



HAL
open science

Les couverts végétaux favorisent-ils la présence d'auxiliaires, la fertilité des sols et contrôlent-ils l'enherbement sans concurrence pénalisante pour une jeune plantation arboricole ?

Colin Arpino

► To cite this version:

Colin Arpino. Les couverts végétaux favorisent-ils la présence d'auxiliaires, la fertilité des sols et contrôlent-ils l'enherbement sans concurrence pénalisante pour une jeune plantation arboricole ?. Sciences du Vivant [q-bio]. 2023. dumas-04438171

HAL Id: dumas-04438171

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04438171v1>

Submitted on 21 Mar 2024

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

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

Mémoire de fin d'études présenté pour l'obtention du diplôme
d'Ingénieur Horticole/Agronome
Option « Production Végétale Durable »

Les couverts végétaux favorisent-ils la présence d'auxiliaires, la fertilité des sols et contrôlent-ils l'enherbement sans concurrence pénalisante pour une jeune plantation arboricole ?



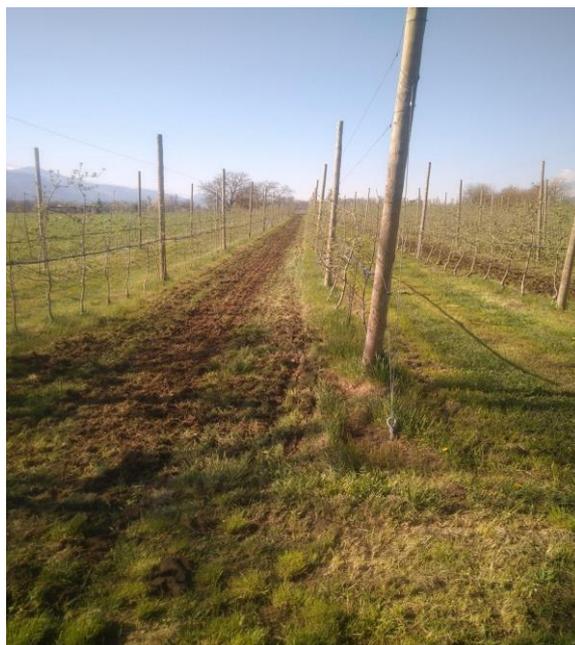
Présenté par Arpino Colin

Année de soutenance : 2023

Organisme d'accueil : Thomas le prince

Mémoire de fin d'études présenté pour l'obtention du diplôme
d'Ingénieur Horticole/Agronome
Option « Production Végétale Durable »

Les couverts végétaux favorisent-ils la présence d'auxiliaires, la fertilité des sols et contrôlent-ils l'enherbement sans concurrence pénalisante pour une jeune plantation arboricole ?



Présenté par Arpino Colin
Année de soutenance : 2023

Organisme d'accueil :
Chez Béchet, groupe Thomas Le Prince Arboriculteur des Savoies

Maître de stage : Thomas Le Prince

Tutrice école : Aurélie Metay

Devant le Jury composé par :

Brigitte Brunel **présidente**

Aurélie Métay **Tutrice**

Pierre-Eric Laury **Rapporteur**

Le **25/08/2023** à l'Institut Agro Montpellier

Résumé

Titre : Les couverts végétaux favorisent-ils la présence d'auxiliaires, la fertilité des sols et contrôlent-ils l'enherbement sans concurrence pénalisante pour une jeune plantation arboricole ?

La filière arboricole nécessite de trouver plus de résilience, pour répondre aux enjeux sociaux, économiques et écologiques (Pissonnier 2017). L'implantation d'une nouvelle surface représente des risques à maîtriser et engendre des coûts importants. Ce mémoire s'intéresse à la mise en place et à l'évaluation de couverts végétaux en plantation arboricole de 2023. De quelles manières les couverts végétaux augmentent-ils la fertilité du sol et attirent-ils des auxiliaires sans pénaliser le développement de la culture ? Pour cela, 3 mélanges de 3 espèces différentes et un témoin spontané ont été sélectionnés et semés sur 3 parcelles distantes et homogènes. Une modalité Broyage a été incluse pour reproduire la réalité de l'exploitation. Les variables mesurées sont : Diamètre du tronc, Humidité du sol présente au sein du couvert et au pied de l'arbre, l'agressivité du couvert, le nombre d'insectes rampants, des mesures de production de biomasse et de devenir de la M.O. Les variables humidité du sol et accroissement du diamètre du tronc ne démontrent pas de différence significative, aucune concurrence du couvert sur le développement de l'arbre n'a été mise en évidence. La présence de biodiversité, mesurée avec les pots Barber a démontré une différence significative pour le couvert M1 attirant plus de 23 insectes par semaine pour 70m². Le couvert M1 composé de trèfle Mélilot et Avoine exerce un pouvoir suffisamment agressif pour accepter un taux de salissement de seulement 30% en moyenne après un broyage et seulement 10% sans broyage. Le couvert M3 produit significativement plus de MS que les autres, environ 13T de MS/ha. Le couvert M3 composé de Vesce, Phacélie et Féverole démontre une rapidité de minéralisation plus importante. La puissance statistique pourrait être améliorée par des répétitions sur plusieurs années et une augmentation du nombre de mesures. Cela permettrait de confirmer ou compléter les résultats ici représentés. Les couverts végétaux fournissent de nombreuses externalités (biomasse, fertilisation, maintien d'humidité, attraction d'insectes...). Les évaluer tous à la fois peut diminuer la puissance et la précision de l'essai. Orienter ces critères de sélection peut être une manière de poursuivre ces expérimentations. Les essais sur ce sujet sont nombreux, mais obtenir des références à une échelle locale reste important pour piloter au mieux sa gestion du verger.

Mots clés : Arboriculture fruitière, couverts végétaux, compétition hydrique, production de biomasse, devenir de la Matière organique, résilience, systèmes agroécologiques.

Abstract

Title : Does plant cover promote auxiliaries and soil fertility, and control weed growth without penalizing competition for young tree plantations ?

The arboricultural sector requires enhanced resilience to address social, economic, and ecological challenges (Pissonnier 2017). The establishment of new cultivation areas presents risks that need to be managed and results in significant costs. This dissertation focuses on the implementation and evaluation of vegetative covers in arboricultural plantations starting from the year 2023. In what ways do vegetative covers contribute to increasing soil fertility and attracting beneficial organisms without hindering crop development? To address this, three mixtures of three different species, along with a spontaneous control, have been selected and sown in three distant and homogeneous plots. A shredding modality has been included to replicate operational reality. The measured variables include trunk diameter, soil moisture within the cover and at the base of the tree, the impact of the cover, the number of crawling insects, as well as biomass production measures and organic matter dynamics. Soil moisture and trunk diameter growth variables do not exhibit significant differences, and there is no evident competition from the vegetative cover affecting tree development.

Biodiversity presence, assessed using Barber traps, demonstrates significant differences for the M1 cover, attracting over 13 insects per week for 70 m². The M1 cover, composed of clover, sweet clover, and oats, exhibits a competitive ability sufficient to tolerate a soiling rate of only 30% on average after shredding, and as low as 10% without shredding. The M3 cover generates significantly more dry matter than the others, reaching approximately 13 tons of dry matter per hectare. The M3 cover, consisting of vetch, phacelia, and fava bean, shows a higher rate of mineralization. To enhance statistical robustness, repeating these experiments over multiple years and increasing the number of measurements would be advisable. This would help confirm or complement the results presented here. Vegetative covers provide numerous externalities (such as biomass, fertilization, moisture retention, insect attraction), but evaluating all of them simultaneously can reduce the power and precision of the trial. Focusing the selection criteria could be an approach to continue these investigations, given that studies on this subject are extensive, yet obtaining references at a local scale remains vital for effectively managing orchards.

Keywords : Fruit arboriculture, vegetative covers, water competition, biomass production, organic matter dynamics, resilience, agroecological systems.

Remerciements

Pour l'ensemble de ce travail qui représente quelques semaines de réflexions et de suivi au champs plutôt pluvieuses et fraîches puis quelques autres plus chaudes à mesurer inlassablement chacun des troncs de ces grandes parcelles et enfin 2 mois assis derrière un ordinateur à essayer de comprendre, d'influer sur cette machine inerte et inapte à retranscrire aucun sentiment, je me remercie d'avoir été suffisamment tenace pour persévérer durant ces 6 années d'études.

Une pensée émue à la pluie qui tout au long de l'année aura gorgé le sol d'eau, permis la respiration d'un nombre incroyable d'organismes et de développer la vie dans cette si belle vallée qu'est celle du Grésivaudan.

Un énorme merci au soleil chaud et ardent qui m'aura coloré de la tête au pied tout en permettant à tout un chacun d'aller profiter de nombreux et beaux festivals musicaux tout le long de cet été.

Claire Béchet m'aura accompagné durant ces 3 années d'études, me transmettant un savoir d'une valeur inestimable, merci de ces longues discussions dans des positions inconfortables à se cailler les doigts en train de tailler les reines de reinettes.

J'en profite pour remercier la musique qui m'a porté à travers ces épreuves et qui aujourd'hui encore me guide et m'inspire pour continuer à faire vibrer nos cœurs.

Je remercie Aurélie Métay de m'avoir tenu éloigné de la poésie et des tournures de phrases alambiquées n'ayant pas leur place au sein d'un tel écrit, de sa compréhension et de sa très grande patience qui en fait une enseignante d'agronomie plus que compétente.

L'ensemble de l'équipe PVD est à remercier et à valoriser, malgré la difficulté pour motiver cette promo à montrer son intérêt, je m'y suis senti accueilli et j'ai pu y développer de nombreuses et belles compétences.

Les statistiques sont des êtres fragiles qui, à force d'être torturés, finissent par avouer tout ce qu'on veut leur faire dire. A.Sauvy

Table des matières

Résumé	2
1 Introduction	10
2 Contexte et état de l'art	12
2.1 Fonctionnement de malus communis	12
2.1.1 Fonctionnement biologique	12
2.1.2 Les composantes du rendement du pommier	13
2.2 La filière de la pomme et ses enjeux	14
2.3 Les enjeux de la production	15
2.3.1 La labellisation et le conseil, des outils nécessaires au maintien d'une exploitation fruitière	15
2.4 Réduction d'usage des produits phytosanitaires en agriculture et leurs raisons	16
2.4.1 Contexte réglementaire	16
2.4.2 Perte de biodiversité au sein des espaces cultivés	17
2.5 Les enjeux de gestion de la filière arboricole	19
2.5.1 Lutte contre les adventices	19
2.5.2 Lutte contre les maladies et les ravageurs	19
2.5.3 La gestion de la ressource en eau	20
2.6 L'agroécologie, une vision plus résiliente du modèle agricole	20
2.7 Les couverts végétaux une réponse aux problématiques arboricoles de qualité des sols	21
2.7.1 Définitions et rôles des couverts végétaux	21
2.7.2 Augmentation du taux de matière organique et de l'activité biologique des sols, vers une réduction de la fertilisation	23
2.7.3 Amélioration de la qualité physique des sols et divers services associés	23
2.8 L'entreprise TLP	24
2.8.1 Le mode de fonctionnement	24
2.8.2 Les directions prises par l'entreprise et leurs liens avec le projet	24
2.9 Le projet Chez Béchet	25
3 Problématique, hypothèses et démarche	26
3.1 Présentation de la problématique	26
3.1.1 Questions de recherche	26
3.1.2 Démarche globale	26
4 Matériel et Méthodes	27

4.1	Caractérisation des parcelles	27
4.1.1	Localisation des parcelles	27
4.2	Caractéristiques climatiques de l'année	27
4.3	Conduite de la culture de pomme au sein de l'entreprise TLP	28
4.3.1	Protection phyto-pharmaceutique	28
4.3.2	La gestion de l'enherbement.....	28
4.3.3	Le travail du sol.....	29
4.3.4	La gestion de la taille	29
4.3.5	Le roulage un point important	29
4.4	Itinéraire technique superposé pommier/ couverts	29
	30
4.5	Choix des parcelles.....	30
4.6	Caractérisation des modalités	31
4.7	Choix du dispositif expérimental.....	31
4.8	Doses de semis appliquées	32
4.8.1	Tableau de synthèse des variables mesurées	33
4.8.2	Méthode de l'analyse de terre.....	34
4.9	Stratégie d'analyse des données	34
4.9.1	Tableau de synthèses des variables mesurées et de leur méthode d'analyse	35
5	Résultats.....	36
5.1	Caractérisation initiale des sols des parcelles	36
5.1.1	Caractéristiques biologiques, chimiques et physiques du sol	36
5.2	Production de biomasse et devenir de la M.O.....	37
5.2.1	Production de biomasse des couverts en fonction de la pluviométrie.....	37
5.2.2	Influence de la couverture végétale sur le devenir de la M.O par la méthode des TBI	39
5.3	Croissance de l'arbre et état hydrique du sol	41
5.3.1	Concurrence hydrique et présence d'eau dans le sol au niveau du couvert ...	42
5.4	Indices de présence de faune	43
5.5	Efficacité du couvert pour contrôler le développement des adventices.....	44
5.6	ACP, Cercle de corrélations et répartition spatiale des modalités	45
6	Discussion	45
6.1	Contextualisation nécessaire	45
6.2	Evaluation de l'efficacité des couverts pour repousser les rongeurs	46
6.3	Les rôles de la microbiologie dans le devenir de la M.O	46
6.3.1	Equilibre entre production de Carbone et d'Azote	46

6.3.2	Importance de l'activité biologique et les risques d'accumulation de minéraux de synthèse dans le sol.....	46
6.3.3	L'influence de la flore sur le type de développement de l'activité biologique ..	47
6.3.4	Les légumineuses favorisant la présence de biomasse microbienne	47
6.4	Besoins en eau et gestion du broyage des couverts	47
6.4.1	Des couverts végétaux qui apportent des minéraux essentiels	48
6.4.2	Les pots Barber un indicateur à compléter par d'autres mesures.....	49
6.5	Puissance statistique	49
6.5.1	Evaluation de la méthodologie d'analyse des données	49
6.5.2	Tests de puissance a priori et a posteriori.....	49
7	Conclusion et perspectives	50
7.1	Mise à l'échelle d'une implantation de couverts végétaux chez TLP	50
7.1.1	Proposition de plan d'expérimentation	51
7.2	Conclusion.....	51
8	Annexes.....	53
	Annexe 1 Analyse de terre.....	53
	Annexe 2 Evaluation économique et technique de ce système	54
	Annexe 3 Limites des couverts végétaux à prendre en compte.....	55
	Annexe 4 Retour d'expérience sur l'installation d'un couvert de mélilot.....	56
	Annexe 5 Synthèse des points forts et faibles des couverts végétaux.....	57
	Annexe 6 choix et formatage des variables pour l'ACP	57
	Annexe 7 Evaluation de la méthodologie retenue pour l'analyse des données	58
	Annexe 8 rapport L3 A.Colin	58
	Conclusion	58
	Résumé	Erreur ! Signet non défini.
9	Bibliographie	60

Table des tableaux

Tableau 1 Synthèse des informations relatives à la parcelle de mise en place des essais ..	27
Tableau 2 Nombres de passages par activité en arboriculture fruitière chez TLP	29
Tableau 3 Synthèse du choix des parcelles, de la motivation pour l'expérimentation et des hypothèses associées.....	30
Tableau 4 Doses de semis de chacune des espèces au sein de chaque modalité.....	33
Tableau 5 Tableau de synthèses des variables mesurées, de leurs unités, de l'emplacement et de la fréquence de la mesure.....	33
Tableau 6 Synthèse de l'analyse statistique réalisée pour chacune des variables en fonction de l'hypothèse formulée	35
Tableau 7 Synthèse de l'analyse de terre réalisée pré-plantation à 45cm de profondeur et sur 5 prélèvements aléatoires homogènes et du compte rendu du profil pédologique présentant des éléments non limitants et les points de vigilance de la parcelle étudiée	36
Tableau 8 Résultats des mesures de MS, d'efficacité d'utilisation de l'eau et de la production de MS en fonction des degrés jour	38
Tableau 9 Puissance a posteriori a priori, et le nombre de mesures nécessaires des variables mesurées expliquant les différences significatives entre modalités.	50
Tableau 10 Synthèse de la proposition de mise à l'échelle du couvert, du coût estimé et des services attendus.	54
Tableau 11 Synthèse des espèces intéressantes au sein des couverts en fonction de leur sensibilité face au broyage, de leur aspect mellifère et de leur production de biomasse selon les fiches techniques Arvalis	57
Tableau 12 les variables utilisées pour l'ACP et leur formatage.	57

Table des figures

Figure 1 Stades phénologique du pommier Syngenta 2022	12
Figure 2 Composantes du rendement chez le pommier	14
Figure 3 Production fruitière Française Pomme, Poire, Fraise de 2014 à 2022 INSEE 2022	14
Figure 4 Prix moyen de la pomme de 2010 à 2022 en France INSEE 2023.....	15
Figure 5 Evolution de 2012 à 2018 de l'IFT moyen en arboriculture, Agreste 2022	16
Figure 6 Relevés pluviométriques de la station de Chatte (38) sur 10 ans et de la station de la terrasse (38).....	20
Figure 7 Schéma de fonctionnement de l'entreprise TLP	24
Figure 8 Localisation géographique des parcelles.....	27
Figure 9 Pluviométrie et somme de degré jours observés sur le site des essais	27
Figure 10 Itinéraire technique superposé du pommier et du couvert végétal.....	30
Figure 11 Schéma d'expérimentation avec la disposition en randomisation totale des modalités et de l'orientation géographique	32
Figure 12 Schéma d'un zoom sur la disposition des placettes au sein de chaque modalité et de leurs dimensions.	32
Figure 13 Photo du profil pédologique réalisé.	37
Figure 14 Biomasse produite pour chaque modalité en kg de biomasse fraîche récoltée sur 1/8 de m2.....	39
Figure 15 Minéralisation du thé vert par la méthode des TBI en 3 mois exprimée en grammes perdus.	40
Figure 16 Minéralisation du the Rouge par la méthode des TBI sur 3 mois exprimée en grammes perdus.	40
Figure 17 Dynamique d'évolution du diamètre du tronc des arbres au sein de chaque modalité répété 5 fois sur les mêmes individus du 10/05 au 03/07.....	41
Figure 18 Taux d'humidité du sol exprimé en %d'humidité au pied de l'arbre et sous le couvert, mesures réalisées à la sonde Watersensor SM1000 du 10/05 au 03/07.....	42
Figure 19 Taux d'humidité en % moyen du sol cumulé du 10/05 au 03/07 au pied de l'arbre et sous le couvert.....	43
Figure 20 Nombre d'insectes piégés moyens du 10/05 au 03/07 dans les pièges Barber au sein de chaque modalité.	43
Figure 21 Résultat du % de salissement observé au 03/07 du rang au sein de chaque modalité.	44
Figure 22 Cercle de corrélation des variables concernant l'ensemble des modalités	45
Figure 23 Représentation spatiale par l'ACP des modalités en fonction des deux dimensions principales.....	45
Figure 24 Broyeur SDS KUHN	48
Figure 25 Plan d'expérience de la mise à l'échelle de l'essai de couverts végétaux chez TLP 2024.....	51
Figure 26 Plan d'expérimentation de l'essai méliot de 2021 à La terrasse Chez Béchet.....	56

Abréviations et acronymes utilisés

TBI : Tea bag Index, méthode de mesure de l'activité biologique et du devenir de la M.O
M.O : Matière Organique
TLP : Thomas le prince
IFT : Indice Fréquence de Traitement (% de la dose appliquée / % de la surface traitée)
AB : Activité Biologique
IAB : Indice d'Activité Biologique
PPP : Produits phytopharmaceutiques
EARL : Exploitation agricole à responsabilité limitée
SA : Société anonyme
SAS : Société par Actions Simplifiées

1 Introduction

L'arboriculture et plus précisément la culture de la pomme (*Malus communis*) représente aujourd'hui la première filière française en terme de tonnages produits annuellement, avec 1,4 million de tonnes (France Agrimer 2022). Les Français sont

donc de grands consommateurs de pommes, et cela fait depuis 10 000 ans que *Malus communis* se voit planté, taillé, traité et récolté chaque année. Les technologies, les savoirs se développent et le pommier est étudié sous toutes ses formes pour comprendre au mieux ses besoins afin de pouvoir les normaliser et le rendre le plus productif possible. Ces études portent sur sa capacité à orienter sa croissance en fonction de la luminosité présente (Pitchers 2021)), sur les méthodes de taille et leur impact sur le rendement (Mika, Buler, et Krawiec 2003) ainsi que sur la sélection et la taille du porte greffe. La prise en compte de l'écosystème et du sol sont des domaines que nous redécouvrons à travers l'écologie et l'agronomie qui nous permettent d'envisager d'autres voies possibles (Lichtfouse et al. 2009) pour une production durable alimentant bientôt 10 milliards d'habitants. Le développement de techniques alternatives que sont la permaculture ou la biodynamie permettent de se rendre compte que d'autres manières d'envisager la production et la conception de l'écosystème sont envisageables (Geier et al. 2018). La transition d'un système aussi industriel et dépendant de ressources fossiles tel que celui actuellement majoritaire à un écosystème plus résilient demande de nombreuses adaptations. L'agroécologie, énoncée comme voie d'avenir par Mr Le Foll pour l'agriculture au Mans le 14 janvier 2013, vise à amener au plus vite une transition de nos pratiques vers une réduction de la dépendance aux intrants (Lecuyer, Chatellier, et Daniel 2013). De nombreux moyens que ce soit au niveau de la recherche, des agriculteurs, des techniciens sont mis en œuvre pour accélérer cette transition. Pour cela, la mise en place de couverts végétaux au sein d'espaces cultivés tels que l'arboriculture, est un premier pas vers de nouvelles pratiques, et un retour vers des connaissances systémiques (Pissonnier 2017). Ces changements ont pour vocation de rendre plus résilients les systèmes, de réduire leur dépendance aux intrants et aux énergies fossiles tout en renforçant leur intégration au sein du tissu économique social et écologique local (Morel 2019).

Ce mémoire a pour but de répondre à la question suivante :

Les couverts végétaux favorisent-ils la présence d'auxiliaires, la fertilité des sols et contrôlent-ils l'enherbement sans concurrence pénalisante pour une jeune plantation arboricole ?

Pour y répondre au mieux, nous commencerons par définir ce que sont les couverts végétaux, leurs effets et limites potentiels, puis nous caractériserons le fonctionnement du pommier. Nous rendrons compte de l'expérimentation qui a été mise en place au sein d'une entreprise arboricole. Les questions de recherche seront définies en fonction des problématiques soulevées suite à la proposition de mise en place de ces couverts : Quelle concurrence du couvert sur le développement de l'arbre ? Quel apport de biomasse et comment cela s'incorpore-t-il au sol, quel est son devenir ? Quelle attractivité pour les insectes ? Quelle répulsion pour les rongeurs ? Le couvert peut-il maintenir ou limiter le développement des adventices dans l'inter-rang ?

Le but de cette étude est de donner sur une seule année des références en terme d'efficacité des couverts pour réduire l'usage d'intrants à travers la répulsion de ravageurs et l'attraction d'auxiliaires, mais aussi en nourrissant le sol avec des éléments vivants que sont les plantes et leurs racines tout en évaluant la concurrence potentielle du couvert sur le développement de l'arbre. Pour cela nous allons à travers la mise en place d'une expérimentation et d'un traitement statistique démontrer quels sont les effets des couverts végétaux sur le développement d'une plantation fruitière. Nous allons y répondre en commençant par contextualiser puis situer ce sujet au sein des connaissances scientifiques actuelles. Ensuite nous décrivons le plan d'expérimentation et les variables mesurées, nous continuerons par l'analyse des résultats suivis d'une conclusion et d'une discussion.

2 Contexte et état de l'art

2.1 Fonctionnement de *Malus communis*

Pour évaluer les couverts végétaux implantés dans une parcelle arboricole de pommier, il est utile de connaître la biologie de *Malus communis*, son cycle de culture et l'élaboration de son rendement.

Cronquist 1981 classe le pommier comme suit :

Règne : *Piantae*

Sous règne : *Tracheobionta*

Division : *Magnoliopsida*

Classe : *Magnoliopsida*

Sous classe : *Rosidae*

Ordre : *Rosales*

Famille : *Rosaceae*

Sous famille : *Maloideae*

Distribution géographique : Monde entier actuellement, Europe de l'EST et Asie de manière anthropique (GIRAUD 2016).

Quelques variétés : Reine de reinettes, Chanteclerc, R.Gala, Golden, Canada grise...

2.1.1 Fonctionnement biologique

Le pommier est une plante végétative ligneuse qui peut atteindre hors système cultivé plusieurs centaines d'années (Tahar 2022) avec un port moyen buissonnant (jusqu'à 8m). Son houppier a la capacité de réitérer de nombreuses branches. Son initiation

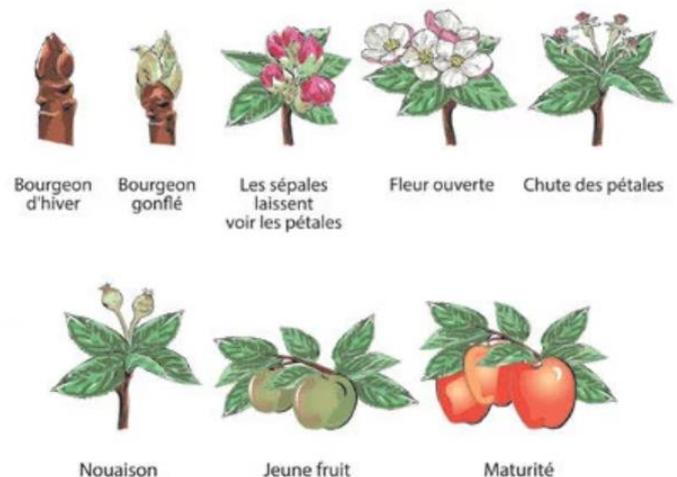


Figure 1 Stades phénologique du pommier Syngenta 2022

florale est réalisée un an avant la mise à fruit et est déterminée par une charge hormonale totale contenue dans les pépins (MEDJAHED 2014). Pour la production il est greffé sur des porte-greffes “nanifiant” ou “poussant” en fonction des conditions d’implantations et du devenir du verger. Les porte-greffes sont souvent des cognassiers ou des espèces sauvages peu poussantes de *Malus communis*, (Assaf 1995) du type NAKB, M9 pour les plantations chez TLP. La sensibilité au gel s’étale du bourgeon gonflé aux fleurs ouvertes (voir figure 1), c’est-à-dire de Mars au 15 mai (les saints de glaces). La pollinisation par les auxiliaires est à son maximum durant une semaine (Fayet 2016) . Pendant le stade fleur ouverte, les conditions météorologiques (température, humidité et vent) influencent fortement ce pourcentage d’accroche (perte de 50% de rendement cette année sur la poire william chez TLP du fait de températures trop basses pour l’activité des pollinisateurs). Les besoins en eau se font importants dès l’émission des feuilles jusqu’à la récolte du fruit (Aïssa, Nasr, et Mechlia 2000). Un apport constant est nécessaire, un sous-dosage lors du grossissement du fruit impacte le calibre négativement, un sur dosage proche de la récolte crée des fissures et provoque une chute précoce. Lors du basculement du jeune fruit, les risques de brûlure sont plus importants, la protection solaire (Lobos et al. 2015) (talc) est à envisager. La brillance et la coloration sont accentuées par des écarts de température entre la nuit et le jour et par la couverture nuageuse (Massot 2010) régulant le rayonnement perçu. Des apports d’oligo-éléments type calcium, Bore, Zinc vont sécuriser la qualité du rendement et sa conservation car les fruits peuvent être stockés jusqu’à 12 mois post récolte (Zohra 2021) dans des chambres froides spécialisées (fonctionnement chez TLP).

L’arbre réalise une mise en réserve post récolte (Habib 1984), plus celle-ci est précoce et plus l’arbre a du temps pour stocker les éléments nutritifs piégés dans ses feuilles. De cela découlent les techniques de taille, la défoliation et la nutrition foliaire par atomiseur.

2.1.2 Les composantes du rendement du pommier

La figure 2 permet de situer quelles sont les composantes de rendement du pommier. Le nombre d’arbres est déterminé lors de l’implantation de la parcelle, aujourd’hui les hautes densités sont conseillées, cela représente un peuplement de plus de 2500 arbres/ha en Bi-axe (groupe Oxyane et CA73). Cela induit un total de 5000 charpentières espacées de 60cm sur le rang dont sont issus les rameaux fructifères puis les bouquets de fleurs. Ces fleurs sont initiées l’année précédente (Guitton, Chagné, et Costes 2013) et sélectionnées par la taille puis les éclaircissants. Les pollinisateurs et les conditions météorologiques influencent fortement l’accroche des fruits. La chute physiologique, les gelées tardives et les derniers éclaircissants déterminent la charge finale en termes de nombre de fruits/ha. Il est ici souhaité



Figure 2 Composantes du rendement chez le pommier

produire 40 T/ha de pommes avec un poids moyen de 145 g, cela revient à obtenir

110 pommes/arbres établis.

2.2 La filière de la pomme et ses enjeux

Voici une synthèse réalisée par L'INSEE à propos de la production moyenne de 2014 à 2022 en France de fruits frais, figure 3. La France a une balance commerciale positive nette sur cette production. Les productions de pommes et poires représentent

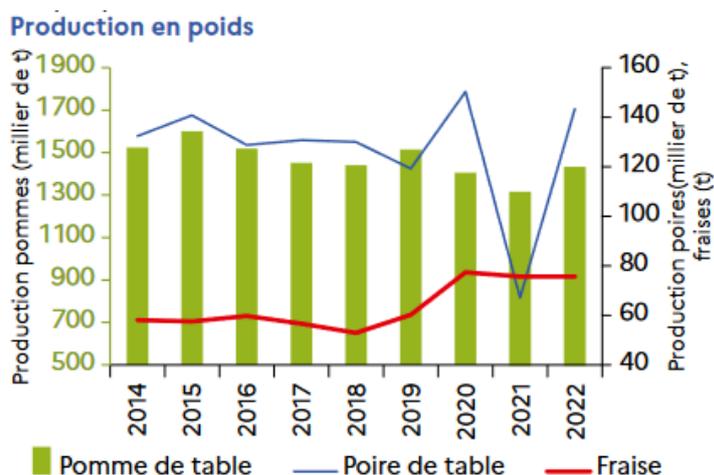


Figure 3 Production fruitière Française Pomme, Poire, Fraise de 2014 à 2022 INSEE 2022

1,5 million de tonnes par an. Une grosse chute de la production en 2021 est expliquée par une année fortement gélive et à un marché mouvant pour la poire, avec de fortes concurrences européennes faisant fluctuer les surfaces de manière rapide. Les dynamiques d'arrachage et de replantation en espèces fruitière ont des conséquences sur le marché dites « à retardement »

puisqu'entre la date de plantation et la première récolte, la moyenne de temps est de 5 ans (Elkartea 2023). Sélectionner et planter ces variétés en fonction du marché demande une connaissance fine des mouvances de celui-ci. Pour cela plusieurs acteurs encadrent et orientent les agriculteurs (REGNARD et HUTIN 2021). Comme dans chaque filière agricole nous retrouvons les sélectionneurs et obtenteurs qui créent les variétés (Friedli et al. 2021) en fonction des attentes du marché et des retours des producteurs. Nous retrouvons les coopératives qui favorisent les variétés « club » ou les génériques en fonction de leurs débouchés. Puis les organismes de vente sur des marchés internationaux ou nationaux que sont les GMS. Ces structures imposent des normes de tonnage et de qualité fournie sur des périodes longues et continues, les approvisionner et être référencé demande une production stable et soutenue (TLP).

2.3 Les enjeux de la production

Produire de la pomme aujourd'hui en France est un réel défi, que ce soit **économiquement** à travers la hausse des consommables (« Hausse des prix de l'énergie » 2023) et la baisse des prix de vente (INSEE 2022). **Écologiquement** par la réduction imposée de l'usage des produits phytopharmaceutiques (« Qu'est-ce que le réseau DEPHY ? | » 2023) et des événements climatiques de plus en plus violents (S. Martin, Eglin, et Bardinal 2015) et imprévisibles. **Socialement** avec des asymétries d'informations entre le producteur et le consommateur (Denmat 2021) et des difficultés croissantes à adapter l'offre et la demande sur le marché du travail (plus de 40% de taux d'emplois vacants chez TLP). Olivier de Shutter, rapporteur à l'ONU de 2008 à 2014 après avoir mené 6 ans de mandats et lutté pour le développement de l'agriculture paysanne et l'encadrement de l'agro-industrie, estime que les changements vont venir d'initiatives locales et adaptées car les états font face à de trop grosses puissances et subissent d'importantes pressions (*Le Monde.fr* 2014).

La figure 4 présente les oscillations fortes du coût de la pomme en France avec actuellement un prix moyen de 2,91 € du kilo. Ces variations sont dues aux différentes

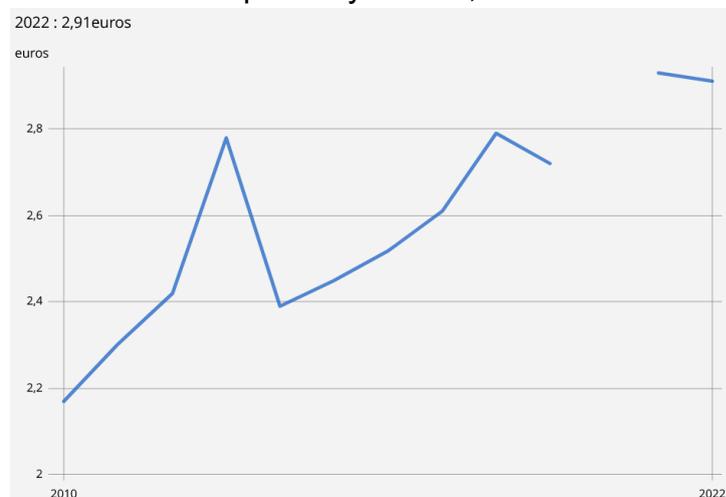


Figure 4 Prix moyen de la pomme de 2010 à 2022 en France INSEE 2023

entrées sur le marché de producteurs européens ou mondiaux, aux variations des coûts de récoltes fortement indexés sur les énergies fossiles et aux facteurs climatiques (gel, grêle et sécheresse). Au sein de l'entreprise TLP, le coût de production est estimé à 0,54 centimes du Kilo brut de cueille. Ce qui laisse une marge de 2,4€ à laquelle il faut retirer les coûts de stockage (0,1€/kg à 0,3€/kg), de calibrage (0,1€/kg) de transport (0,21€/Kg) ainsi que

de communication et de mise en rayon. Cette année les coûts des énergies ont augmenté de plus de 60% pour l'électricité et plus de 30% pour le transport (sources internes).

2.3.1 La labellisation et le conseil, des outils nécessaires au maintien d'une exploitation fruitière

Pour répondre à ces problématiques de baisse importante de prix, les producteurs se regroupent et décident d'encadrer et de labelliser leurs productions.

Tel est le rôle de l'IGP des Savoies qui permet aux producteurs choisissant d'adhérer à cette Indication Géographique Protégée de commercialiser leurs fruits comme

provenant des Savoies et répondant à un cahier des charges. Cela permet de valoriser des variétés anciennes (poire blesson, Fusée, Brousse) et de représenter un volume plus important à l'échelle nationale pour défendre au mieux les prix (« Une agriculture raisonnée - Pommes et poires de Savoie » 2021).

Le suivi technique et l'approvisionnement des produits phytosanitaires sont soumis à une réglementation précise (Grimonprez et Bouchema 2020) qui entraîne la sous-traitance de ces activités à deux organismes, qui sont respectivement la Chambre d'agriculture des Savoies et la coopérative Oxyane. La labellisation, les audits et les cahiers des charges pour chacune des cultures leur sont communiqués et construits ensemble. L'inscription au sein de plusieurs labels est aussi un moyen pour une telle entreprise d'augmenter la valeur ajoutée de certaines productions « *c'est peanuts, mais cela nous permet d'être visible ; aujourd'hui le volume et la présence tout au long de l'année sont les seuls critères à retenir* » PDG TLP. Le choix de ces cahiers des charges augmente les contraintes réglementaires. C'est notamment le cas pour HVE, Beefriendly, Bledina, Carrefour, concernant TLP.

2.4 Réduction d'usage des produits phytosanitaires en agriculture et leurs raisons

L'IFT moyen auquel les agriculteurs doivent tendre pour rejoindre la labellisation HVE3 est de 12 en moyenne régionale (CA 73), contre une moyenne nationale de 33,1 en arboriculture (Agreste, 2022). Réduire cet IFT est une priorité du gouvernement, ces réductions d'usage doivent s'accompagner de solutions techniques viables et adaptables. L'atteinte du label HVE3

n'est aujourd'hui pas une obligation réglementaire, mais pour pouvoir prétendre à des marchés nationaux l'ensemble des GMS (Helfer, Orsoni, et Sabri 2020) orientent leurs critères d'entrée vers une labellisation HVE2 voir HVE3. L'évolution de cet IFT choisi comme indicateur de contrôle de quantité de PPP épandus montre en fonction des filières des augmentations, des baisses ou des statu quo d'utilisation. Pour la filière de la pomme, l'IFT est en régression, de 2012 à 2018, 2 d'IFT en moins. Pour la filière de la cerise l'augmentation de cet IFT peut aussi provenir de l'apparition d'un nouveau ravageur difficile à maîtriser (Rota-Stabelli, Blaxter, et Anfora 2013). Ces calculs et variations sont donc à situer dans un contexte pédoclimatique et souhaiter à tout prix une baisse de cet indicateur amène à des biais (biocontrôle et IFT adaptés).

	2012	2015	2018	Évolution		
				12-15	15-18	12-18
Pomme	31,9	31,7	29,5	ε	↘	↘
Pêche	18,5	19,8	18,4	↗	ε	ε
Prune	9,1	9,4	8,3	ε	↘	↘
Abricot	10,2	10,4	9,3	ε	↘	↘
Cerise	7,2	8,0	8,2	↗	ε	↗
Banane	6,7	8,0	7,0	↗	↘	ε

Figure 5 Evolution de 2012 à 2018 de l'IFT moyen en arboriculture, Agreste 2022

2.4.1 Contexte réglementaire

La réduction d'utilisation de ces solutions techniques provient d'une direction française qui souhaite encadrer (« Loi Egalim » 2022) et fortement diminuer l'utilisation de ces techniques jugées polluantes et à risques pour la santé humaine et environnementale (Ministère de l'agriculture 2022). Cela a entraîné la mise en place de plans

prévisionnels et de réseaux permettant le développement d'initiatives et d'expérimentations suivies pour permettre l'émergence d'autres techniques et itinéraires culturels moins dépendants de la solution chimique (« Qu'est-ce que le réseau DEPHY ? | » 2023). L'implantation de couverts végétaux est un outil développé au sein de ces réseaux de recherche (« Qu'est-ce que le réseau DEPHY ? | » 2023) mais aussi en milieux plus associatifs tels que les ADEAR (« Fadear » 2023) ou au sein de réseaux professionnels et de partages agricoles. Le « CDA » ou « Ver de terre production » promotionnent aussi ce genre de pratiques au sein de leurs conseils et fermes pilotes. Réduire l'utilisation de ces produits doit s'accompagner d'un ensemble de solutions techniques adaptables et modulables au contexte, mentalités, capacités, marchés en place. Pour cela, réfléchir de manière holistique semble nécessaire afin d'accompagner les consommateurs vers de nouvelles pratiques d'achats et ainsi tendre vers des pratiques agricoles moins dépendantes des PPP (Ricci, Bui, et Lamine 2011). Une des conséquences induite de l'usage des PPP est la perte de biodiversité en milieu cultivé (Tscharntke et al. 2005). Le but d'un verger productif n'est pas d'accueillir toute la faune et la flore possible mais de maintenir un équilibre entre ravageurs et auxiliaires pour limiter le recours à des solutions de lutte chimique. La sélection et la résistance de certains ravageurs à plusieurs molécules entraînent une baisse d'efficacité, qui induit une intensification des traitements qui réduit encore plus la biodiversité en système cultivé (Letourneau et Bothwell 2008). La fragmentation des espaces non-cultivés (Tscharntke et al. 2005) menace fortement la mobilité de la biodiversité qui ne peut ni s'abriter ni se reproduire ni se déplacer. Les couverts végétaux au sein de ces espaces cultivés peuvent permettre, en fonction de leur gestion, de rendre ces espaces attractifs et sécurisants pour de nombreux insectes nécessaires à l'équilibre de l'écosystème. L'installation de bandes fleuries au sein des espaces agricoles est d'ailleurs encouragée depuis plusieurs années par un certain nombre de pays européens dans le cadre de mesures agro-environnementales (Vandersteen 2009).

2.4.2 Perte de biodiversité au sein des espaces cultivés

Les effets positifs et négatifs de l'agriculture sur l'environnement ou espace non cultivé sont ici présentés et énumérés (Achotegui-Castells et al 2019), nous pouvons retenir ces points suivants comme éléments majeurs :

- La sélection variétale et l'usage des PPP

L'efficacité de l'outil productif agricole est une nécessité pour permettre de répondre aux enjeux d'augmentation de population et d'espaces cultivables limités (Chenu et al. 2014). La sélection variétale et l'usage massif d'intrants de synthèse ont favorisé le développement de résistances et de contournements (Pitrat 2016). Ces usages sont justifiés par des pressions de maladies et de ravageurs croissants (Délye et Micoud 2016) mais aussi du fait de gaspillages (Laisney, Soyeux, et Redlingshöfer 2013). L'utilisation massive des PPP est une conséquence et une raison à une baisse de plus de 80% de la biodiversité au sein d'espaces mono cultivés, pour cela les prairies diversifiées ont tout leur rôle à jouer dans un écosystème agricole productif

(Bretagnolle et al. 2012). Ces espaces ont un impact positif sur la présence de biodiversité à plusieurs échelles, que ce soit parcellaire ou au niveau du bassin versant. Ces systèmes diversifiés réagissent de manière plus résiliente et nécessitent un recours aux solutions chimiques plus raisonné dans le cadre d'une production agricole.

- La concentration des richesses, une conséquence de l'industrialisation destructrice de biodiversité

La concentration des richesses et des moyens par de nombreux acteurs privés qui industrialisent et produisent des ressources standardisées avec bien souvent une perte de qualité et d'intérêt nutritionnel (FORTES 2014) fait que la diversité est réduite que ce soit au champ ou dans l'assiette du consommateur. La formation de circuits courts et de réseaux d'acteurs locaux essayent de valoriser la qualité de leur produits et l'impact positif que ceux-ci imposent à leur environnement (Nukala et al. 2016).

- Les externalités positives rendues pas la biodiversité

Les services écosystémiques rendus par la biodiversité sont nécessaires pour le développement de l'agriculture conventionnelle et alternative (Sautereau et Benoit 2016), que ce soit la pollinisation, la transformation de la matière organique, la filtration de l'eau, la régulation d'espèces invasives. La biodiversité fait partie de l'outil productif (Le Roux et al. 2012).

- L'aspect paysager

Le fait de mettre en accord les aspects économiques, agronomiques et sociaux permet d'obtenir un système plus résilient (Ruiz et Domon 2005). Pour cela inclure des zones de non culture, des trames vertes et bleues, des connexions paysagères et même au sein des espaces cultivés, des refuges et des sources de nourriture pour la biodiversité sont nécessaires à la transition de ce modèle agricole dans une perspective de réduction des intrants.

- Des leviers techniques prenant en compte la biodiversité existent

Différents leviers techniques tels que la présence de légumineuses au sein des rotations ou des prairies permettent déjà pour des agricultures se privant d'engrais de synthèse de répondre à une partie importante de leurs besoins en fertilisation azotée (Hainzelin 2013). La diversité génétique est aussi un point majeur de cette résilience et cela s'exprime aujourd'hui à travers de nombreux réseaux tels que les ADEAR, Réseau semence paysanne, CIVAM, qui permettent l'adaptation et la sélection locale de variétés et génotypes adaptés et résilients. Ces initiatives vont à l'encontre du développement mondialisé de l'agriculture et se réapproprient des savoir-faire et des ressources génétiques locales par des luttes (« Réseau Semences Paysannes » 2023).

2.5 Les enjeux de gestion de la filière arboricole

2.5.1 Lutte contre les adventices

L'enherbement des vergers est une question difficile surtout lors de leur installation (Linares et al. 2008). Les couverts végétaux peuvent efficacement lutter contre le développement d'adventices au sein des cultures de différentes manières (Tursun et al. 2018). Il est nécessaire de semer des espèces les plus concurrentielles possibles, dites agressives pour limiter et gêner le développement d'autres autochtones (Adeux et al. 2022) et adaptées aux conditions locales. La gestion du couvert est aussi primordiale, la hauteur de son broyage et la fréquence vont ainsi favoriser ou concurrencer la présence d'adventices. L'étude suivante démontre que les couverts végétaux en agriculture biologique ont une réelle efficacité dans la capacité à limiter le développement des adventices (Linares et al. 2008). Au sein de cette pépinière, les plants n'ont pas montré de concurrence plus importante face à l'enherbement semé que celui spontané, voire une meilleure vigueur en présence de couverts végétaux. Le trèfle blanc et la luzerne, des légumineuses agressives ont démontré ici une capacité à réduire le taux de salissement supérieur à une céréale, ce qui prouve que le choix de l'espèce est primordial pour répondre au mieux aux attentes (Linares et al. 2008). L'enherbement est une source de concurrence potentielle pour l'arbre, le contrôler et repérer les stades d'intervention optimaux sont nécessaires.

2.5.2 Lutte contre les maladies et les ravageurs

Les maladies et ravageurs entraînent une forte utilisation de PPP, la tavelure *Venturia inaequalis* représente près de 80% de l'IFT fongicide qui est responsable de plus de deux tiers de l'IFT total pour le pommier (Boutry et al. 2023). Il a été démontré qu'une flore diversifiée rendait possible la présence d'une faune à base génétique plus large (Bugg et Waddington 1994), donc une présence fongique plus diversifiée concurrençant l'installation de *Venturia inaequalis*. La présence de bandes fleuries a ici montré une augmentation significative de présence d'auxiliaires au sein de l'espace cultivé, sans forcément avoir un impact sur l'infestation totale de pucerons sur les pommiers (Foucher 2010). La présence de zones d'habitats et de nourriture ont permis à ces bandes de jouer le rôle de puits et d'abriter les auxiliaires lorsqu'il y a peu de proies. Cela montre que les couverts peuvent avoir différents rôles et il est difficile de mesurer quantitativement la réduction de maladies et ravageurs présents lors de l'implantation de couverts.

Ce rôle de réduction de pression est à nuancer car cette étude révèle une hausse de punaise *Halyomorpha halys* au sein du verger (Bone et al. 2009). Il est important de prendre conscience que l'attractivité globale d'insectes (auxiliaires et ravageurs) peut entraîner une augmentation des dégâts sans forcément d'externalités positives.

2.5.3 La gestion de la ressource en eau

Le partage de cette ressource entre ses différents utilisateurs rend la mise en place de couverts végétaux fortement polémique (Benblidia et Thivet 2010). Il est important d'évaluer le système dans sa globalité, mais pour cela il est nécessaire de pouvoir s'appuyer sur bon nombres d'indicateurs de terrains. Le pommier consomme en moyenne 700l d'eau par kg de pomme produit (save4planet). La gestion de la ressource en eau, de la qualité des sols, de la fourniture en auxiliaires est favorisée par la présence de couverts végétaux (Novara et al. 2021). Ils sont un des moyens de pratiquer une agriculture plus durable et responsable en milieux semi-arides (Méditerranéens).

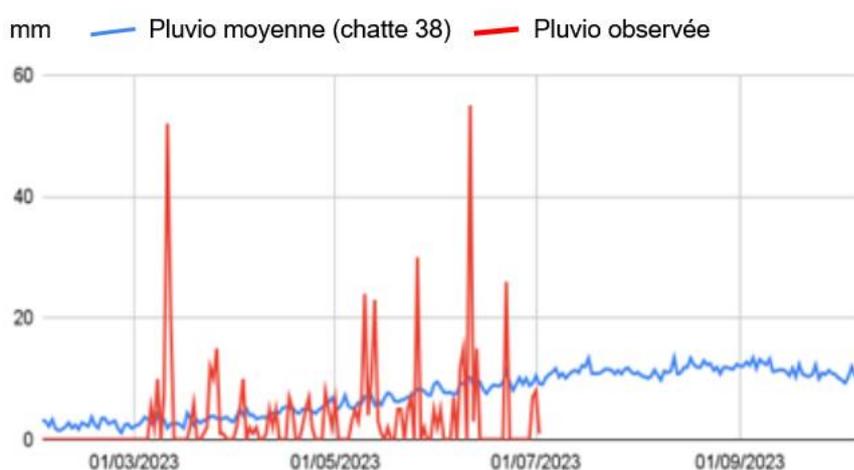


Figure 6 Relevés pluviométriques de la station de Chatte (38) sur 10 ans et de la station de la terrasse (38).

La figure 6 issue de relevés personnels de la station météo de l'exploitation et de données cumulées sur 10 ans fournies par la station de Chatte (38) nous permet de nous rendre compte de l'évolution moyenne de la fréquence de pluie sur le site. La pluviométrie est

croissante avec un pic en Septembre Octobre. Pour cette année nous voyons que les variations vont de 0mm à 55mm et que jusqu'au 1er avril aucune pluviométrie n'a été observée avec notamment des alertes sur le niveau extrêmement bas de l'Isère. Ces grandes quantités d'eau cumulées (500mm de Mars à Juin) sont favorables au bon développement des arbres et des couverts mais aussi aux pathogènes fongiques qui entraînent un IFT important (18 en Juin 2023 contre 11 en Juin 2022). Le développement de *Venturia inaequalis* est fortement lié à la durée d'humectation des feuilles et aux températures moyennes observées (Roubal 2017). La pluviométrie est ici étudiée pour expliquer le bon développement des couverts, car leurs besoins et ceux de l'arbre (SERHANE 2023) doivent être satisfaits.

2.6 L'agroécologie, une vision plus résiliente du modèle agricole

L'agroécologie est un terme aujourd'hui largement cité et important au sein du monde politique. Mr. Lefoll depuis 2017 l'utilise pour orienter une transition des pratiques

agricoles vers un système plus durable et résilient, différentes mouvances s'y rattachent ou en tirent des inspirations (Réseau Dephy, 4 pour 1000). La définition aujourd'hui donnée par le Centre de Développement de l'Agroécologie est la suivante

“L'agroécologie est l'étude des processus écologiques appliqués aux systèmes de production agricole. L'agroécologie englobe la relation entre les systèmes de production agricole et les processus écologiques et les techniques qui permettent aux pratiques agricoles d'être plus respectueuses de l'environnement. L'agroécologie est une combinaison interdisciplinaire d'agronomie, d'agriculture, d'écologie scientifique, d'économie et de sciences sociales. ”

Les couverts végétaux ont plusieurs fonctions et sont parfois désignés sous le nom d'intercultures, de couverts pièges à nitrates, de culture intermédiaire, de bandes fleuries, de surfaces agro écologique. Ce sont des leviers agro écologiques du fait de leurs capacités à réduire l'utilisation d'intrants et à augmenter et préserver la biodiversité (Guenser 2014) présente au sein la filière arboricole.

Dans le cas d'une installation de couverts végétaux avec une vision agroécologique, les éléments suivants sont à prendre en compte :

- Contexte pédoclimatique (altitude, température et pluviométrie moyenne, type de sol, dominance des vents).
- Le précédent, quelles familles botaniques sont majoritairement présentes, analyse de terre et profil pédologique pour identifier les atouts et limites de la parcelle (J. Martin 2021).
- La gestion technique, à travers le type de travail du sol, les semis, l'entretien et la destruction doivent se raisonner en fonction des habitudes et des moyens de production.
- Définition claire des objectifs et moyens (matériels et techniques) mis à disposition pour amener cette transition.

2.7 Les couverts végétaux une réponse aux problématiques arboricoles de qualité des sols

2.7.1 Définitions et rôles des couverts végétaux

Définition des couverts végétaux :

Ce sont des mélanges ou des espèces pures semées ou sélectionnées par l'agriculteur ayant pour but de répondre à différentes problématiques. Leurs vocations couramment retenues sont le maintien d'un couvert sur le sol pour améliorer la pénétration de l'eau, la rétention de la M.O et réduire la compaction du sol. Leurs fonctions sont multiples et répondent à la gestion d'écosystèmes complexes. Ces couverts peuvent être pérennes ou annuels, récoltés et exportés ou broyés et restitués. La définition des couverts végétaux par le CDA est la suivante :

“Un couvert végétal d'interculture désigne alors un **ensemble de plantes cultivées volontairement pour recouvrir un sol de manière la plus permanente possible au cours de l'année**. Cette couverture maîtrisée dans sa composition et sa temporalité calque donc la Nature en occupant un espace de sol autrement laissé nu”.

- Rôle de **refuge** : Les couverts végétaux peuvent constituer des sites de reproduction, de ponte, de développement des larves et d'hivernation (Guenser 2014). Les groupes comme les *Carabidae* les *Staphylinidae* et les araignées du sol (acaréens et carabes) peuvent y hiverner. Ces derniers ne seraient pas influencés par la composition du mélange fleuri (n'en consomment pas les ressources) mais sont néanmoins affectés par le couvert végétal.

- Rôle de **complémentation** : Il intervient dans le cas d'auxiliaires ayant besoin de plusieurs sources d'alimentation qui sont non-substituables. Les bandes fleuries peuvent fournir du pollen et du nectar qui entrent dans l'alimentation de plusieurs prédateurs de pucerons et d'hyménoptères parasitoïdes. Certains hyménoptères sont polyphages en fonction de leurs stades de développement, ils sont carnivores au stade larvaire et consomment du nectar et du pollen à un stade adulte (Le Pichon, Romet, et Lambion 2009).

- Rôle de **supplémentation** : dans ce cas les insectes peuvent se nourrir de proies ou de matériel végétal extérieur à la culture pour ne pas l'impacter, c'est le cas des punaises qui une fois leurs proies supprimées peuvent s'attaquer aux fruits si aucun couvert abritant d'autres proies n'est présent (Lambion et Amour 2008).

Pour mieux comprendre les possibles interactions au sein du mélange et les propriétés individuelles de chacune des espèces, un état des connaissances des espèces utilisées et de leur famille est repris ci-après. Le recours aux fiches “couverts végétaux” de Arvalis a été une première piste de réflexion (Arvalis 2023).

Crucifères

- Rendent de la potasse insoluble disponible en organique lors de la destruction (ANDRÉ 1949).
- Plante fortement allélopathique par l'émission de glucosinolates et autres exsudats chimiques qui permettent la biofumigation (Couëdel et al. 2017).
- Dis-services de par l'accueil de phytophages et forte attractivité pour certains lépidoptères qui peuvent y trouver refuge pour ensuite attaquer la culture (Couëdel et al. 2017).
- Forte production de biomasse et culture CIPAN intéressante (Védie et Taulet 2006).

Graminées

- Forte production de biomasse, apport de carbone important si le cycle est complet, faim d'azote possible due à un C/N de 140, besoin d'équilibrage avec la présence de légumineuses (Garcia et al. 2018).
- Développement agressif, pouvoir couvrant dû à un développement par tallage et à un système racinaire fortement ramifié (Védie et Taulet 2006).

Légumineuses

- Fixation de l'azote atmosphérique (Voisin, Cellier, et Jeuffroy 2015), risque de lessivage par une mauvaise gestion des tontes.
- Peu concurrentes face au développement des adventices, les légumineuses ne possèdent pas un développement végétatif leur permettant de limiter la croissance d'autres espèces. Leur implantation peut prendre du temps mais leur système mixte racinaire (fasciculé et pivotant) leur permet une installation durable et une bonne résistance au roulage (KHELIFI 2008).

Autres familles

Les trois familles principales utilisées dans un couvert végétal sont les *graminées*, les *légumineuses* et les *crucifères*. Néanmoins, de plus en plus d'espèces provenant d'autres familles sont utilisées, notamment la phacélie, très répandue aujourd'hui, qui appartient à la famille des *hydrophyllacées*, reconnues pour être fortement mellifères et ayant une sensibilité forte face au gel, ce qui facilite dans les espaces appropriés sa gestion. Après avoir défini les rôles des couverts végétaux, je vais définir leurs fonctions et les externalités positives attendues.

2.7.2 Augmentation du taux de matière organique et de l'activité biologique des sols, vers une réduction de la fertilisation

La présence de matière organique dans un sol est une condition au développement de l'activité biologique microbienne et fongique (Selosse 2017). Les sols sont des lieux de refuges et sont construits par cette accumulation de matière valorisée par différentes activités biologiques (Selosse 2021). L'intensification et la monoculture vont à contresens de ces réalités biologiques, en exportant toujours plus de matière (Bretagnolle et al. 2012). Les couverts végétaux sont des vecteurs de biodiversité et multiplient au sein d'une parcelle des fonctionnements biologiques différents, ils sont aussi un moyen de transformer et apporter de la matière à travers leur activité photosynthétique. Les résidus de taille (Turpin et al. 2016) et la biomasse produite par les couverts végétaux créent de la fertilité et peuvent réduire la quantité de fertilisation minérale apportée aux cultures (Pisciotta et al. 2021).

2.7.3 Amélioration de la qualité physique des sols et divers services associés

Les couverts ont aussi d'autres fonctions qui ne seront pas détaillées du fait que l'essai ne peut pas prendre en compte autant de variables mesurées. A savoir, la gestion des flux hydriques (érosion et sécheresse), de la compaction, de la portance et des mouvements d'air dans le sol ainsi que l'alimentation et la mise à disposition de minéraux nécessaires au développement de la culture (Haruna et al. 2020).

L'état de connaissance sur le fonctionnement du verger et des couverts nous permet de mettre en place l'expérimentation, qu'il faut maintenant contextualiser au sein de

l'entreprise d'accueil. Pour cela nous avons caractérisé son fonctionnement et ses souhaits de développement pour adapter au mieux l'essai à ses besoins.

2.8 L'entreprise TLP

2.8.1 Le mode de fonctionnement

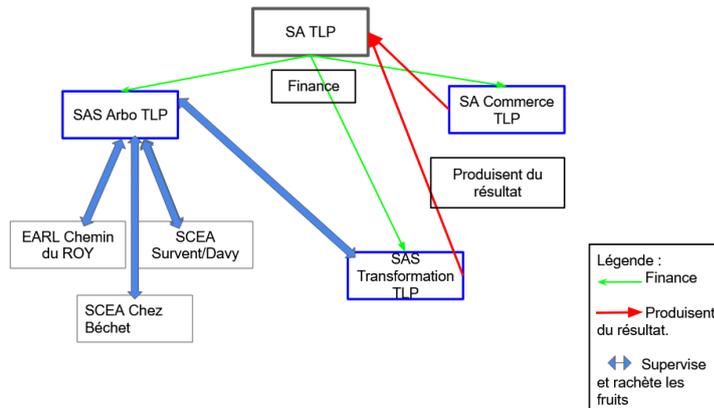


Figure 7 Schéma de fonctionnement de l'entreprise TLP

La figure 7 permet de nous rendre compte du fonctionnement et de l'orientation globale de cette entreprise et des interactions entre les différents acteurs. La SA TLP possède 2 SAS qui transforment les fruits et gèrent la production. La SAS Arbo TLP dirige 3 EARL qui possèdent chacune des cahiers des charges sélectionnés par la

partie commerce (SA commerce TLP). Les moyens de production sont financés par la SA TLP (Intrants, machinisme et Main d'œuvre), les fruits produits par l'EARL sont revendus à la SA TLP à un prix fixé au cours de la saison. Les mises sur le marché, transformations, stockages, gestion de l'énergie, comptabilité et type de commerce réalisés n'impactent pas (autre que les choix de labellisation) les EARL et ne seront pas détaillés ici.

2.8.2 Les directions prises par l'entreprise et leurs liens avec le projet

L'entreprise TLP associé majoritaire de la SCEA Chez Béchet souhaite entraîner une transition de gérance du fait d'un départ à la retraite de l'actuelle responsable d'exploitation (Claire Béchet). L'autonomie et la gérance complète du site sont les profils recherchés, tout en restant dans une optique de groupe, avec une mutualisation de moyens et un marché commun. L'entreprise souhaite conserver son image de producteur et tend à développer son outil productif pour arriver à 5000 T de pommes produites d'ici 2025 contre 3000 aujourd'hui. Cela entraîne une forte dynamique de replantation, de modernisation des exploitations et des outils productifs. TLP investit depuis 3 ans avec le soutien de l'Europe et de la France (FEADER, France Agrimer..) dans ses vergers pour une replantation moyenne de 5ha/an. L'intensification et la concentration de capitaux font que la production doit démarrer au plus tôt et apporter les résultats escomptés (doubler les rendements à l'hectare par rapport à un verger piéton historiquement implanté dans la région de 20 à 40T/ha). Cette forte dynamique de replantation engendre des coûts (5 millions € sur 5 ans) qui doivent être assurés par des résultats futurs minimaux, l'optimisation de gestion de ces vergers est

nécessaire au développement de l'entreprise. Nous faisons face à de nombreux défis, que ce soit d'un point de vue machinisme avec des plantations plus denses, donc des outils adaptés et des méthodes de travail plus lentes ou mécanisées, mais aussi face aux agresseurs qui se multiplient (Dubuis, Holliger, et Naef 2020) et peuvent causer de sévères dommages (des campagnols vont jusqu'à détruire 600 arbres/ha). L'implantation de ces vergers dits à haute densité permet une augmentation significative de la production par m² et entraîne une concentration d'intrants plus importante. Les contextes arboricoles et réglementaires font que des solutions techniques limitant l'usage de la chimie sont des leviers à privilégier et à expérimenter. L'interdiction d'un nombre croissant de molécules amène à de nombreuses expérimentations et mesures sur le terrain (Cerf et al. 2017). Dans certains cas la réduction de l'IFT n'entraîne pas de baisse significative de qualité et de rendement, mais amène d'autres visions et adaptations nécessaires (Foucher 2010).

2.9 Le projet Chez Béchet

L'entreprise d'accueil est la SCEA "Chez Béchet" composée de deux associés faisant partie du groupe Thomas Leprince (TLP). Cette première exploitation existe depuis plus de 50 ans, exploite 17 ha de terres et produit plus de 5 espèces différentes (Pomme, Poire, Coing, Cerise, Pêche, Prune, Cassis, Groseille...) avec plus d'une vingtaine de variétés. Le départ à la retraite et la reprise par le groupe TLP entraîne de fortes mouvances d'un point de vue opérationnel et éthique. La gestion historique des vergers ne répond plus aux objectifs de productivité nécessaire au groupe TLP, les plantations sont intensifiées, le nombre de variétés réduit et la taille des parcelles augmentée. Tout cela entraîne une hausse de l'usage d'intrants et des besoins de technicité croissants. De par l'uniformisation de la conduite de ces cultures, les coûts d'intrants par kg de pomme produit sont censés se réduire (taille mécanique et réduction de la main d'œuvre). De plus l'entretien mécanique des surfaces enherbées est aujourd'hui considéré comme trop onéreux par le groupe TLP, qui sollicite le recours à l'utilisation de désherbants chimiques pour maintenir le rang indemne d'adventices et limiter la concurrence de l'enherbement sur l'arbre.

Dans ce contexte, la mise en place de surfaces agroécologiques avait déjà été réfléchi par l'installation de haies ou corridors écologiques (rapport L3 A. Colin visible en annexe 8). Ces dispositifs sont conséquents, onéreux et difficiles à mettre en place (perte d'espace cultivé, nécessité d'entretien et de machinisme spécialisé). Pour cela, l'implantation de surfaces agro écologiques au sein même du verger nous semble aujourd'hui être pertinente. Après réflexion avec l'entreprise commanditaire, nous avons décidé d'étudier quels sont les impacts des couverts végétaux sur une jeune plantation arboricole.

3 Problématique, hypothèses et démarche

3.1 Présentation de la problématique

La mise en place de ces couverts a déjà apporté de nombreux résultats et ressentis. Développer leur installation et multiplier les mesures pour être en capacité de documenter et défendre leur mise en place semble important avant une mise à l'échelle au sein de l'entreprise TLP. La gestion des couverts végétaux en arboriculture fruitière répond à de nombreuses problématiques discutées plus haut, je décide pour ma part de répondre à la suivante :

Les couverts végétaux favorisent-ils la présence de biodiversité, la fertilité des sols et contrôlent-ils l'enherbement sans concurrence pénalisante pour une jeune plantation arboricole ?

L'hypothèse principale est que les couverts végétaux vont apporter de la biodiversité, augmenter la fertilité des sols tout en exprimant une faible concurrence sur l'arbre.

3.1.1 Questions de recherche

4 questions de recherche découlent de cette problématique :

Q1 : Les couverts végétaux entraînent-ils une présence plus importante d'insectes qui permettrait de contrôler les ravageurs ?

Q2 : Les couverts végétaux produisent-ils plus de biomasse et facilitent-ils l'agrégation en M.O du sol ?

Q3 : Les couverts végétaux expriment-ils une concurrence sur le développement du diamètre du tronc de l'arbre et sur la teneur en humidité du sol ? Sous le couvert et sous l'arbre ?

Q4 : Les couverts végétaux peuvent-ils contrôler la présence d'adventices ?

3.1.2 Démarche globale

Pour répondre à cette problématique et à ces questions de recherche, un essai a été mis en place au sein d'une plantation arboricole. La logique d'implanter un essai couvert dans une parcelle a priori très défavorable, vient de la nécessité pour l'entreprise de **limiter les pertes de productivité** et donc d'utiliser l'ensemble de ses parcelles à disposition. La mise en place du couvert l'année de plantation des arbres est motivée par le **risque accru de mortalité d'arbre en présence d'adventices** les 2 premières années (Samnegård et al. 2019) (stratégie de désherbage chimique du rang mise en place depuis 2 ans chez TLP). De plus la facilité d'implantation d'une deuxième culture est importante du fait du **sol travaillé, d'un espace libre d'adventices** et d'une **fumure sur l'ensemble de la surface**. La recherche d'espèces adaptées au terrain et aux services attendus puis une caractérisation des parcelles ont été réalisées. L'essai semé a été suivi toutes les semaines avec un ensemble de mesures portant sur la croissance du tronc, le taux d'humidité, la

présence d'auxiliaires, la biomasse produite, l'activité biologique et le taux de salissement (voir tableau 4).

4 Matériel et Méthodes

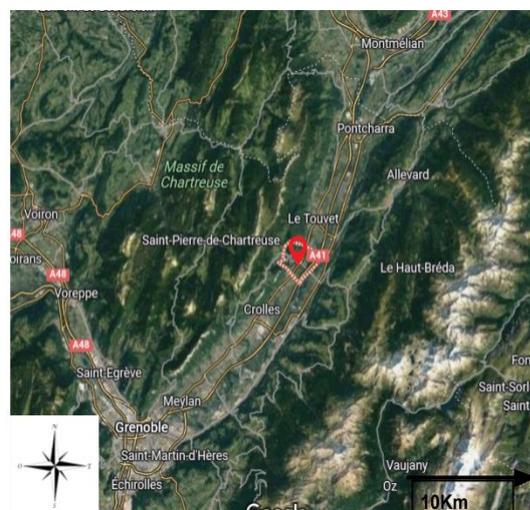
4.1 Caractérisation des parcelles

La caractérisation des parcelles permet de situer l'essai dans son contexte pédoclimatique. Pour cela, j'ai réalisé une synthèse d'analyse de terre (visible en annexe) effectuée pré-plantation et un profil pédologique qui m'a permis de déterminer sur quels types de sols et avec quelles contraintes les couverts et la plantation allaient être implantés.

4.1.1 Localisation des parcelles

Tableau 1 Synthèse des informations relatives à la parcelle de mise en place des essais

Commune	La terrasse 38660
Coordonnées GPS	45.316077, 5.925561
Altitude	240m
Température moyenne	16.5°
Pluviométrie	1800mm/an
Type de sol	Sol alluvionnaire de la vallée du Grésivaudan



Le tableau 1 et la figure 8 synthétisent et rappellent les lieux et conditions d'implantation de ces essais.

4.2 Caractéristiques climatiques de l'année

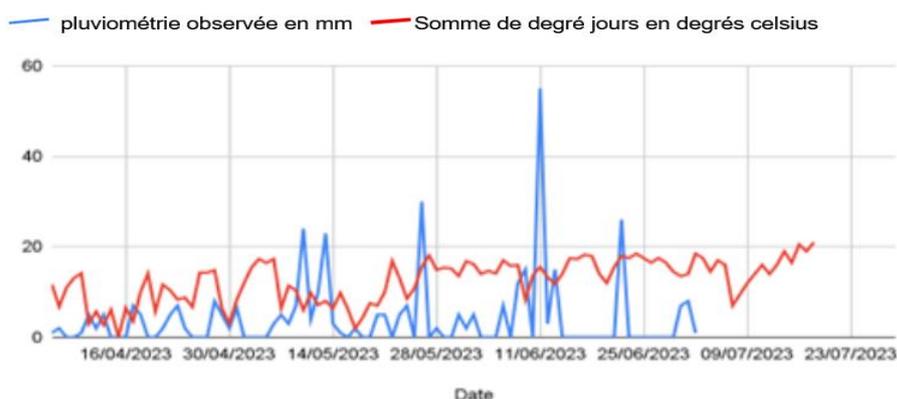


Figure 9 Pluviométrie et somme de degré jours observés sur le site des essais

La figure 9 extraite de données météo relevées sur le site de l'exploitation permet de se rendre compte de la distribution de la pluviométrie et de la somme de degrés jours post semis. Nous voyons des sommes de pluviométrie allant jusqu'à 50mm en mi-juin, et aucune période de plus de 2 semaines sans apport d'eau. Le cumul d'eau mesuré depuis l'installation des couverts est de 323mm. Les degrés jours renseignent sur le seuil de température nécessaire au développement des couverts (0 de végétation déterminé à 6°), de début avril à fin mai des oscillations sont remarquées de 0° à 17° en quelques jours. Cela peut entraîner des irrégularités de croissance ensuite sensibles au gel. Les parcelles de l'exploitation ont donc subi peu de stress hydrique pour cette année 2023 jusqu'à fin juillet, les couverts ont pu se développer correctement malgré de faibles températures jusqu'à mi-mai. Les fortes chaleurs survenues autour du 14 juillet ont interrompu leurs croissances et empêché leur redémarrage après le broyage.

4.3 Conduite de la culture de pomme au sein de l'entreprise TLP

La conduite des vergers est dite intensive, c'est-à-dire optimiser les moyens et les ressources mobilisés par M² de production. Les intrants y sont donc présents en grande quantité, cela représente plus de 20% du CA total de l'entreprise.

4.3.1 Protection phyto-pharmaceutique

Les années particulièrement pluvieuses comme 2023 entraînent une cadence de lutte contre la tavelure et toutes les maladies fongiques assez importante (une moyenne de 40mm/semaine de Mars à Mi-juin). Cette cadence est due à la nécessité de recouvrir chaque feuille nouvellement émise pour stopper la contamination (Parisi, Didelot, et Brun 2003). Un logiciel prévisionnel appelé "Rimpro" (« Plateforme RIMpro » 2023) nous permet d'anticiper les plus grosses contaminations et ainsi prévoir au mieux les produits, leurs dosages et les périodes d'application météorologiques optimales (vitesse du vent, températures, niveau d'humectation des feuilles, proximité avec la prochaine pluie).

L'alternance des molécules actives est nécessaire pour conserver une lutte efficace et un panel de produits est disponible en cas de fortes attaques. Nous utilisons en fongicide principalement 2 familles de produits : **les curatifs** (*Dithianon*, *Fluopyram*, *Penthiopyrade* ou encore du phosphate de potassium) et **les préventifs** (Cu²⁺, oxychlorure de cuivre, chélate de cuivre, Souffre).

Le suivi des cultures pour la gestion des maladies est réalisé par un conseiller de la Chambre d'agriculture de Savoie qui préconise et observe. Le maintien d'une qualité de récolte est la seule priorité, les produits sont donc utilisés en conséquence.

4.3.2 La gestion de l'enherbement

Ce travail est aujourd'hui assuré soit de manière mécanique (broyage avec inter-ceps) plusieurs fois dans la saison (jusqu'à 6 cette saison, et seulement 2 en 2022), soit de

manière chimique avec l'utilisation de désherbants pré-levée ; *Acide pélargonique* en cas de faible d'infestation, *cycloxydime* pour lutter contre les liserons, *glyphosate* pour supprimer les adventices autres. Les doses ne sont appliquées que sur une bande de 1m autour du rang soit $\frac{1}{3}$ de la surface totale.

4.3.3 Le travail du sol

Réalisé uniquement lors de l'implantation d'un nouveau verger il est raisonné en fonction de l'historique de la parcelle. Une fois la culture en place, des sous-solages sur les passages de roues sont réalisés tous les 5 ans pour améliorer la pénétration (Jacquet et al. 2020), réduire le tassement et améliorer le roulage au sein des parcelles.

4.3.4 La gestion de la taille

Le suivi des méthodes de taille est mouvant du fait de l'installation de murs fruitiers, étant adaptés à de la taille mécanique (gain de 40H/ha de main d'œuvre). Une taille en vert est envisagée à 1 mois de la récolte en fonction de la pousse pour faciliter la coloration, contrôler le développement de l'arbre en limitant la réaction de repousse. La taille se réalise à partir de la chute des feuilles jusqu'au débourrement au plus tard, se reporter à la figure 5.

4.3.5 Le roulage un point important

En synthèse de toutes ces caractéristiques de gestion, il est important de remarquer que l'arboriculture fruitière requiert de nombreux passages, le tableau 2 les résume de 16 à 26. Donc la résistance du couvert face au roulage est importante.

Tableau 2 Nombres de passages par activité en arboriculture fruitière chez TLP

Poste de travail	Nombre de passages moyen
Traitements phytos	11-17
Broyage	3-6
Désherbage chimique	2-3
Taille mécanique	1

4.4 Itinéraire technique superposé pommier/ couverts

La figure 10 issue de données personnelles a pour vocation de superposer 2 itinéraires techniques et leurs phases dites critiques estimées. Nous voyons notamment que la période de compétition pour le rendement s'étale de Juin à Août, si il n'y a pas de pluie cela entraîne une irrigation obligatoire, mais dans le cas de Chez Béchet aucune irrigation n'est prévue pour le couvert. L'implantation et les espèces retenues doivent donc prendre en compte ces facteurs limitants.

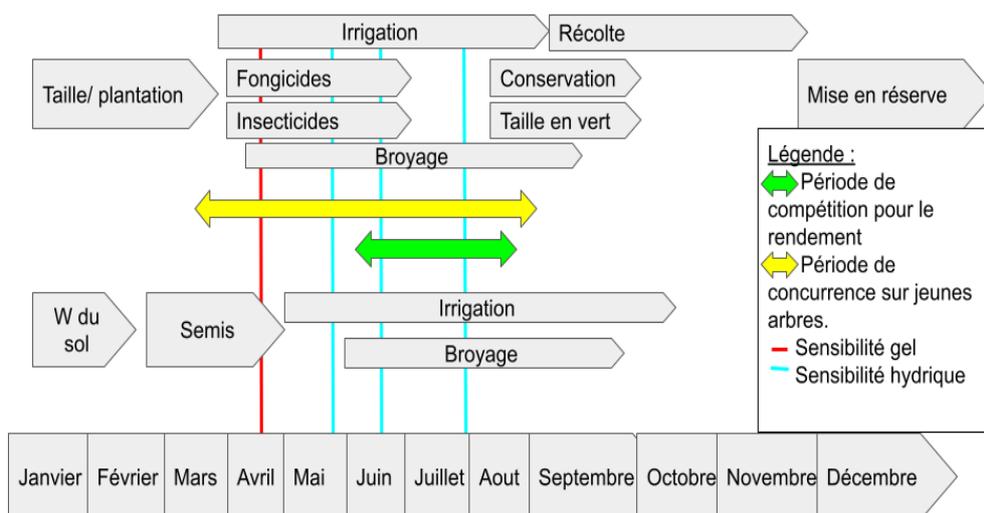


Figure 10 Itinéraire technique superposé du pommier et du couvert végétal

4.5 Choix des parcelles

Les plantations des arbres n'ont pas été réalisées à la même date du fait de chantiers de plantation décalés (2018, 2023), les variétés plantées sont identiques (Royal gala clone darkred) mais leur mode de conduite diffère (axe simple et bi-axe). Le tableau 3 résume le choix des parcelles et leurs caractéristiques.

Tableau 3 Synthèse du choix des parcelles, de la motivation pour l'expérimentation et des hypothèses associées

Parcelle	Caractéristiques	Motivation pour l'expérimentation	Hypothèses associées
Gala	Bi-axe de 2018, 300 arbres replantés. Surface de 0,6 ha Hétérogénéité forte. Choix de la partie la plus faible.	Présence de rats et forts dégâts l'année précédente (300 arbres morts sur 0,6 ha).	La parcelle est fragile et souffre en été, la concurrence avec les couverts doit s'observer de manière accrue.
Gala Haut	Anciennement cultivée en pommier de 30 ans (R de reinettes). Sol peu profond et plantation de R.Gala bi-axe le 15/03/2023.	Jeune plantation, arbres peu racinés. Grande parcelle, pas d'hétérogénéité. Sol plat, facilité de semer. Possible de répéter l'expérimentation proche.	Les couverts seront là dès l'implantation des arbres, la concurrence s'observe au mieux. Peu d'autres effets entrent en compte.

Gala Bas	Parcelle identique que Gala Haut, pas d'hétérogénéité. Séparées de 4 rangs.	Répéter l'expérimentation	Moins de biais induits par des bordures puisqu'elle est située au centre de la parcelle.
-----------------	---	---------------------------	--

4.6 Caractérisation des modalités

Dans cette expérimentation mono-site, nous retrouvons 8 **modalités** "couverts végétaux" qui ont été testées :

-M1 Mélilot, trèfle incarnat, Avoine

Vocation et intérêt : Couvert répulsif face aux rats et présence de légumineuses ayant un fort pouvoir couvrant.

-M2 Moutarde, Vesce velue, Seigle

Vocation et intérêt : Couvert à forte production de biomasse et ayant une attractivité pour les insectes précoces.

-M3 Vesce, Phacélie, Féverole

Vocation et intérêt : Couvert mellifère et pouvant produire beaucoup de biomasse.

-Témoin végétation spontanée, ayant pour but de retranscrire une situation classique d'implantation d'une plantation arboricole.

Ainsi que le facteur "Broyage" répété sur chacune des modalités couverts.

M1, M2, M3, T Modalités non broyées pendant la saison de mesure, couverture totale et libre expression du potentiel du couvert. Volonté de créer un couvert pérenne qui se ressème.

M1B, M2B, M3B, T1B Modalités broyées à une date déterminée le 19/06/23 pour reproduire le schéma d'entretien classique de l'inter-rang au sein de l'exploitation.

Ces 2 modalités broyages sont issues d'une réflexion avec le technicien de la CA73 qui estime que l'on n'a pas besoin de toucher le sol à chaque passage de broyeur car cela met la terre à nue, détruit de nombreux habitats et rend difficile la repousse. Cela est nuancé par les coûts engendrés par le maintien de l'enherbement par broyage, le couvert est moins agressif lorsqu'il est broyé ras car sa capacité de repousse est plus faible. Il a donc été choisi de mener une modalité sans broyage pour laisser le couvert se développer complètement et une autre avec un seul broyage.

4.7 Choix du dispositif expérimental

Chaque Bloc (figure 11) comprenant l'ensemble des parcelles et des placettes (Figure 12) est répété 3 fois. Le tableau 3 caractérise chacune des parcelles cadastrales au sein desquelles chaque Bloc a été implanté (**Gala, Gala haut, Gala Bas**). Chaque modalité au sein de chaque Bloc a été divisée en 3 placettes (Figure 12) pour augmenter la puissance de l'essai et pour des raisons pratiques de semis, d'entretien et de mesures. Chaque Bloc de l'essai se suffit à lui-même en termes de puissance statistique car chaque mesure y est répétée 9 fois par modalité. Le choix de répéter 3

fois l'ensemble de l'essai était motivé par une incertitude de réussite de semis et d'entretien de ces couverts ainsi que d'une pression forte de corvidés sur le site.

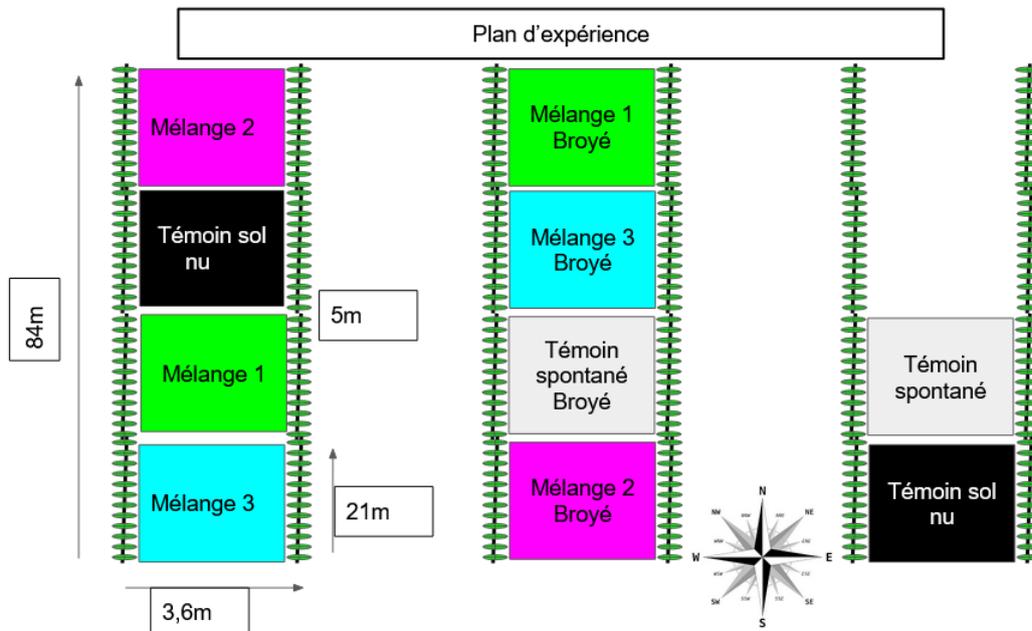


Figure 11 Schéma d'expérimentation avec la disposition en randomisation totale des modalités et de l'orientation géographique

- Le choix du dispositif expérimental a été motivé par différents points :
- Une analyse du terrain concluant à une **homogénéité forte** du terrain.
 - Une **facilité accrue** pour la mise en place de l'essai (semis réalisé par blocs de 21m et non de 7m).
 - Une plus **grande distance entre les modalités** pour limiter la présence d'auxiliaires attirés par un couvert voisin.
 - Une **facilité d'entretien** pour la modalité broyage, permettant au sein de l'exploitation de ne déroger à la stratégie de broyage que sur 1 rang.

Au sein de la figure 11, nous pouvons voir que la présence d'un témoin sol nu a été réalisé à l'origine de l'essai mais n'a pas été maintenu du fait de la complexité de maintenir non enherbé un espace. Il est aujourd'hui considéré comme un second témoin spontané. La figure 12 présente les répétitions de chacun des blocs, au sein desquelles sont réalisées chaque mesure, que ce soit sur l'inter-rang ou au pied des arbres.

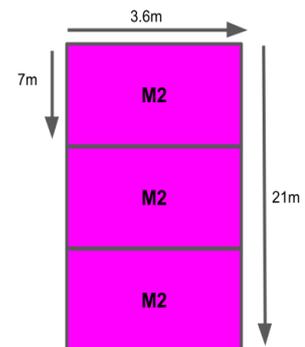


Figure 12 Schéma d'un zoom sur la disposition des placettes au sein de chaque modalité et de leurs dimensions.

4.8 Doses de semis appliquées

Le tableau 4 renseigne sur la quantité de semences appliquées au sein de chaque modalité, ces choix ont été faits en fonction des préconisations des fiches couverts de Arvalis. (<https://www.arvalis.fr/outils-et-services/outils-et-fiches/les-fiches-couverts>) Pour calculer la dose finale à appliquer, il a été pris en compte un % de levée de 90%, dû à une pierrosité forte en surface (+30%), à un semis non mécanisé réalisé à la volée et à la présence importante de corvidés en proximité (Asso de chasse 38).

Exemple de calcul pour le mélilot :

Dose conseillée en plein : 30kg/ha

En association avec 2 autres espèces, 30% de la dose soit 9KG/ha

Pertes à la levée de 10% soit à sursemer 0.9kg

Surface semée de 75M2 soit 0,8kg

Tableau 4 Doses de semis de chacune des espèces au sein de chaque modalité

M1	Dose kg/bloc	M2	Dose kg/bloc	M3	Dose kg/bloc
Mélilot	0,8	Moutarde	0,3	Vesce	1,0
Trèfle incarnat	0,3	Vesce	1,0	Phacélie	0,2
Avoine	1,3	Seigle	1,3	Féverolle	1.8

4.8.1 Tableau de synthèse des variables mesurées

Le tableau 5 permet de synthétiser l'ensemble des variables mesurées et leur protocole.

Tableau 5 Tableau de synthèses des variables mesurées, de leurs unités, de l'emplacement et de la fréquence de la mesure

Variable mesurée	Unité	Outil	Emplacement de la mesure	Fréquence
Diamètre du tronc	Cm	Pied à coulisse numérique	Mesure à 1m du sol (1er fil)	5 relevés au total, une fois/semaine du 10/05 au 23/07
Humidité du sol	% d'humidité	Sonde tensiométrique SM100 Waterscout sensor	Profondeur 15cm, au pieds de l'arbre, au centre de l'inter-rang.	5 relevés au total, une fois/semaine du 10/05 au 23/07
Pots barber	Nombre d'insectes	Pots barber	Pots enterrés au centre de l'inter-rang.	5 relevés au total, une fois/semaine du 10/05 au 23/07
MS produite	Tonne de MS/ha	Balance étuve et	Fauche, pesage, séchage 2 semaines jusqu'à poids fixe.	2 relevés au total, le premier au 13/06, le second au 13/07.
Minéralisation	Grammes de	Sachets de thé	Enterrés à 15cm	1 seul relevé,

de la M.O	matière digérée (poids initial-final)	et balance de précision au 0.001	de profondeur 1 thé Rouge de 1,47g, 1 thé Vert de 1,432g au centre de l'inter-rang.	mise en terre le 25/04. Pesée le 25/07.
Taux de salissement	Pourcentage d'espace non recouvert par le couvert.	Comptage par quadrats	Quadrats de 1/2m ²	3 mesures, le 25/04, le 30/05 et le 03/07. En fonction des broyages.

4.8.2 Méthode de l'analyse de terre

L'analyse de terre a été réalisée sur un ensemble de 5 échantillons prélevés au sein de la parcelle de manière homogène par la coopérative Oxyane, cela sur une profondeur moyenne de 45cm, représentant l'espace exploré par les racines. Son objectif est d'évaluer les points limitants de cette parcelle et d'obtenir une préconisation d'apport chimiques adaptés.

4.9 Stratégie d'analyse des données

Pour l'analyse statistique de l'ensemble de mes données, j'utilise le logiciel R for Windows 4.1.1, via l'interface RStudio 2021.09.0 Build 351.

L'essai étant répété 3 fois, l'ensemble de mes mesures ont suffisamment de répétitions pour pouvoir engager un traitement statistique.

Chargement des packages nécessaires :

-Tydiverse, Dplyr, ggplot2, Stats, Car, Dunn.test

-Vérification de la bonne importation des données, résumé et lecture du tableau de sortie avec la fonction **summary**.

-Vérification des hypothèses nécessaires à l'ANOVA, à savoir le test de **shapiro-wilk** pour la normalité et celui de **Bartlett** ou **Levenetest** pour l'homoscédasticité. Les risques alpha retenus sont de **0,05**. Les p-value issues de ces deux tests permettent de déterminer s'il est possible de réaliser une **ANOVA 2 facteurs** ou un test non paramétrique du type **Kruskal-Wallis**. La lecture de ces p-value détermine la significativité de ce que je teste, à savoir la réponse d'une variable à une modalité.

-Pour la concurrence hydrique, je teste la réponse de ma variable Humidité du sol sous le couvert par rapport à Modalité et ensuite ma variable humidité du sol sous l'arbre par rapport à Modalité. Puis je teste Humidité du sol sous couvert par rapport à Humidité sous l'arbre.

-Pour la présence d'auxiliaires, je teste la réponse de ma variable nombre d'insectes par rapport à Modalité avec le test **Poisson** régression non linéaire.

-Pour la concurrence des ressources, à travers la mesure du tronc, je teste la réponse de la variable diamètre en cm par rapport à Modalité.

-Pour la production de biomasse, je teste la réponse de la variable MS par rapport à Modalité.

-Pour l'activité biologique et le devenir de la M.O, je teste la réponse de ma variable thé vert par rapport à Modalité puis thé rouge par rapport à Modalité.

-Pour le taux de salissement, je teste la réponse de la variable de salissement par rapport à Modalité.

Ces tests permettent de comparer les moyennes des groupes et de déterminer si une modalité est significativement différente d'une autre.

-On réalise un test post-hoc du type **dunnTest** pour comparer les groupes entre eux et déterminer leur significativité, écart-type et groupes d'appartenance.

-On représente graphiquement les résultats obtenus avec la fonction **ggplot2**, et on l'adapte au type de résultats.

4.9.1 Tableau de synthèses des variables mesurées et de leur méthode d'analyse

Le tableau 6 nous permet de nous rendre compte de de la variable mesurée et de son hypothèse associée et de quelle manière statistiquement cela a été traité.

Tableau 6 Synthèse de l'analyse statistique réalisée pour chacune des variables en fonction de l'hypothèse formulée

Sous question	Variable mesurée	Hypothèse	Echantillonnage	Fréquence	Méthode d'analyse statistique
Quelle est la biomasse produite du couvert ?	Biomasse	Les mélanges permettront d'optimiser la production de biomasse	1m2 par placette	1 seule fois	ANOVA à 1 facteur (mélange)
Quel est le devenir de la M.O en fonction du couvert ?	TBI	Les différents mélanges vont faciliter la minéralisation ou le stockage de la M.O	1 par placette (1 vert, 1 rooibos)	2 seule fois	ANOVA à 1 facteur (mélange)
Quel est l'impact du couvert sur le développement du diamètre du tronc de l'arbre ?	Diamètre du tronc en cm	Le type de couvert réduit le développement du diamètre du tronc	3 arbres par placette, 3 placettes par modalité.	1fois/semaine	ANOVA à 2 facteurs (diamètre, date)
Quel est l'impact du couvert sur la quantité d'eau sur le rang et sur l'inter-rang ?	Tx d'humidité du sol	Le % d'humidité du sol est plus faible sur l'inter-rang dû à la consommation du	3 prélèvements sur le rang et 3 prélèvements sur l'inter-rang	1fois/semaine	ANOVA à 2 facteurs

		couvert			
Les couverts ont-ils un aspect attractif pour les insectes	Barber	Les différents couverts vont attirer un nombre d'insectes différents.	1 par placette	1fois/semaine	Poisson reg linéaire
Les couverts peuvent-ils contrôler le salissement du rang ?	Tx salissement	La présence d'un couvert semé va concurrencer les adventices.	1 par placette	3 fois en 4 mois	ANOVA à 1 facteur (mélange)

5 Résultats

Rappel : La modalité T2 “témoin sol nu” qui devait être désherbé a été abandonnée du fait d'un manque de temps pour maintenir l'espace “propre” et l'observation d'un recouvrement rapide par des couverts spontanés. Ce qui amène à penser que des espaces désherbés ne seront pas la réalité des plantations, donc plus besoin de tester cette modalité. Elle est utilisée comme second témoin “spontané” en cas de mauvaise gestion de la parcelle allouée.

5.1 Caractérisation initiale des sols des parcelles

Cette première partie des résultats présente l'analyse de terre réalisée pré-plantation dans un but de conseil sur les carences potentielles de cette parcelle. Cette analyse de terre a été réalisée par Oxyane la coopérative avec laquelle TLP travaille pour le matériel de plantation.

5.1.1 Caractéristiques biologiques, chimiques et physiques du sol

Tableau 7 Synthèse de l'analyse de terre réalisée pré-plantation à 45cm de profondeur et sur 5 prélèvement aléatoires homogènes et du compte rendu du profil pédologique présentant des éléments non limitants et les points de vigilance de la parcelle étudiée

Type d'analyse	Eléments non limitants	Points de vigilance
Chimique	-Stockage important avec une CEC à 22.5. -Éléments majeurs présents en quantité suffisante.	-pH 7.7 alcalin -Calcium saturant (100%) -Manque de Bore, limite pour la floraison.
Physique	-limono-argileux se réchauffant vite -Bonne porosité	-Plus de 80% de pierrosité, usure des outils et difficulté pour

		les racines.
Biologique	-Forte minéralisation -7.8% de M.O, réservoir hydrique et de fertilité.	-C/N faible à 9.4 -IAB trop faible, pas d'activité biologique -Teneur en cuivre 4 fois supérieur à l'optimum.
Profil cultural	-Argile en profondeur, rétention d'eau. -Galets de gros diamètres limitant l'asphyxie présente par la proximité de la nappe de l'Isère. -Présence de M.O ancienne et de fumier frais. -premier horizon aéré avec de la terre fine et une faible pierrosité.	-Forte compaction des partitions latérales, peut gêner le développement des racines. -Pas de présence de racines au-delà de 80cm. -Des limons en surfaces en grande quantité, pouvant entraîner une battance.



Figure 13 Photo du profil pédologique réalisé.

En conclusion,

Plusieurs indicateurs comme un pH élevé, une trop forte concentration en calcium et en cuivre limitent l'activité biologique de cette parcelle. En conséquence, la fertilité du sol pour la culture est limitée.

5.2 Production de biomasse et devenir de la M.O

Les externalités des couverts sur la M.O sont évaluées à travers la production de biomasse du couvert et par l'activité biologique présente dans le sol de chacun.

5.2.1 Production de biomasse des couverts en fonction de la pluviométrie

Les indicateurs suivants permettent d'évaluer la production de biomasse en fonction des conditions météorologiques (pluviométrie et Température), le tableau 8 reprend ces résultats.

- Le cumul de pluie entre le semis et la destruction du couvert (en mm) ;
- L'efficacité d'utilisation de l'eau par le couvert, qui est égale au rapport entre la biomasse sèche mesurée et le cumul de pluie (kg MS.ha-1.mm-1) ;
- La somme des degrés-jours entre le semis et la destruction du couvert (°j). La température de base pour les couverts végétaux a été fixée à 6°C du fait de la présence d'une espèce gélive (phacélie) ;
- La production de biomasse sèche par degré-jour, qui est le rapport entre la biomasse sèche mesurée et la somme des degrés-jours (kg MS/°j).

Depuis le semis, le cumul de pluie est de 323,5mm et la somme de degrés jour est de 815. L'efficacité d'utilisation de l'eau est de 48,8Kg de MS/ha/mm produite pour le mélange M2.

Tableau 8 Résultats des mesures de MS, d'efficacité d'utilisation de l'eau et de la production de MS en fonction des degrés jour

Modalité	Date de relevé	Relevés en t de MS/ha	Efficacité d'utilisation de l'eau en MS/mm	Kg de MS/DJ/ha
M1	18/06/2023	13,96	43,3	17,1
M2	18/06/2023	15,74	48,8	19,3
M3	18/06/2023	11,98	37,1	14,7
T1	18/06/2023	5,06	15,7	6,2
M1 B	18/06/2023	13,96	43,3	17,1
M2 B	18/06/2023	15,74	48,8	19,3
M3 B	18/06/2023	11,98	37,1	14,7
T1 B	18/06/2023	5,06	15,7	6,2
M1	13/07/2023	14,04	43,5	17,2
M2	13/07/2023	14,4	44,7	17,7
M3	13/07/2023	17,4	54,0	21,3
T1	13/07/2023	7,2	22,3	8,8
M1 B	13/07/2023	8,4	26,0	10,3
M2 B	13/07/2023	3,6	11,2	4,4
M3 B	13/07/2023	2,4	7,4	2,9
T1 B	13/07/2023	1,2	3,7	1,5

La tableau 8 indique que M1=13,96 tonnes de MS/ha au 18/06 et M1= 14,04 tonnes de MS/ha au 13/07 soit une augmentation de moins de 100kg/ha de MS. Alors que le cumul de la production de MS de M1B au 18/06 et du 13/07 donne 22,36 T/MS/ha soit plus de 50% d'augmentation de production de MS. La modalité broyage influe sur la

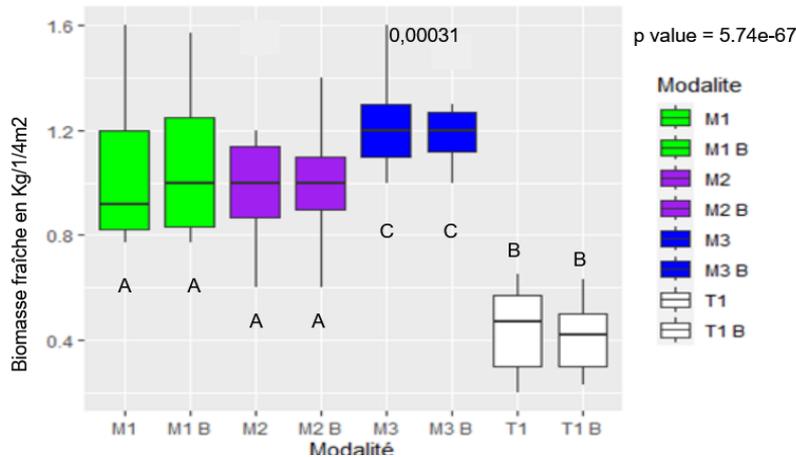


Figure 14 Biomasse produite pour chaque modalité en kg de biomasse fraîche récoltée sur 1/8 de m2.

capacité du couvert à produire de la biomasse. M1 est le couvert produisant le plus de biomasse en étant broyé et M3 est le couvert produisant le plus de biomasse sans broyage.

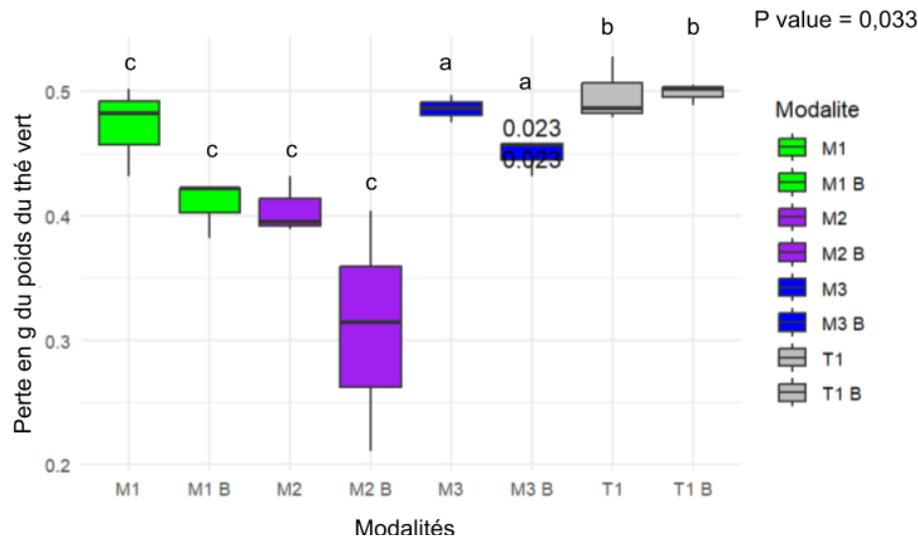
La figure 14 ci-dessus indique que M3 est le couvert au 18/06 produisant le plus de biomasse (1.3KG pour

¼ de m2 en biomasse fraîche soit 12 tonnes de MS/ha). 3 groupes différents sont formés avec une p-value de 5.74e-67, les modalités M1 et M2 font partie du groupe A, T1 fait partie du groupe B et M3 du groupe C qui est déterminé significativement différent avec une p-value de 0,00031. Les témoins spontanés (T1) produisent moins de biomasse (0,5 kg de biomasse fraîche pour ¼ de m2 soit 7.2 tonnes de MS/ha). P value de 0,03 pour le test de normalité de Shapiro, donc pas de normalité des résidus, utilisation du test non paramétrique de kruskal wallis, p value = 2.991e-15, significativité forte de la modalité. Réalisation du test de Dunn post hoc p value = 0,0023, significativité de la modalité M3 et création de 3 groupes distincts A,B,C.

5.2.2 Influence de la couverture végétale sur le devenir de la M.O par la méthode des TBI

La figure 15 met en évidence la minéralisation significativement différente du Thé Vert pour la modalité M3 avec une p value de 0.023. Les autres modalités par le test post hoc de Dunn font partie du même groupe. Le témoin T1 spontané appartient à un troisième groupe et est jugé significativement différent des autres modalités. Par lecture graphique, nous voyons les 3 groupes avec M2 ayant la perte de poids la plus faible entre 0,25 g et 0,4 g donc la minéralisation la moins rapide, ce couvert composé de Vesce, Seigle et moutarde facilite moins la minéralisation. Au contraire de M3 qui est composé de Vesce Phacélie et Féverolle et qui affiche une perte de poids entre

0,45 g et 0,49 g. Le témoin T1 a la minéralisation la plus rapide avec une moyenne de 0,5 g de matière perdue, les couverts ne permettent pas une minéralisation de la



matière fraîche plus importante que le témoin spontané. Le couvert M3 facilite la minéralisation de manière significativement plus rapide que les deux autres mélanges.

On va maintenant

Figure 15 Minéralisation du thé vert par la méthode des TBI en 3 mois exprimée en grammes perdus. P value = 0,21e-4

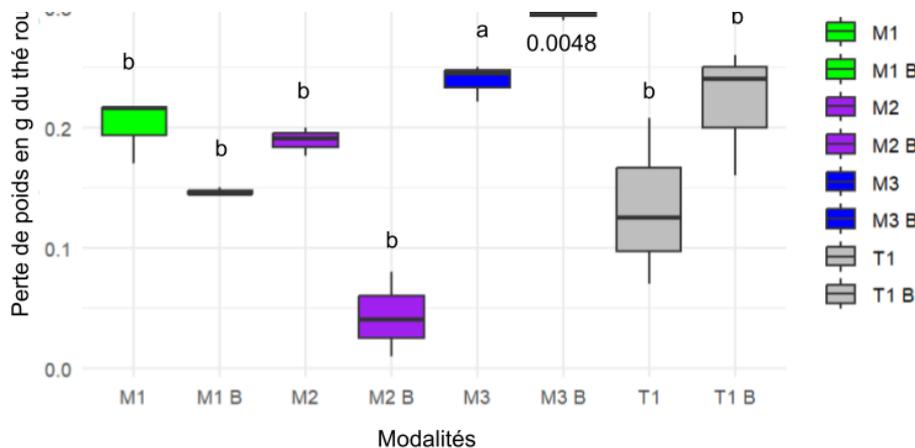


Figure 16 Minéralisation du the Rouge par la méthode des TBI sur 3 mois exprimée en grammes perdus. P value = 0,0048

évaluer la minéralisation d'une matière organique plus stable à travers l'étude des TBI Rouge.

La figure 16 démontre que le taux de minéralisation de la modalité M3, estimée par le thé rouge, est significativement différent des

autres modalités avec une p-value de 0,0048. Nous voyons ici que le témoin et les autres modalités font partie du même groupe statistique et ne comportent pas de différence significative. M3 perd en moyenne 0,3g de matière contre 0,15 g pour T1 et 0,2g pour M2 et M1. Le devenir de la matière organique stable est donc influencé par le type de couvert présent, la combinaison des 3 espèces du mélange M3 (vesce, Phacélie, Féverole) affichent une minéralisation plus rapide que les deux autres mélanges ainsi que le témoin spontané. La minéralisation de la matière organique fraîche n'est pas plus rapide en présence des couverts que le témoin spontané.

5.3 Croissance de l'arbre et état hydrique du sol

La figure 17 montre que sur la période de 6 semaines du 10/05 au 03/07

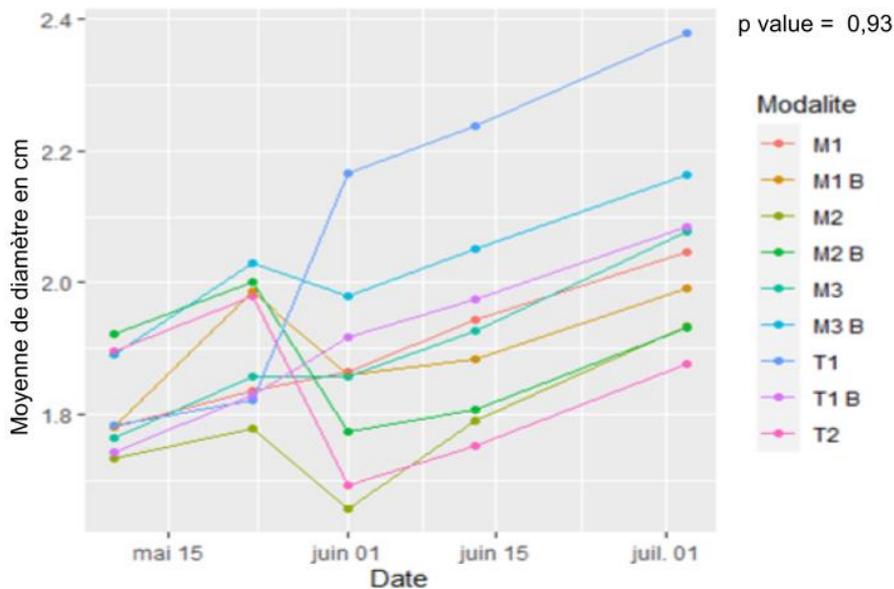


Figure 17 Dynamique d'évolution du diamètre du tronc des arbres au sein de chaque modalité répété 5 fois sur les mêmes individus du 10/05 au 03/07.

l'augmentation du diamètre du tronc maximale est de 0,6 cm. Pour l'ensemble des mélanges on observe une stagnation pendant 15 jours (du 01/05 au 20/05) puis une régression (moyenne de 0,2cm) du (20/05 au 01/06). Au contraire, la modalité T1, obtient une croissance du

diamètre positive, (0,6cm du 05/06 au 03/07). Le second témoin, T1B affiche une croissance similaire aux autres Modalités. Toutefois, les diamètres moyens par modalité ne sont pas significativement différents par tests statistiques (p value = 0,93), je conclus donc à la non-compétition du couvert par rapport au développement du diamètre du tronc.

Une analyse pour chacune des dates a été réalisée pour déterminer si une modalité était significativement différente des autres ;

Pour le 10/05 la p-value = 0.7147 du test de kruskal-wallis n'indique aucune différence significative de médianes.

Pour le 23/05 la p-value = 0.6322 du test de kruskal-wallis n'indique aucune différence significative des médianes.

Pour le 01/06 la p-value = 0.2312 du test de kruskal-wallis n'indique aucune différence significative des médianes.

Pour le 13/06 la p-value = 0.4198 du test de kruskal-wallis n'indique aucune différence significative des médianes.

Pour le 03/07 la p-value = 0.4065 du test de kruskal-wallis n'indique aucune différence significative des médianes.

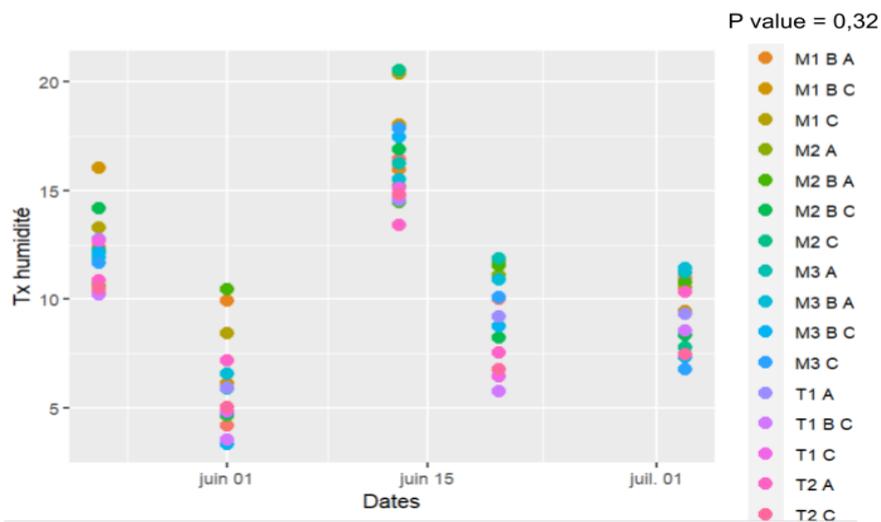


Figure 18 Taux d'humidité du sol exprimé en % d'humidité au pied de l'arbre et sous le couvert, mesures réalisées à la sonde Watersensor SM1000 du 10/05 au 03/07.

5.3.1 Concurrence hydrique et présence d'eau dans le sol au niveau du couvert

La figure 18 démontre que statistiquement il n'y a pas de différence entre les taux d'humidité du sol au pied de l'arbre et sous le couvert. La gamme de variation d'humidité du sol est de 3% à 20% toutes dates confondues. Au 1^{er} juin les relevés d'humidité démontrent une variation allant de 3% à 11%. La p value étant supérieure à mon risque alpha, il n'y a pas de différence significative de taux d'humidité au sein des différentes modalités. La figure 19 par le regroupement de toutes les mesures sur la période du 10/05 au 03/07 du taux d'humidité du sol sous le couvert (C) et au pied de l'arbre (A) indique une différence significative. Le taux d'humidité moyen du sol présent au pied de l'arbre est supérieur à celui du sol sous le couvert (11% et 10,2%). Le couvert consomme donc plus d'eau que l'arbre. On conclut que le couvert n'a pas plus d'incidence que le témoin spontané sur la teneur en humidité du sol au pied de l'arbre mais que celui-ci (semé ou spontané) consomme plus d'eau que l'arbre. L'analyse statistique (test kruskal Wallis, p-value = 0,32) démontre qu'il n'y a pas de différence statistique.

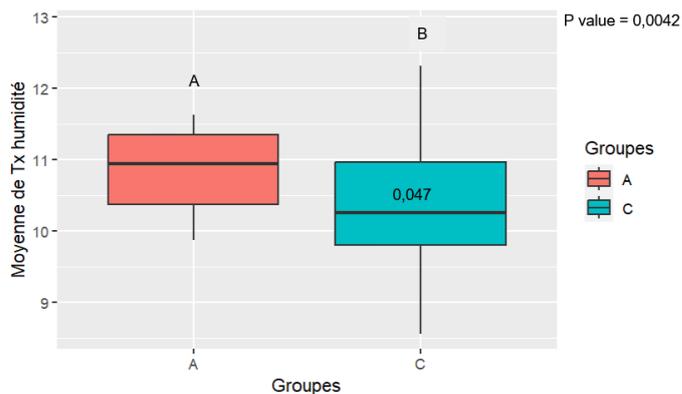


Figure 19 Taux d'humidité en % moyen du sol cumulé du 10/05 au 03/07 au pied de l'arbre et sous le couvert.

sous l'arbre (p value = 0,0042).

Le taux d'humidité du sol sous le couvert (C) et sous l'arbre (A) est significativement plus faible sous le couvert que

5.4 Indices de présence de faune

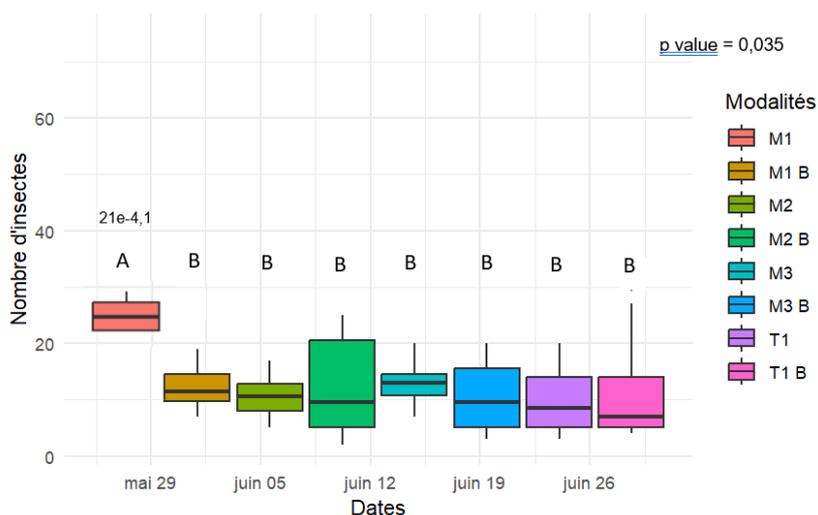


Figure 20 Nombre d'insectes piégés moyens du 10/05 au 03/07 dans les pièges Barber au sein de chaque modalité.

La figure 20 démontre que la présence des couverts influe sur la présence d'insectes rampants, le couvert M1 composé de mélilot trèfle et avoine attire en moyenne 23 insectes par semaine, ce qui est significativement supérieur aux autres modalités et au témoin. La modalité broyage fait que le nombre d'insectes est plus faible et celle-ci fait donc partie du groupe C. La gamme de variations va de 10 à 20 insectes en moyenne observés. Le résultat du test de Kruskal wallis détermine une significativité de la date (p value = $2.2e-16$) et de la modalité (p value = $1.093e-05$) sur le nombre d'insectes présents. Le test de Dunn post hoc (p-value = 0,035) renseigne sur la significativité des mélanges suivants : M2, M2B, M3, M3B et T1B significativement différents de T1 et M1B. M1 est significativement différent de ces deux autres groupes (p value = $21e-41$). Le test de Dunn ne révèle pas de différence significative entre modalités d'une date à l'autre mais sur l'ensemble des dates en sommant toutes les observations par

modalité. Le nombre d'insectes est donc significativement supérieur en moyenne pour le couvert M1 composé de mélilot trèfle et avoine, ce couvert attire plus d'insectes que les autres et que le témoin.

5.5 Efficacité du couvert pour contrôler le développement des adventices

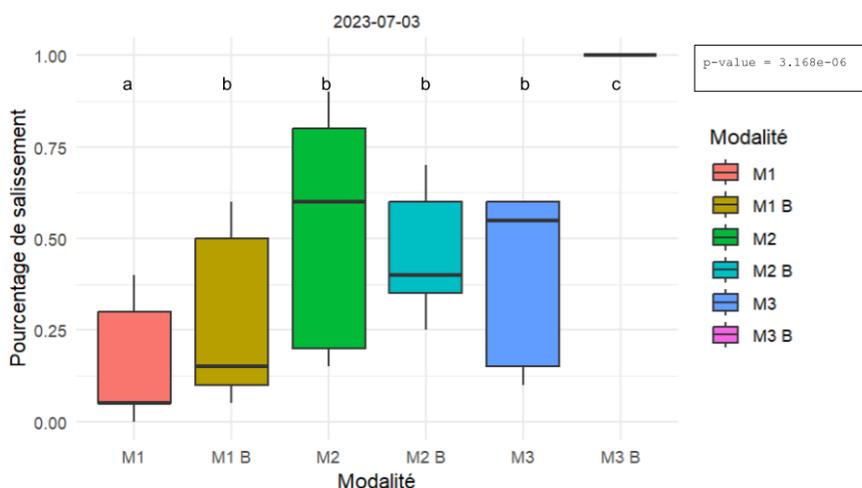


Figure 21 Résultat du % de salissement observé au 03/07 du rang au sein de chaque modalité.

La figure 21 nous permet de voir que, M1 apparaît comme différent avec un taux de salissement moyen de 15%, M3B dans le groupe C démontre un taux de salissement moyen de 100%. Les autres modalités sont classées au sein du même groupe (B). Le couvert M1 a un pouvoir de contrôle de salissement supérieur aux autres modalités. L'efficacité de contrôle des adventices varie significativement selon les modalités, ($p\text{-value} = 3.168e-06$), uniquement pour la date 2 (03/07), c'est-à-dire post-broyage. Le mélange mélilot, Trèfle Avoine (M1) est donc plus agressif et au 3 juillet obtient les meilleurs résultats en termes de % de salissement sans la modalité Broyage. M1B étant différent statistiquement de M1 démontre que le broyage entraîne plus de salissement que lorsque le couvert est laissé intact.

La figure 21 nous permet de voir que, M1 apparaît comme différent avec un taux de salissement moyen de 15%, M3B dans le groupe C démontre un taux de salissement moyen de 100%. Les autres modalités sont classées au sein

5.6 ACP, Cercle de corrélations et répartition spatiale des modalités

La dernière partie des résultats est la synthèse des effets de corrélation des variables à travers une ACP. La figure 22 met en évidence la répartition spatiale des modalités, nous voyons que les témoins se retrouvent à l'opposée droite des autres modalités et ils sont rapprochés. Les modalités couverts expliquent donc la variance des effets, la mise en place de couverts végétaux rend visible la différence à travers les 6 variables par rapport aux témoins. La variabilité observée est expliquée à plus 60% pour la dimension 1 qui discrimine les témoins des modalités et la variabilité observée de 17% pour la dimension 2, plus faible discrimine la modalité M3 des autres. Le cercle de corrélations (figure 23) démontre une explication de la variance des effets plus importante pour les variables salissement, Barber, Biomasse. Il met de plus en corrélation forte le taux d'humidité du sol sous les couverts (TH C) et le nombre d'insectes présents (Barber).

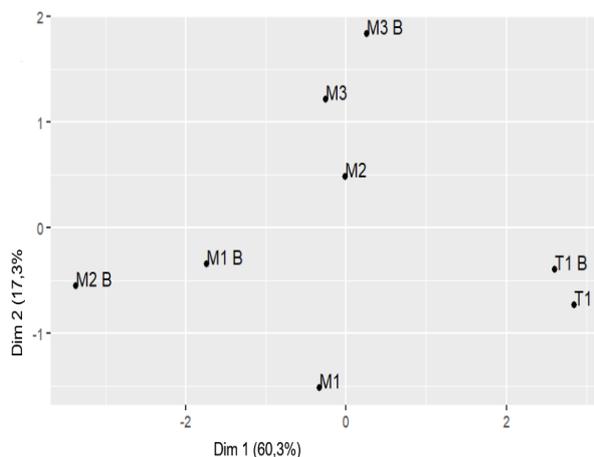


Figure 23 Représentation spatiale par l'ACP des modalités en fonction des deux dimensions principales.

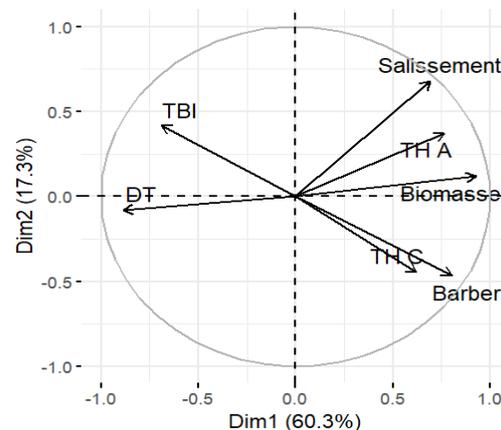


Figure 22 Cercle de corrélation des variables concernant l'ensemble des modalités

6 Discussion

6.1 Contextualisation nécessaire

L'entièreté des résultats est à recontextualiser sur une expérience courte de 4 mois d'implantation de couverts. Le contexte météorologique a été particulier avec de nombreuses pluies permettant un développement accru du couvert et peu de stress hydrique pour l'arbre (voir figure 6).

Nous allons discuter ici des points suivants ; premièrement la répulsion des couverts face aux rongeurs puis l'impact de la concentration en minéraux exogènes sur l'activité biologique, les rôles des légumineuses entre apport d'azote organique et gestion du développement des adventices, le choix des espèces et les méthodes d'évaluation

d'attractivité d'insectes, la gestion des besoins en eau et du broyage et pour finir une appréciation de la puissance statistique de l'essai.

6.2 Evaluation de l'efficacité des couverts pour repousser les rongeurs

Aucune trace de présence de rongeurs n'a été relevée sur le dispositif.

Au sein de cet essai aucun lâcher de rongeurs n'a été réalisé pour être sûr d'obtenir un inoculum (Miot et Delattre 2010). La localisation de l'essai a été déterminée de par les dégâts importants au sein de cette parcelle les années précédentes. Le choix de lutter chimiquement contre ces rongeurs et le fort travail du sol pour implanter ces couverts ont peut-être aussi eu un impact négatif sur la présence de rongeurs (Van Lerberghe 2000). Puisqu'aucune trace de leur présence n'a été relevée (collets rongés, arbres morts, tumulus, galerie apparente, présence de prédateurs). Dans une perspective de reconduction d'essais répulsif face aux rongeurs, il serait intéressant au sein d'une parcelle avec des dégâts constatés d'introduire les 3 couverts présentés et un témoin uniquement avec le sol travaillé. Ici il est mentionné que les couverts végétaux peuvent présenter des limites quant à la présence de rongeurs (Derrouch et al. 2020). Cela permettrait d'évaluer l'impact du travail du sol sur la présence de rongeurs souterrains et peut-être de lutter uniquement de cette manière physique par la suite (Morilhat 2005).

6.3 Les rôles de la microbiologie dans le devenir de la M.O

6.3.1 Equilibre entre production de Carbone et d'Azote

Il est ici démontré que la présence de M.O est nécessaire au maintien et au développement de l'activité biologique et que la présence d'azote peut être limitante si cela ne suffit pas à alimenter cette faune (BENAHMED et Si SAHLI 2022). Nous pouvons estimer que pour une décomposition de la matière organique produite par les couverts, il faut non seulement une production de biomasse importante (600kg de C stocké par ha/an contre 300kg pour un sol nu selon le CDA) mais aussi une fixation symbiotique d'azote pour nourrir cette microbiologie. Cette fixation est réalisée par les légumineuses par symbiose et varie d'une espèce à l'autre mais aussi par l'inoculum *de rhizobia* présents dans le sol (Guinet et al. 2019). Pour cela les couverts comportant des légumineuses et des plantes à forte production de biomasse à cycles différents sont une réponse adéquate au maintien d'une activité biologique.

6.3.2 Importance de l'activité biologique et les risques d'accumulation de minéraux de synthèse dans le sol

L'analyse de terre a fait ressortir des taux de cuivre élevés et un taux de calcium limitant pour l'absorption d'autres minéraux, l'activité biologique peut en être ralentie voir stoppée (Courde 2000). La toxicité du cuivre au sein des sols viticoles a

longuement été étudiée. Au sein de cette synthèse il est démontré que l'activité microbienne est réduite de 30% au-delà des seuils de 400kg Cu/ha et sa respiration de 50% dès 200kg de Cu/ha (Karimi et al. 2021). La forte utilisation de cuivre allant jusqu'à 9kg de Cu métallique sur 3 ans au sein des parcelles arboricoles peut entraîner ce genre de blocages. Ils ont pour conséquence une augmentation de la fertilisation minérale et un recours accru aux traitements phytosanitaires car la plante ne peut plus extraire du sol les minéraux et ressources nécessaires à son développement (Houben et Brinks 2020). Optimiser ces apports de fongicides à base de cuivre et favoriser la présence de biodiversité à travers des habitats et de la nourriture sont une des externalité des couverts végétaux.

6.3.3 L'influence de la flore sur le type de développement de l'activité biologique

Les tests TBI ont mis en évidence que la minéralisation de la matière organique fraîche (Vert) était plus faible dans le sol sous les couverts que sous le témoin, on peut faire l'hypothèse que les plantes indigènes présentes au sein des couverts spontanés favorisent une biomasse microbienne (Cregut 2009) adaptée à ces concentrations et donc capables de minéraliser cette M.O fraîche. Cependant la minéralisation des TBI Rouge, donc matière organique stable est plus rapide pour le couvert M3, cette matière est digérée par d'autres types d'organismes moins sensibles à ces concentrations élevées en Cuivre (Courde 2000). Le type de flore, donc sa sélection doit être réfléchi en fonction de l'état chimique et biologique du sol pour semer une flore comblant ces carences.

6.3.4 Les légumineuses favorisant la présence de biomasse microbienne

Les couverts comportant 2 légumineuses (M1 et M3) démontrent une plus forte minéralisation que le couvert M2. La présence d'exsudats racinaires et des fixations symbiotiques augmente la biomasse microbienne présente proche du système racinaire des légumineuses (Guinet 2019). Les favoriser au sein des couverts végétaux ayant pour but de rajouter de la M.O ou d'augmenter la fertilité du sol permettrait en plus de l'apport d'azote organique de faciliter la minéralisation de leur biomasse. L'intérêt d'une fixation symbiotique d'azote organique et d'une minéralisation de la M.O apportée par une production de biomasse interne à la parcelle cultivée permet de réduire la dépendance aux intrants par la réduction d'usage de fertilisants minéraux de synthèse (Pisciotta et al. 2021).

6.4 Besoins en eau et gestion du broyage des couverts

Les résultats suivants mettent en évidence le besoin de raisonner le broyage en fonction du devenir et de la composition du couvert ; la moutarde et la phacélie au sein des essais ont quasiment stagné, 2,4 et 3,6 T de MS/ha post broyage contre 8,4 pour le couvert M1 comportant du trèfle, mélilot et avoine.

Selon cet institut technique la gestion de la destruction doit se faire au regard de la culture suivante et de la fertilisation souhaitée (« guide_destruction_couverts.pdf » 2023). Il explore aussi les aspects économiques de chaque mode de destruction et observe que lors du maintien souhaité d'un couvert, il est préférable de n'intervenir que post floraison pour laisser un maximum de semences renouveler le couvert. Nous avons vu avec la figure 10 que le couvert et l'arbre pouvaient exprimer des besoins hydriques sur des périodes similaires critiques. Ce mémoire (Tahar 2022) présente les besoins en eau du pommier et estime qu'ils sont de 900mm/an dont 600mm concentrés sur la période de Juillet à août. Les couverts végétaux sont fortement consommateurs en eau lors de leur développement et lors de la reprise de végétation suite à un broyage. Il est ici présenté dans une analyse de performance de couverts végétaux en association ou en culture simple l'homogénéité des besoins en eau et de rétention d'eau du sol sur 9 espèces (Mees et Bertin 2021).

Le couvert végétal une fois broyé est déposé voire compacté sur le sol et crée une couverture étanche (Boyer 2021) se minéralisant rapidement. Dans cette étude, la culture d'intérêt est la courgette, mais elle démontre une meilleure capacité d'absorption en eau sous un couvert roulé (Hämmerli 2019) cette accumulation de



Figure 24 Broyeur SDS KUHN

biomasse fraîche restitue de l'humidité au sol et empêche le rayonnement solaire d'augmenter la transpiration.

Il est ici présenté les intérêts multiples des paillages (Recous et al. 2019) allant jusqu'à favoriser un type de biomasse microbienne en fonction de la taille, la composition et l'agencement des résidus. Entretenir et broyer ses couverts sont de réels défis, et doivent répondre aux problématiques bien définies au

préalable.

6.4.1 Des couverts végétaux qui apportent des minéraux essentiels

De par leur destruction les couverts végétaux restituent du carbone et de l'azote en quantité majoritaire mais aussi plusieurs éléments intéressants pour le développement de la culture permettant de réduire la fertilisation minérale (Cregut 2009). Ces minéraux que sont le Bore, la Manganèse, le phosphore sont régulièrement apportés par voie foliaire. Le phosphore est très rapidement indisponible pour la plante (Laaboudi et Mouhouche 2020), la présence de phacélie accentue sa disponibilité de par la restitution de ses semences mais aussi par son système racinaire favorisant la présence de microbiologie solubilisant cet élément (Maëva Bourgeois et al 2021). Les couverts apportent environ 105kg de potasse par ha/an selon les mesures réalisées et l'analyse de la méthode MERCI. Cet apport n'est pas négligeable et permet aux arbres d'obtenir une meilleure valorisation de la ressource hydrique par une circulation au sein de la plante facilitée.

6.4.2 Les pots Barber un indicateur à compléter par d'autres mesures

L'utilisation des pots barber est un indicateur intéressant pour compter un nombre d'insectes rampants mais ne permet pas de prendre en compte tous les insectes volants, la mise en place de plaques engluées permettrait d'estimer avec plus de précision leur présence. Cette expérimentation déterminant que les pollinisateurs naturels sont plus efficaces que les abeilles domestiques pour la pollinisation du poirier utilise un protocole de plaques engluées, transposable à l'essai mené (Billeh 2020). Les pollinisateurs jouent un rôle important dans la charge totale accrochée (Normandeau Bonneau 2019), les mauvaises conditions météorologiques de 2023 ont fait chuter le rendement de la poire William de plus de 30% chez Béchet (CA73). De nombreux ravageurs tels que les pucerons ou psylles sont contrôlés par des hyménoptères ou autres insectes volants (Nicolas et al. 2013), non piégés par les pots Barber. Cette estimation d'auxiliaires permettrait à travers l'analyse du raisonnement du déclenchement des traitements phytosanitaires d'estimer la variation de l'IFT et d'en obtenir un coût économique.

6.5 Puissance statistique

6.5.1 Evaluation de la méthodologie d'analyse des données

Toute démarche scientifique se doit de certifier l'objectivité et la véracité de ses dires, justifier de la puissance statistique en est une. L'ensemble des hypothèses a été testé avec un risque alpha de 0,05, le taux d'humidité et l'évolution du diamètre du tronc sont des indicateurs avec des très faibles variations. L'utilisation d'un seuil plus bas ($\alpha=0,01$) a rendu l'ensemble des modalités significativement différentes les unes des autres et $R^2 = 0,012$, donc les modalités n'expliquent qu'à 1,2% la variabilité. Le tableau 10 en annexe 7 synthétise les points forts et les points de vigilance de la robustesse, sensibilité et pertinence de ces analyses statistiques.

6.5.2 Tests de puissance a priori et a posteriori

La puissance a posteriori nous permet ici à travers le tableau 10 d'estimer la certitude avec laquelle les tests statistiques réalisés sont fiables pour mettre en évidence l'effet d'une modalité (M1,M2..) donnée sur la variable à expliquer (DT,TH,Barber..). Cette analyse permet aussi de déterminer si l'effet non significatif est dû à un effet négligeable ou à une puissance d'essai (nombre de répétitions) insuffisante (Bourque, Blais, et Larose 2009). Dans ce mémoire, les puissances sont faibles pour le diamètre du tronc (10%) et le taux d'humidité du sol (12%), il y a donc peu de chance de montrer que les modalités ont un effet sur ces 2 variables. Pour cela conclure à une non-compétition du couvert sur le développement de l'arbre est à considérer au regard des résultats de puissance. Pour les autres variables, les puissances calculées vont de 30 à 77%, ce n'est pas encore optimal mais il y a moins de risque d'en tirer des conclusions erronées. Les modalités expliquent donc les variations des variables mesurées, les conclusions tirées ont une valeur statistique importante.

Tableau 9 Puissance a posteriori a priori, et le nombre de mesures nécessaires des variables mesurées expliquant les différences significatives entre modalités.

Variable mesurée	Puissance a posteriori	Nombre de mesures actuelles	Nombre de mesures pour la puissance a priori	Puissance a priori
Diamètre du tronc	0.10	1200	3480	0.8
Humidité du sol	0.12	770	3000	0.8
Nombre d'insectes	0.57	100	170	0.8
Biomasse produite	0.77	108	115	0.8
Minéralisation TBI	0.31	42	110	0.8
Salissement	0.61	42	100	0.8

Les mesures utilisées pour le calcul de « la puissance a priori » ont été réalisées à l'aide des résultats issus du document suivant (Bourque, Blais, et Larose 2009). Les tests réalisés sont unilatéraux, plus robustes que des bilatéraux mais sensibles à la direction donnée, si l'hypothèse H0 est mal formulée par rapport au jeu de données, il est possible de rejeter une hypothèse (H0) donc d'obtenir une significativité qui n'est pas en lien avec la question posée par l'étude. Ici le jeu de données manque seulement de mesures pour obtenir plus de puissance statistique, le choix du seuil à 0,8 est motivé par une faible part d'erreur mais augmente fortement le nombre de mesures et donc le budget alloué à ce genre d'expérimentation.

7 Conclusion et perspectives

7.1 Mise à l'échelle d'une implantation de couverts végétaux chez TLP

Dans le cas d'une mise à l'échelle et d'un développement des couverts végétaux en arboriculture fruitière, l'annexe 5 synthétise les données de sensibilité pour chaque espèce issue de Arvalis, fiches techniques des couverts.

Ce tableau nous permet en fonction des objectifs définis de sélectionner au mieux les espèces intéressantes pour la composition de notre couvert. Au vu des résultats obtenus et des synthèses et confrontations bibliographiques, nous conseillerions un mélange multi-espèce composé de : **Phacélie** pour sa forte production de biomasse et sa floraison, de la **Vesce** pour sa production de biomasse et la fixation d'azote, du **mélilot** pour la fixation d'azote et l'éloignement de rongeurs, de l'**avoine** pour rajouter du Carbone à la production de biomasse, ainsi que du **trèfle souterrain** résistant au piétinement et avec un pouvoir couvrant important.

7.1.1 Proposition de plan d'expérimentation

L'essai ne démontrant pas d'externalités négatives du couvert sur le développement de l'arbre et ayant démontré des résultats concluants sur l'intérêt du couvert pour apporter de la biomasse et la minéraliser, ainsi que sur le rôle d'attractivité d'insectes et le maintien libre d'adventices de l'inter rang, je propose ici une mise à l'échelle.

Le schéma d'expérience proposé est le suivant, représenté par la figure 25 :

-M1 Mélilot, trèfle incarnat, Avoine

-M3 Vesce, Phacélie, Féverole

-M4 Vesce, Phacélie, Féverole, Trèfle incarnat, mélilot, Avoine.

Une analyse économique tirée de données personnelles et d'échanges avec des fournisseurs est visible en annexe (tableau 12), pour apporter une réelle proposition de mise à l'échelle du projet chez TLP.

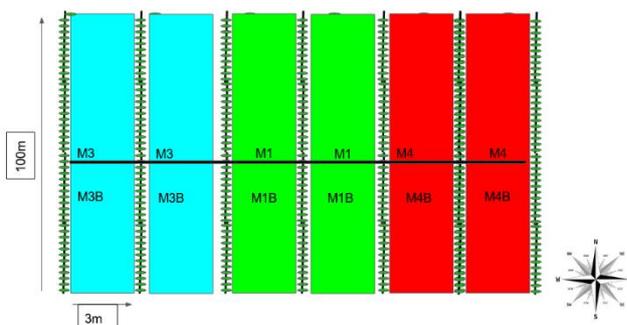


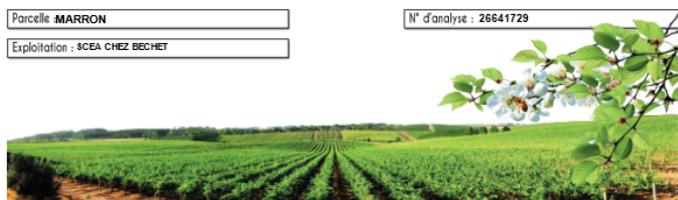
Figure 25 Plan d'expérience de la mise à l'échelle de l'essai de couverts végétaux chez TLP 2024

7.2 Conclusion

Les couverts végétaux mis en place chez Béchet cette année 2023 au sein d'une plantation de Mars 2023 de royal gala ont permis d'obtenir plusieurs résultats significatifs et utilisables pour la compréhension du fonctionnement des couverts végétaux. Ces couverts ont démontré des aptitudes intéressantes telles que la forte production de biomasse, la minéralisation rapide, le maintien propre du rang. Mais ceux-ci ont aussi démontré que la concurrence attendue du couvert sur le développement de l'arbre n'est pas exprimée, que ce soit d'un point de vue hydrique ou de l'accroissement du diamètre du tronc. La répulsion des ravageurs et l'attractivité d'insectes auxiliaires n'a pas démontré de différence significative par rapport au témoin. Ce mémoire a répondu aux attentes de l'entreprise commanditaire, qui de par ces résultats pourra étayer sa réflexion sur les modalités de mise en place de telles surfaces agroécologiques. Les préoccupations croissantes de labels et indicateurs tels que planetscore (« ITAB, planetscore » 2022) poussent à la compréhension de ces systèmes complexes qui composent les mesures agroécologiques. La pérennité d'une plantation arboricole est liée à ses conditions d'implantations, et à la capacité du sol à répondre à ses besoins, l'agronomie doit rester au cœur des enjeux de production (Picard 1993).

8 Annexes

Annexe 1 Analyse de terre



Plan prévisionnel de fertilisation P₂O₅, K₂O, MgO

1^{ère} ANNÉE POMMIER 25 T/ha

	PHOSPHORE P ₂ O ₅	POTASSE K ₂ O	MAGNÉSIE MgO	Oligos	B	Cu	Mn	Zn
Exportations (a)	10	40	0	sensibilité de la culture	é é é	é é	é é é	é é é
Pertes au sol (b)	10	0	0	Conseil	Apport	/	/	/
CONSEILS	20	45	/					

2^{ème} ANNÉE POMMIER 25 T/ha

	PHOSPHORE P ₂ O ₅	POTASSE K ₂ O	MAGNÉSIE MgO	Oligos	B	Cu	Mn	Zn
Exportations (a)	10	40	0	sensibilité de la culture	é é é	é é	é é é	é é é
Pertes au sol (b)	10	0	0	Conseil	Apport	/	/	/
CONSEILS	20	45	/					

3^{ème} ANNÉE POMMIER 25 T/ha

	PHOSPHORE P ₂ O ₅	POTASSE K ₂ O	MAGNÉSIE MgO	Oligos	B	Cu	Mn	Zn
Exportations (a)	10	40	0	sensibilité de la culture	é é é	é é	é é é	é é é
Pertes au sol (b)	10	0	0	Conseil	Apport	/	/	/
CONSEILS	20	45	/					

PRÉCONSEILS DE VOTRE CONSEILLER

AUREA - 270 Allée de la Pomme de Pin, 45160 Andon
Tél. 01.44.31.40.40 - Fax. 01.44.31.40.41

INTERAPRO-VIT-AUREA-03-08-19-2020



ANALYSE DE TERRE

VOTRE CONSEILLER : Quentin LEFLON

EXPLOITATION

SCEA CHEZ BECHET
12 CHEMIN DE PRE MILLON
38660 LA TERRASSE

Code exploitation : 10027823

PARCELLE / ECHANTILLON

MARRON N° lot :
Surface : 3 ha
N° analyse : 26641729
Arrivée labo le : 16/11/2022
Envoi rapport le : 07/12/2022

PRÉLEVEMENT

Prélevé le : 04/11/2022 Profondeur : 25 cm
Méthode de prélèvement : CERCLE
Préleveur : 6 EVENT ENVIRONNEMENT
Coordonnées GPS :
Longitude : E 5°55'55.272" Latitude : N 45°19'1.848"

RENSEIGNEMENTS PARCELLAIRES

Type de sol renseigné : LIMON ARGILEUX
Type de sol analysé : ALLUVION ORGANIQUE SAIN
Terre fine : 3200T/ha
Travail du sol : 25 cm
% cailloux estimé : Un peu (<10%)

POMMIER en production

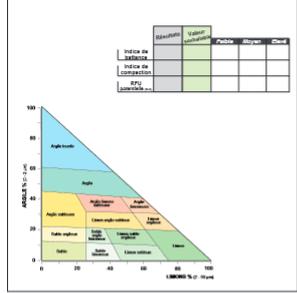
Année de plantation : 1992 Vigueur : Normale
Cépage : Sarments : Enlevés
Porte-greffe : Enherbement : Permanent tous les rangs
Rendement moyen : 25 T/ha Travail du sol : Non renseigné Fertilisation :

Parcelle : MARRON
Exploitation : SCEA CHEZ BECHET

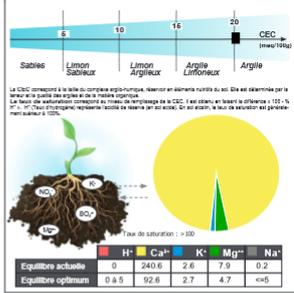
N° d'analyse : 26641729

Comment lire et interpréter votre analyse de sol ?

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE



CAPACITÉ D'ÉCHANGE EN CATIONS (CEC) = 21.4



BILAN ACIDE BASE

Résultat	Norme	Très faible	Faible	Satisf.	Élevé	Très élevé
pH sol	8.0					
pH KCl	7.4					
CaCO3 labile %	21.9					
CaO am	14416					
CaCO3 actif %	9.8					
IPC	70.1					

BILAN ORGANIQUE

Résultat	Norme	Très faible	Faible	Satisf.	Élevé	Très élevé
MO %	5.2					
C Orga %	3.0					
N total %	0.39					
C/N	7.8					
IAB	0.6					
EBIP	-700					

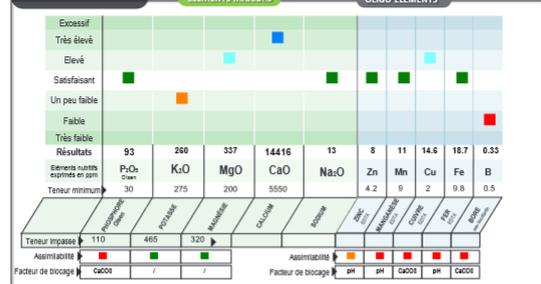
CONSEIL CHAULAGE (kg CaO / ha)

Entretien CaO	Correction CaO	Apport total CaO
/	/	/
/	/	/
/	/	/
/	/	/
TOTAL		

CONSEIL ORGANIQUE (kg MO / ha)

Entretien MO	Correction MO	Apport total MO
/	/	/
/	/	/
/	/	/
/	/	/
TOTAL		

POTENTIEL NUTRITIF



Résultat	Norme	Très faible	Normal	Très élevé
K ₂ O / MgO	0.8	1.4		
CaO / MgO	42.8	27.8		
P ₂ O ₅ / Zn	12	7.1		
Cu / MO	2.81	0.4		

ANALYSES COMPLÉMENTAIRES

MÉTHODES D'ANALYSES
 Méthode d'analyse: CEC cobalt-hexaméine (NF ISO 22470). Matière organique: carbone Anrie x 1.72 (NF X31 109). pH eau: extraction eau, "acidité active" (NF X 31 103). pH KCl: extraction KCl "acidité totale" (NF X 31 104). CaCO₃ total (NF X 31 105). CaCO₃ actif (NF X 31 108). Cations échangeables Ca²⁺, K⁺, Na⁺, Mg²⁺: extraits à l'acétate d'ammonium (NF X 31 106). Phosphore: méthode Olsen (extraction bicarbonate de sodium), méthode Jeon-Hébert (extraction caustate d'ammonium, NF X 31 101). Cu, Mn, Fe, et Zn: extraits au chélateur EDTA (NF X 31 120). Bore: soluble à l'eau bouillante (NF X 31 122). IAB: indice d'acidité biologique basé sur les paramètres régissant la vie microbienne du sol (pH, CaCO₃, % d'argile, % MO, régime de restitution des résidus de récolte, fréquence d'apports organiques).

Annexe 2 Evaluation économique et technique de ce système

Cette expérimentation sur des bandes de 100m, soit 600M2 de couvert semé par mélange représenterait un coût total détaillé ici au sein du tableau 11:

Tableau 10 Synthèse de la proposition de mise à l'échelle du couvert, du coût estimé et des services attendus.

Mélange	Coût semences	Coût travail du sol et semis	Services attendus
M1 Trèfle incarnat Mélilot, Avoine	42€	2h par modalité en partant d'un sol enherbé et tassé, 1 passage de broyeur, 1 sous solage et 2 passages de herse rotative et un semis à la volée puis un rappuyage = 65€	Couvert répulsif face aux rats et présence de légumineuses ayant un fort pouvoir couvrant., la lutte contre les rongeurs est un sujet qui doit rester présent, conserver du mélilot au sein d'au moins un mélange permettra avec un témoin sans mélilot d'évaluer l'efficacité de répulsion. Légumineuse entraînent jusqu'à 30% de rendement en plus par restitution (Amossé 2013)

M3 Vesce Phacélie Féverolle	22,24€	2h par modalité en partant d'un sol enherbé et tassé, 1 passage de broyeur, 1 sous solage et 2 passages de herse rotative et un semis à la volée puis un rappuyage = 65€	Couvert mellifère et fortement producteur de biomasse, il ne contient pas de mélilot et sera le témoin en cas de dégât de rats.
M4 Trèfle incarnat Mélilot, Avoine Vesce Phacélie Féverolle	64,24€	2h par modalité en partant d'un sol enherbé et tassé, 1 passage de broyeur, 1 sous solage et 2 passages de herse rotative et un semis à la volée puis un rappuyage = 65€	Combiner les effets des deux couverts, croissance rapide de la phacélie, pouvoir couvrant du trèfle et fortement producteur de biomasse tout en conservant le mélilot répulsif à rats. Légumineuse fort pouvoir couvrant et contrôle des adventices (Duc et al. 2010).

L'ensemble des données chiffrées présentes dans ce tableau sont tirées de bilans économiques réalisés sur l'exploitation pour la mise en place de l'essai et extrapolées à l'ha. Ces résultats ont été comparés avec ceux obtenus par M.Gibaud dans son mémoire de 2021 en viticulture et sont cohérents avec une prise en compte des spécificités du système arboricole.

Annexe 3 Limites des couverts végétaux à prendre en compte

- **Facteur économique**

Coût du couvert, du temps à consacrer à la recherche de semences adaptées aux besoins, plus de 200 €/ ha.

- **Facteur temps**

En Viticulture le temps moyen d'implantation estimé est de 2,2 h/ha alors que d'après ses entretiens, en prenant en compte la préparation des semis et l'acheminement la moyenne est plutôt de 5h/ha (« Memoire PVD GIBAUD Mathilde 2021.pdf » s. d.). Dans le cadre du site au sein duquel j'exerce, de 15 ha, cela représente 75h de travail annuel, soit 2 semaines. Si les services des couverts ne sont pas nombreux et n'apportent pas une valorisation économique cela semble être une perte de temps

- **Facteur machinisme**

Le matériel nécessaire aux travaux (sous-solage, émiettement, semis, rappuyage, broyage) est bien sûr mobilisable pour d'autres activités mais doit pouvoir passer dans des endroits étroits sans abîmer les arbres. Plusieurs adaptations de ces outils à la taille des tracteurs et aux pentes présentes représentent de réels enjeux, pour cela des associations comme l'atelier paysan proposent des plans et formations en open source pour adapter au mieux ce machinisme aux besoins réels. L'achat de machinisme uniquement pour l'implantation de couverts doit être réfléchi à plusieurs et prend tout son sens au sein de CUMA ou groupement de producteur.

- **Facteur connaissances**

Les semenciers ne sont pas forcément adaptés pour ce genre de pratique et ne proposent pas de conditionnement à l'échelle, tout de suite l'expérimentation devient une prise de risque pour l'exploitation.

De plus les expérimentations et retours techniques de mise en place de couverts végétaux en arboriculture ne sont pas nombreux au contraire de la vigne qui répond de manière anticipée à des changements que le milieu arboricole va certainement subir d'ici quelques années.

- **Conclusion** rapide

L'implantation de couverts végétaux doit être comprise comme la mise en place d'une culture secondaire qui n'a pas vocation à être valorisée en tant que telle (hors exemple d'exportations pour méthanisation ou pâturage). Cela engendre des coûts importants à l'ha jusqu'à 300€ selon certains organismes techniques (« Spotifarm, intégrer des couverts dans sa rotation » 2020). De plus, en fonction des conditions climatiques, l'arrosage et la fertilisation peuvent être des recours nécessaires, engendrant des coûts supplémentaires. Se demander pourquoi l'on met en place des couverts et dans quels buts, expérimenter à petite échelle et se rapprocher d'autres expérimentations me semble nécessaire au préalable d'une conversion totale des surfaces en couverts végétaux.

Annexe 4 Retour d'expérience sur l'installation d'un couvert de mélilot

La figure (nb) présente l'expérimentation qui a pris place au sein de l'entreprise Chez Béchet en 2021. L'infestation de rats et campagnols sur la plantation de royal gala 2018 (300 arbres morts/ha) nous a poussé à trouver des solutions. Les propositions chimiques (Miot et Delattre 2010) n'étaient que peu nombreuses et non efficaces ou très laborieuses à mettre en place (piégeage et RatronWG puis PH3).

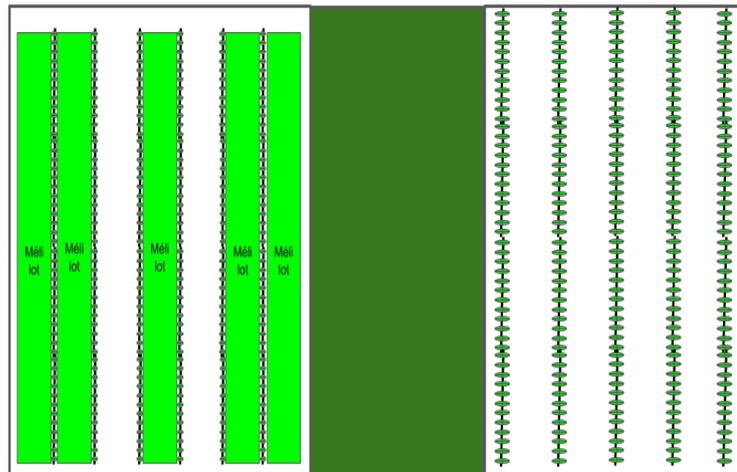


Figure 26 Plan d'expérimentation de l'essai mélilot de 2021 à La terrasse Chez Béchet

La prairie séparant les deux champs cultivés, de 100m de largeur, de nombreuses galeries et taupinières y ont été observées, la colonisation de la nouvelle parcelle (qui génétiquement a les mêmes caractéristiques que la première) nous semblait inévitable. Nous avons installé des couverts 1rang/2 et en périphérie de la parcelle de mélilot à 5kg/ha. Aucun dégât de mortalité d'arbre n'a été observé depuis. Aucune

mesure n'a été réalisée, le feuillage semblait plus vert et les pousses de l'année bien dressées. Aujourd'hui le mélilot a été broyé pré floraison, il n'en subsiste plus aucun, mais toujours pas d'attaque de rats. Cette expérimentation et ses résultats m'ont poussé à orienter la protection des vergers face aux ravageurs du sol par la mise en place de couverts végétaux (mélilot).

Annexe 5 Synthèse des points forts et faibles des couverts végétaux

Tableau 11 Synthèse des espèces intéressantes au sein des couverts en fonction de leur sensibilité face au broyage, de leur aspect mellifère et de leur production de biomasse selon les fiches techniques Arvalis

Espèce	Cycle	Sensibilité au broyage	Attractivité face aux pollinisateurs	Production de biomasse
Phacélie	Annuel	+++	+++	++
Vesce	Annuel	+++	++	++
Féverolle	Annuel	+++	+	+
Mélilot	Vivace	0	++	++
Sarrasin	Annuel	+	+++	++
Avoine	Annuel	0	0	++
Tritical	Annuel	0	0	+
Moutarde	Annuel	++	+++	++
Trèfle souterrain	Vivace	0	+	++
Radis fourrager	Annuel	+	0	+++

Annexe 6 choix et formatage des variables pour l'ACP

Pour chaque modalité, l'ensemble des variables ont été synthétisées pour réaliser l'ACP.

Tableau 12 les variables utilisées pour l'ACP et leur formatage.

Variable traitée	Mode de traitement réalisé pour l'ACP
TH C	% d'humidité du sol moyen sous le couvert
TH A	% d'humidité moyen du sol sous l'arbre
DT	% d'augmentation du diamètre moyen par modalité sur 5 semaines
Barber	Nombre moyen d'insectes par modalité sur 5 semaines
TBI	% de perte moyen, confondant le rouge et le vert
Biomasse	Tonnes de MS produite en moyenne par ha
Salissement	% moyen d'augmentation de salissement par modalité

Annexe 7 Evaluation de la méthodologie retenue pour l'analyse des données

Tableau 10 Evaluation de la méthodologie retenue pour l'analyse des résultats

Critères d'analyse de la méthodologie (LAIREZ et al. 2016)	Points forts	Points de vigilance
Pertinence	Variables rendant compte des impacts des couverts sur leur environnement proche.	Manque de précision dans certaines variables (barber, DT, TH) pour pouvoir tirer des conclusions.
Sensibilité	Indicateurs sélectionnés sensibles aux variations TBI, Biomasse.	Entre les indicateurs visuels et mesurés, de grandes variations existent, les unités ne sont pas identiques.
Robustesse	Les mesures sont réalisées sur 3 essais, 3 fois au sein de chaque modalité.	Risque alpha élevé, à adapter aux différentes variables (DT, TH) avec de faibles variations.
Atteinte des objectifs de réalisation	Mise en évidence de la significativité des couverts sur la minéralisation, la production de biomasse et l'attraction d'insectes.	Manque de précision sur la concurrence hydrique et l'effet réel du couvert sur la teneur en eau du sol sous l'arbre, ni sur la dynamique d'accroissement du diamètre du tronc en fonction de la dynamique de pousse du couvert.
Approbation par l'entreprise	Visualisation du temps de travail et des couverts au sein des parcelles, une alternative possible à retenir en fonction des cahiers des charges.	

Annexe 8 rapport L3 A.Colin

Conclusion

Si ce travail avait été à refaire, avec le recul pris par cette étude et la mise en application de ces connaissances (réalisation d'une demande d'aide et d'une plantation de haie) je pense que j'aurai aimé orienter mes recherches sur des services écosystémiques et ainsi pouvoir étudier leurs interactions.

Mais ceci n'est pas vraiment un « si c'était à refaire », je pense donc que pour le refaire je prendrai plus de temps pour évaluer les espèces présentes. J'aurai à cœur de sélectionner des espèces et de permettre leur multiplication au sein de la

pépinière pour pouvoir suivre le cycle entier de la plante et ainsi maximiser son implantation et sa reprise. Je referai à l'identique les démarches de formation à savoir rechercher des sites et des sujets intéressants et demander leur financement à mon patron en défendant ma position.

J'aimerais aussi recentrer mon étude dès le début sur des interactions précises recherchées et non sur l'ensemble des externalités car de ce fait j'ai peut être l'impression que c'est le point faible de mon rapport (dispersion) et que d'un autre point de vue c'est aussi ce qui le détermine comme un réel outil d'aide à l'implantation d'une haie. J'aurai donc orienté vers des externalité « brise vue ou vent et anti-dérive ».

Dans ce qui reste à faire d'un point de vue pratique c'est évaluer les effets bénéfiques du paillage et déterminer si il est intéressant d'étaler du foin ou non (présence de rats, plants nains..). Il faut aussi déterminer quand seront donnés les premier coup de sécateurs et qui s'en chargera, ainsi que la nécessité de désinfecter ou non le matériel de taille en fonction de la provenance des espèces (ceci en raison de l'apparition croissant de symptômes du feu Bactérien).

D'un point de vue plus « long-termisme » j'aurai aimé avoir le temps de lire plus de documents ayant trait aux haies (Soltner, Francis hallé..) pour comprendre en profondeur le fonctionnement d'un arbre et les interactions fortes qu'il crée avec son environnement. Ensuite j'aurai aimé participer à des réunions avec la DRAAF et des chambres d'agriculture pour déterminer ensemble quels sont les besoins et moyens mis en adéquation.

Je suis tout de même satisfait des connaissances acquises et je me rends une fois de plus compte de la difficulté de faire changer les pratiques agricoles, je pense que des exemples concrets et appliqués permettront de faire avancer ces recherches. Pour cela il faut être pilote et oser prendre des risques, je n'en vois que des intérêts mais peut-être que c'est parce que je ne suis pas moi-même responsable d'exploitation...

Les points forts sont la multidisciplinarité et les différentes approches du sujet permettant de mon point de vue d'obtenir un travail plus complet. Avoir rencontré différents acteurs, pu discuter et observer avec ma patronne.

Les points faibles ont plus ou moins déjà été cités et je pense que cette étude aurait pu être menée sur plusieurs années pour essayer d'opérer une transition plus globale des différentes exploitations de Mr Leprince.

9 Bibliographie

Achotegui-Castells et al. 2019. « EFFETS POSITIFS ET NEGATIFS DE L'AGRICULTURE SUR L'ENVIRONNEMENT ». *AVANTAGES AGRICOLES DE LA CONSERVATION DE LA NATURE*, 2.

Adeux, Guillaume, Delphine Moreau, Alicia Rouge, Jean-Philippe Guillemin, et Stéphane Cordeau. 2022. « Effets court terme et long terme de l'introduction de couverts végétaux d'interculture et des pratiques associées sur les adventices ». *Agronomie, Environnement & Sociétés* 12 (1).

Aïssa, Ben, Zouhair Nasr, et N. Ben Mechlia. 2000. « Evaluation de la transpiration du Pommier en verger par la mesure thermique du flux de sève brute ».

Amossé, Camille. 2013. « Analyse expérimentale de l'effet de couverts de légumineuses associés en relais à un blé d'hiver, conduit en agriculture biologique, sur les performances des cultures, la maîtrise des adventices et la dynamique de l'azote ». PhD Thesis, AgroParisTech.

ANDRÉ, É. 1949. « LES ESSENCES SULFURÉES DES HUILES DE GRAINES DE CRUCIFÈRES (COLZA, NAVETTE, CAMELINE) ». In *Annales de la nutrition et de l'alimentation*, 329-33. JSTOR.

Arvalis. 2023. « Choix des couverts ». 2023. <https://choix-des-couverts.arvalis-infos.fr/>.

Assaf, R. 1995. « Les Hashabi, nouveaux porte-greffe pour la culture du pommier en Israël. I-Comportement sous différents climats ». *Fruits* 50 (1): 65-75.

BENAHMED, Farida, et Ahlem Si SAHLI. 2022. « Effet des amendements organiques sur l'évolution microbiologique des sols pour des fins biotechnologiques ». PhD Thesis, Université Ibn Khaldoun-Tiaret.

Benblidia, Mohammed, et Gaëlle Thivet. 2010. « Gestion des ressources en eau: les limites d'une politique de l'offre ». *Les Notes d'analyse du CIHEAM* 58: 15.

Billeh, KIMOUCHE Moatez. 2020. « Biodiversité des insectes pollinisateurs du Poirier (*Pyrus communis* L)(Rosaceae) dans la région de Constantine (Résumé des travaux précédents) ».

Bourque, Jimmy, Jean-Guy Blais, et François Larose. 2009. « L'interprétation des tests d'hypothèses: p, la taille de l'effet et la puissance ». *Revue des sciences de l'éducation* 35 (1): 211-26.

Boutry, Clémence, Niklas Oeser, Mora-Vargas Alfredo, et Stine Kramer Jacobsen. 2023. « STRATÉGIES DE LUTTE CONTRE LES MALADIES ».

Boyer, Lauréline. 2021. « REVUE DE LITTÉRATURE SYSTÉMATIQUE SUR LE POTENTIEL D'UTILISATION DES PAILLIS ORGANIQUES À AMÉLIORER LA QUALITÉ DES SOLS ET DE LA DURABILITÉ DES VERGERS DE POMMES QUÉBÉCOIS ».

Bretagnolle, Vincent, Gerard Balent, Claudine Thenail, et Elsa Berthet. 2012. « Gestion de la biodiversité en milieu céréalier intensif: importance des prairies aux échelles locales et régionales ». *Innovations agronomiques* 22: pp-31.

Bugg, Robert L., et Carol Waddington. 1994. « Using Cover Crops to Manage Arthropod Pests of Orchards: A Review ». *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Influence of Understory Cover and Surrounding Habitat on Interactions Between Beneficial Arthropods and Pests in Orchards, 50 (1): 11-28. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(94\)90121-X](https://doi.org/10.1016/0167-8809(94)90121-X).

Cerf, Marianne, Marie-Helene Jeuffroy, Aurélie Cardona, Marc Barbier, Laurence Guichard, Raymond Reau, Lorène Prost, Frédéric Goulet, Marianne Le Bail, et Philippe Martin. 2017. « Rapport Scientifique du projet Pestimute-Gen ». Report, Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques. <https://hal.science/hal-02290688>.

Chenu, Claire, Katja Klumpp, A. Bispo, D. Angers, C. Colnenne, et Aurelie Metay. 2014. « Stocker du carbone dans les sols agricoles: évaluation de leviers d'action pour la France ». *Innovations agronomiques* 37: 23-37.

Couëdel, Antoine, Célia Seassau, Judith Wirth, et Lionel Alletto. 2017. « Potentiels de régulation biotique par allélopathie et biofumigation; services et dis-services produits par les cultures intermédiaires multiservices de crucifères ». *Innovations Agronomiques* 62: 1-15.

Délye, Christophe, et Annie Micoud. 2016. « La résistance aux produits phytopharmaceutiques ». *Alim'agri*, n° 107: 1-p.

Denmat, Anne-Sophie. 2021. « Le consommateur face au panel des labels de l'agroalimentaire ». *Nouvelle Vague*. 20 avril 2021. <https://nouvellevague.fr/actus/le-consommateur-face-au-panel-des-labels-de-lagroalimentaire/>.

Derrouch, Damien, Fabrice Dessaint, Émeline Felten, et Bruno Chauvel. 2020. « L'adoption du semis direct sous couvert végétal : transition douce ou rupture ? » *Cahiers Agricultures* 29: 5. <https://doi.org/10.1051/cagri/2020003>.

Dubuis, Pierre-Henri, Eduard Holliger, et Andreas Naef. 2020. « Maladies du pommier ». *Revue suisse de viticulture, arboriculture et horticulture* 52 (1): 20-21.

Duc, Gérard, Catherine Mignolet, Benoît Carrouée, et Christian Huyghe. 2010. « Importance économique passée et présente des légumineuses: Rôle historique dans les assolements et les facteurs d'évolution ». *Innovations agronomiques* 11: 1-24.

Elkartea, Biharko Lurraren. 2023. « Taille de fructification et autres techniques de mise à fruit—Biharko Lurraren Elkartea ».

« Fadear ». 2023. 2023. <https://www.agriculturepaysanne.org/>.

Fayet, Agnès. 2016. « La Pollinisation du pommier ».

FORTES. 2014. « LA NUTRITION ».

Foucher, Lise. 2010. « Evaluation de l'impact de bandes fleuries sur la régulation de pucerons en verger de pommier et culture de courge ».

Friedli, Michael, Andreas Häseli, Fabian Baumgartner, Patrick Stefani, et Clémence Boutry. 2021. « Résultats des essais variétaux, évaluations et recommandations pour la culture des pommes et des poires ».

Garcia, Léo, Florian Celette, Christian Gary, Aude Ripoché, Héctor Valdés-Gómez, et Aurélie Metay. 2018. « Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards: A review ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 251: 158-70.

Geier, Uwe, Jürgen Fritz, Ramona Greiner, et Michael Olbrich-Majer. 2018. « L'agriculture biodynamique, une synthèse scientifique ». In *Ökologischer Landbau: Grundlagen, Wissensstand und Herausforderungen*, 101-23. UTB.

Grimonprez, Benoît, et Inès Bouchemat. 2020. « Vendre ou prescrire des pesticides: quand il faut choisir ». *Revue de Droit Rural*, comm-135.

Guenser, Josépha. 2014. « APPORTS DE BIODIVERSITE PAR LES COUVERTS VEGETAUX EN VITICULTURE ». *LES COUVERTS VEGETAUX EN VITICULTURE*, 14.

« guide_destruction_couverts.pdf ». s. d. Consulté le 1 août 2023. https://landes.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Nouvelle-Aquitaine/101_Inst-Landes/Documents/techniques_et_innovations/PV/guide_destruction_couverts.pdf.

Guinet, Maé, Bernard Nicolardot, Vincent Durey, Cécile Revellin, Frédéric Lombard, Eric Pimet, Florian Bizouard, et Anne-Sophie Voisin. 2019. « Fixation symbiotique de l'azote et effet précédent: toutes les légumineuses à graines se valent-elles? » *Innovations Agronomiques* 74: 55-68.

Guitton, Baptiste B., David D. Chagné, et Evelyne E. Costes. 2013. « Génétique de l'alternance de production chez le pommier ». In *Colloque scientifique SNHF*, 24-29. Société nationale d'Horticulture de France.

Habib, Robert. 1984. « La formation des réserves azotées chez les arbres fruitiers. Revue bibliographique ».

Hainzelin, Etienne. 2013. *Cultiver la biodiversité pour transformer l'agriculture*. Editions Quae.

Hämmerli, Franziska. 2019. « Les courgettes prospèrent bien dans les mulchs roulés ». *Bioactualités*, n° 6: 20-21.

Haruna, Samuel I., Stephen H. Anderson, Ranjith P. Udawatta, Clark J. Gantzer, Nathan C. Phillips, Song Cui, et Ying Gao. 2020. « Improving soil physical properties through the use of cover crops: A review ». *Agrosystems, Geosciences & Environment* 3 (1): e20105.

« Hausse des prix de l'énergie ». 2023. Ministères Écologie Énergie Territoires. 2023. <https://www.ecologie.gouv.fr/hausse-des-prix-lenergie-toutes-mesures-soutien-mises-en-place-gouvernement>.

Helfer, Jean-Pierre, Jacques Orsoni, et Ouidade Sabri. 2020. *Marketing : Ouvrage labellisé FNEGE*. Vuibert.

Houben, Saskia, et Harm Brinks. 2020. « INFORMATIONS PRATIQUES POUR LA SANTÉ DU SOL ».

« ITAB, planetscore ». 2022. 2022. <http://itab.asso.fr/activites/planet-score.php>.
Jacquet, Florence, Nathalie Delame, Alizee Thoueille, Xavier Reboud, Christian Huyghe, Sylvie Colleu, et Stéphanie Drusch. 2020. « Alternatives au glyphosate en arboriculture. Evaluation économique des pratiques de désherbage ». PhD Thesis, INRAE.

Karimi, B., V. Masson, C. Guillard, E. Leroy, S. Pellegrinelli, E. Giboulot, P. A. Maron, et L. Ranjard. 2021. « La biodiversité des sols est-elle impactée par l'apport de cuivre ou son accumulation dans les sols vignes ». *Synthèse des connaissances scientifiques. Etude et Gestion des Sols* 28 (1): 71-92.

KHELIFI, Houssein Eddine. 2008. « Etude du comportement de quelques variétés ou populations de luzerne pérenne (*Medicago sativa* L.) et de sulla (*Hedysarum coronarium* L.) ». PhD Thesis, INA.

Laaboudi, A., et B. Mouhouche. 2020. « Amélioration de l'efficacité d'utilisation du phosphore et de potasse par la culture du blé dans les régions sahariennes ».

LAIREZ, Juliette, Pauline FESCHET, Joël AUBIN, Christian BOCKSTALLER, et Isabelle BOUVAREL (Coord.). 2016. *Agriculture et développement durable: Guide pour l'évaluation multicritère*. Educagri Editions.

Laisney, Céline, Annie Soyeux, et Barbara Redlingshöfer. 2013. « Les gaspillages et les pertes de la «fourche à la fourchette» Production, distribution, consommation ». *Document de Travail du Centre D'études et Prospective*.

Lambion, Jérôme, et Clément Amour. 2008. « Biodiversité fonctionnelle en maraîchage biologique: comment favoriser les punaises prédatrices? Compte-rendu d'essai 2008 ».

Le Monde.fr. 2014. « Olivier De Schutter : « Notre modèle agricole mondial est à bout de souffle » », 29 avril 2014. https://www.lemonde.fr/planete/article/2014/04/29/olivier-de-schutter-notre-modele-agricole-est-a-bout-de-souffle_4408689_3244.html.

Le Pichon, V., L. Romet, et Jérôme Lambion. 2009. « Approche multi-niveaux de la gestion des bio-agresseurs: moyen d'analyse des expérimentations du Groupe de Recherche en Agriculture Biologique ». *Carrefours de l'Innovation Agronomique* 4: 91-99.

Le Roux, Xavier, Robert Barbault, Jacques Baudry, Françoise Burel, Isabelle Doussan, Eric Garnier, Félix Herzog, Sandra Lavorel, Robert Lifran, et Jean Roger-Estrade. 2012. « Agriculture et biodiversité ». PhD Thesis, Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable, et de l'Énergie.

Lecuyer, Bérengère, Vincent Chatellier, et Karine Daniel. 2013. « Les engrais minéraux dans les exploitations agricoles françaises et européennes ». *Économie rurale*, n° 1: 147-57.

Letourneau, Deborah K, et Sara G Bothwell. 2008. « Comparison of Organic and Conventional Farms: Challenging Ecologists to Make Biodiversity Functional ». *Frontiers in Ecology and the Environment* 6 (8): 430-38. <https://doi.org/10.1890/070081>.

Lichtfouse, Eric, Mireille Navarrete, Philippe Debaeke, Véronique Souchère, Caroline Alberola, et Josiane Ménassieu. 2009. « Agronomy for sustainable agriculture: a review ». *Sustainable agriculture*, 1-7.

Linares, Jose, Johannes Scholberg, Kenneth Boote, Carlene A. Chase, James J. Ferguson, et Robert McSorley. 2008. « Use of the Cover Crop Weed Index to Evaluate Weed Suppression by Cover Crops in Organic Citrus Orchards ». *HortScience* 43 (1): 27-34. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.1.27>.

Lobos, Gustavo A., César Acevedo-Opazo, Alejandro Guajardo-Moreno, Héctor Valdés-Gómez, James A. Taylor, et V. Felipe Laurie. 2015. « Effects of kaolin-based particle film and fruit zone netting on Cabernet Sauvignon grapevine physiology and fruit quality ». *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*.

« Loi Egalim ». 2022. Ministères Écologie Énergie Territoires. 24 mars 2022. <https://www.ecologie.gouv.fr/loi-egalim-nouveau-decret-limiter-lexposition-humaine-animale-et-environnementale-aux-produits>.

Maêva Bourgeois. 2021. « Sol - Le phosphore ». *Institu agro*. 2021. https://www.supagro.fr/ress-pepites/sol/co/1_2_PK.html.

Martin, José. 2021. « Couverts végétaux et adventices pluvio-estivales: coup franc direct pour obstruction massive! »

Martin, Sarah, Thomas Eglin, et Marc Bardinal. 2015. « Analyse comparative de scénarios de lutte contre le changement climatique pour l'agriculture à l'horizon 2035 ». *Rapport final, ADEME* 38.

Massot, Capucine. 2010. « Analyse des variations de la teneur en vitamine C dans le fruit de tomate et rôle de l'environnement lumineux ». In . Avignon.

MEDJAHED, Housseyn. 2014. « Étude chez quelques rosacées à pépins (*Malus pumila*, *Pyrus communis* et *Eriobotrya japonica*) d'*Erwinia amylovora*, agent du feu bactérien: caractérisation phénotypique et géotypique ». PhD Thesis, SAADI. A.

Mees, Olivier, et Pierre Bertin. 2021. « Etude comparative entre un couvert végétal multi-espèce et des couverts pures des espèces constituant le mélange ». PhD Thesis, Thèse de doct. (Visité le 01/06/2022).

« Memoire PVD GIBAUD Mathilde 2021.pdf ». s. d. Consulté le 28 juillet 2023.
https://moodle.supagro.fr/moodle/pluginfile.php/33000/mod_resource/content/0/Memoire%20PVD%20GIBAUD%20Mathilde%202021.pdf.

Mika, Augustyn, Zbigniew Buler, et Adam Krawiec. 2003. « Effects of various methods of pruning apple trees after planting ». *JOURNAL OF FRUIT AND ORNAMENTAL PLANT RESEARCH*. 11 (1/4): 33-44.

Ministère de l'agriculture. 2022. « Industries agroalimentaires : les chiffres et indicateurs clés 2022 ». Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. 2022.
<https://agriculture.gouv.fr/industries-agroalimentaires-les-chiffres-et-indicateurs-cles-2022>.

Miot, Sandrine S., et Pierre P. Delattre. 2010. « Les rongeurs en vergers de production biologique: méthodes de lutte préventive et continue ». *Le Courrier de l'environnement de l'INRA* 58: 55-68.

Morel, Kevin. 2019. « Les projets néo-paysans de microfermes en France: quelles visions et quelles pratiques agricoles alternatives? » *Bulletin de l'association de géographes français. Géographies* 96 (96-4): 659-75.

Morilhat, Céline. 2005. « Influence du système sol–végétation–pratiques agricoles des prairies franc-comtoises sur la dynamique de population de la forme fouisseuse du campagnol terrestre (*Arvicola terrestris scherman shaw*, 1801). » PhD Thesis, Université de Franche-Comté.

Normandeau Bonneau, Mélanie. 2019. « Utilisation du bourdon *Bombus impatiens* pour la gestion de la pollinisation de pommiers sous filet d'exclusion en verger commercial ».

Novara, Agata, Artemi Cerda, Ettore Barone, et Luciano Gristina. 2021. « Cover Crop Management and Water Conservation in Vineyard and Olive Orchards ». *Soil and Tillage Research* 208 (avril): 104896. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104896>.

Nukala, Revathi, Krishna Panduru, Andrew Shields, Daniel Riordan, Pat Doody, et Joseph Walsh. 2016. « Internet of Things: A review from 'Farm to Fork' ». In *2016 27th Irish Signals and Systems Conference (ISSC)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ISSC.2016.7528456>.

Parisi, Luciana L., Frederique Didelot, et Laurent Brun. 2003. « Raisonner la lutte contre la tavelure du pommier, un enjeu majeur pour une arboriculture durable ». In *7. Conférence Internationale sur les maladies des plantes*.

Pisciotta, Antonino, Rosario Di Lorenzo, Agata Novara, Vito Armando Laudicina, Ettore Barone, Antonino Santoro, Luciano Gristina, et Maria Gabriella Barbagallo. 2021. « Cover crop and pruning residue management to reduce nitrogen mineral fertilization in mediterranean vineyards ». *Agronomy* 11 (1): 164.

Pissonnier, Solène. 2017. « Comprendre et accompagner l'évolution des stratégies de conduite des vergers dans les exploitations arboricoles : application à la protection phytosanitaire de la pomme en France ». These de doctorat, Montpellier, SupAgro. <https://www.theses.fr/2017NSAM0026>.

Pitchers, Benjamin. 2021. « Architecture and Fruiting of the Apple Tree in Agroforestry System - Linking Architectural Development, Flowering and Xylem Flow. »

Pitrat, Michel. 2016. « Maladies et ravageurs. La génétique au service des résistances ». *Jardins de France*, n° 642: 29-31.

« Qu'est-ce que le réseau DEPHY ? | ». 2023. 2023. <https://ecophytopic.fr/dephy/quest-ce-que-le-reseau-dephy>.

Recous, Sylvie, Sandro Giacomini, Pascal Thiébeau, Akhtar Iqbal, Patrick Pinheiro, Raquel Schmatz, et Patricia Garnier. 2019. « LES PAILLIS DE RESIDUS DE CULTURES EN SYSTEMES SANS TRAVAIL DU SOL: IMPACTS SUR LE FONCTIONNEMENT DU SOL ET LE DEVENIR DU CARBONE ET DE L'AZOTE ».

REGNARD, JEAN-LUC, et CHRISTIAN HUTIN. 2021. « Les filières de production fruitière ». *Les productions fruitières à l'heure du changement climatique*, 41.

« Réseau Semences Paysannes ». 2023. 2023.

<https://www.semencespaysannes.org/semons-nos-droits/ressources-genetiques.html>.

Ricci, Pierre, Sibylle Bui, et Claire Lamine. 2011. *Repenser la protection des cultures: Innovations et transitions*. Editions Quae.

Rota-Stabelli, Omar, Mark Blaxter, et Gianfranco Anfora. 2013. « *Drosophila suzukii* ». *Current Biology* 23 (1): R8-9.

Roubal, Christophe. 2017. « Tavelures du pommier et de l'olivier: réalisation de modèles épidémiologiques par des méthodes exploitant des observations biologiques acquises au verger ». PhD Thesis, Université d'Avignon.

Ruiz, Julie, et Gérald Domon. 2005. « Les paysages de l'agriculture en mutation ». *Paysages en perspective*, 47-97.

Samnegård, Ulrika, Georgina Alins, Virginie Boreux, Jordi Bosch, Daniel García, Anne-Kathrin Happe, Alexandra-Maria Klein, Marcos Miñarro, Karsten Mody, et Mario Porcel. 2019. « Management trade-offs on ecosystem services in apple orchards across Europe: Direct and indirect effects of organic production ». *Journal of Applied Ecology* 56 (4): 802-11.

Sautereau, Natacha, et Marc Benoit. 2016. « Quantifier et chiffrer économiquement les externalités de l'agriculture biologique? » *Institut Technique de l'Agriculture Biologique: Paris, France*.

Selosse, Marc-André. 2017. *Jamais seul: ces microbes qui construisent les plantes, les animaux et les civilisations*. Éditions Actes Sud.

Selosse, Marc-André. 2021. *L'origine du monde: une histoire naturelle du sol à l'intention de ceux qui le piétinent*. Éditions Actes Sud.

SERHANE, Sonia. 2023. « Nutrition minérale et hydrique d'un verger de pommier sur sol calcaire en zone semi-aride: cas d'un verger de pommier dans la région de Batna. » PhD Thesis, Université de Batna 1-Hadj Lakhder.

Tahar, Hadeef. 2022. « Situation de laculturede pommier dans la région des Aurès ». Tscharrntke, Teja, Alexandra M. Klein, Andreas Kruess, Ingolf Steffan-Dewenter, et Carsten Thies. 2005. « Landscape Perspectives on Agricultural Intensification and Biodiversity – Ecosystem Service Management ». *Ecology Letters* 8 (8): 857-74. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x>.

Turpin, Nadine, Eric Perret, Hein ten Berge, T. D. Hose, et Frits van Evert. 2016. « Adapter les pratiques agricoles aux différentes conditions pédoclimatiques: un outil pour agriculteurs et conseillers ». *Sciences Eaux & Territoires*, n° Hors Série 30: 7-p.

Tursun, Nihat, Doğan Işık, Zeynep Demir, et Khawar Jabran. 2018. « Use of living, mowed, and soil-incorporated cover crops for weed control in apricot orchards ». *Agronomy* 8 (8): 150.

« Une agriculture raisonnée - Pommes et poires de Savoie ». 2021. 1 février 2021. <https://pommespoiresdesavoie.fr/une-agriculture-raisonnee/>.

Van Lerberghe, Philippe. 2000. « Influence du travail du sol sur la stabilité des peuplements ».

Vandersteen, Joëlle. 2009. « Influence des conditions locales et paysagères sur les communautés végétales et de rhopalocères de la mesure agro-environnementale "bandes fleuries" », août. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/13606>.

Védie, Hélène, et Annick Taulet. 2006. « Engrais verts en interculture d'automne-hiver en plein champ-rapport final 2005 ».

Voisin, Anne-Sophie, Pierre Cellier, et Marie-Helene Jeuffroy. 2015. « Fonctionnement de la symbiose fixatrice de N₂ des légumineuses à graines: Impacts Agronomiques et Environnementaux ». *Innovations agronomiques* 43: 139-60.

Zohra, KHEDDACHE. 2021. « Contribution à l'étude de l'effet de produit de conservation sur la pomme—étude comparative pomme locale et pomme d'importation ».

Résumé

Titre : Les couverts végétaux favorisent-ils la présence d'auxiliaires, la fertilité des sols et contrôlent-ils l'enherbement sans concurrence pénalisante pour une jeune plantation arboricole ?

La filière arboricole nécessite de trouver plus de résilience, pour répondre aux enjeux sociaux, économiques et écologiques (Pissonnier 2017). L'implantation d'une nouvelle surface représente des risques à maîtriser et engendre des coûts importants. Ce mémoire s'intéresse à la mise en place et à l'évaluation de couverts végétaux en plantation arboricole de 2023. De quelles manières les couverts végétaux augmentent-ils la fertilité du sol et attirent-ils des auxiliaires sans pénaliser le développement de la culture ? Pour cela, 3 mélanges de 3 espèces différentes et un témoin spontané ont été sélectionnés et semés sur 3 parcelles distantes et homogènes. Une modalité Broyage a été incluse pour reproduire la réalité de l'exploitation. Les variables mesurées sont : Diamètre du tronc, Humidité du sol présente au sein du couvert et au pied de l'arbre, l'agressivité du couvert, le nombre d'insectes rampants, des mesures de production de biomasse et de devenir de la M.O. Les variables humidité du sol et accroissement du diamètre du tronc ne démontrent pas de différence significative, aucune concurrence du couvert sur le développement de l'arbre n'a été mise en évidence. La présence de biodiversité, mesurée avec les pots Barber a démontré une différence significative pour le couvert M1 attirant plus de 23 insectes par semaine pour 70m². Le couvert M1 composé de trèfle Mélilot et Avoine exerce un pouvoir suffisamment agressif pour accepter un taux de salissement de seulement 30% en moyenne après un broyage et seulement 10% sans broyage. Le couvert M3 produit significativement plus de MS que les autres, environ 13T de MS/ha. Le couvert M3 composé de Vesce, Phacélie et Féverole démontre une rapidité de minéralisation plus importante. La puissance statistique pourrait être améliorée par des répétitions sur plusieurs années et une augmentation du nombre de mesures. Cela permettrait de confirmer ou compléter les résultats ici représentés. Les couverts végétaux fournissent de nombreuses externalités (biomasse, fertilisation, maintien d'humidité, attraction d'insectes...). Les évaluer tous à la fois peut diminuer la puissance et la précision de l'essai. Orienter ces critères de sélection peut être une manière de poursuivre ces expérimentations. Les essais sur ce sujet sont nombreux, mais obtenir des références à une échelle locale reste important pour piloter au mieux sa gestion du verger.

Mots clés : Arboriculture fruitière, couverts végétaux, compétition hydrique, production de biomasse, devenir de la Matière organique, résilience, systèmes agroécologiques.

Coordonnées école :
Institut agro Montpellier
2 place pierre Vala
34060 Montpellier


**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**
*Liberté
Égalité
Fraternité*

 **L'INSTITUT
agro Montpellier**

Abstract

Title : Does plant cover promote auxiliaries and soil fertility, and control weed growth without penalizing competition for young tree plantations ?

The arboricultural sector requires enhanced resilience to address social, economic, and ecological challenges (Pissonnier 2017). The establishment of new cultivation areas presents risks that need to be managed and results in significant costs. This dissertation focuses on the implementation and evaluation of vegetative covers in arboricultural plantations starting from the year 2023. In what ways do vegetative covers contribute to increasing soil fertility and attracting beneficial organisms without hindering crop development? To address this, three mixtures of three different species, along with a spontaneous control, have been selected and sown in three distant and homogeneous plots. A shredding modality has been included to replicate operational reality. The measured variables include trunk diameter, soil moisture within the cover and at the base of the tree, the impact of the cover, the number of crawling insects, as well as biomass production measures and organic matter dynamics. Soil moisture and trunk diameter growth variables do not exhibit significant differences, and there is no evident competition from the vegetative cover affecting tree development.

Biodiversity presence, assessed using Barber traps, demonstrates significant differences for the M1 cover, attracting over 13 insects per week for 70 m². The M1 cover, composed of clover, sweet clover, and oats, exhibits a competitive ability sufficient to tolerate a soiling rate of only 30% on average after shredding, and as low as 10% without shredding. The M3 cover generates significantly more dry matter than the others, reaching approximately 13 tons of dry matter per hectare. The M3 cover, consisting of vetch, phacelia, and fava bean, shows a higher rate of mineralization. To enhance statistical robustness, repeating these experiments over multiple years and increasing the number of measurements would be advisable. This would help confirm or complement the results presented here. Vegetative covers provide numerous externalities (such as biomass, fertilization, moisture retention, insect attraction), but evaluating all of them simultaneously can reduce the power and precision of the trial. Focusing the selection criteria could be an approach to continue these investigations, given that studies on this subject are extensive, yet obtaining references at a local scale remains vital for effectively managing orchards.

Keywords : Fruit arboriculture, vegetative covers, water competition, biomass production, organic matter dynamics, resilience, agroecological systems.