operations-culturales/> (consulté le 07/03/2024).

Chambre d'agriculture Drôme. 2017. Activer les atouts agronomiques des couverts végétaux.

Evaluation Visuelle de la Structure des horizons de surface des sols cultivés (VESS). 2013. Traduction de la clé visuelle développée par Guimarães, R.M.L., Ball, B.C., and Tormena, C.A. (2011) adaptée de Boizard, H. *et al.*, in Baize, D. *et al.*, (2013)

Guesquière J., Cadillon A, Fourrié L et Fontaine L.. 2012. Choisir et réussir son couvert végétal pendant l'interculture en AB. ITAB.

## Illustrations utilisées

L'ensemble des photographies utilisées dans le présent mémoire (dont Figure 9) ont été prises lors des relevés de terrain et rencontres techniques pendant la durée du stage par Bio Ariège-Garonne.