



HAL
open science

La litière forestière fermentée comme biostimulant des sols viticoles

Guillaume Lemarquand

► **To cite this version:**

Guillaume Lemarquand. La litière forestière fermentée comme biostimulant des sols viticoles. Sciences du Vivant [q-bio]. 2024. dumas-04827789

HAL Id: dumas-04827789

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04827789v1>

Submitted on 9 Dec 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.

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté pour l'obtention du

Master sciences de la vigne et du vin

La litière forestière fermentée comme biostimulant des sols viticoles



par Guillaume LEMARQUAND

Année de soutenance : 2024

Organisme d'accueil : Château Sainte Roseline

Mémoire de fin d'études

**Présenté pour l'obtention du
Master sciences de la vigne et du vin**

La litière forestière fermentée comme biostimulant des sols viticoles



par Guillaume LEMARQUAND

Année de soutenance : 2024

**Mémoire préparé sous la direction
de : Aurélie METAY**

Présenté le : 05/11/2024

devant le jury :

Aurélie METAY

Anne PELLEGRINO

Organisme d'accueil : Château Sainte
Roseline

Maître de stage : Charles MODAINE

RESUME

Dans cette expérimentation menée au Château Sainte Roseline, nous avons évalué l'impact de la litière forestière fermentée (LFF) sur les sols viticoles, notamment sur la charge microbienne, la vitalité biologique des sols, et l'état hydrique des vignes via l'indice des apex. Des analyses foliaires ont également été réalisées. L'étude, conduite sur deux parcelles (SR2 et SR12) avec des modalités témoin et traitée, n'a pas révélé de différences significatives entre les modalités pour la charge microbienne ou la vitalité biologique. Bien que les boxplots montrent des variations entre le niveau initial (T0) et les mesures après traitement, celles-ci ne sont pas statistiquement significatives, indiquant un impact limité à court terme. L'effet de la LFF sur l'état hydrique des vignes n'a pas non plus été démontré, bien que certains résultats d'analyses foliaires aient montré des différences significatives.

Ces résultats soulignent l'importance d'une approche à long terme pour évaluer pleinement l'impact de la LFF, en prenant en compte des facteurs environnementaux comme l'humidité et la température qui influencent la vie microbiologique.

Mots clés

Litière forestière fermentée, sols viticoles, biostimulants.

Pour citer ce document : Lemarquand, Guillaume , 2024. La litière forestière fermentée comme biostimulant des sols viticoles. Mémoire de master, Master science de la vigne et du vin, L'Institut Agro Montpellier, 73 p..

ABSTRACT

Title : Fermented forest litter as a biostimulant for vineyard soils.

In this experiment conducted at Château Sainte Roseline, we assessed the impact of applying fermented forest litter (LFF) on vineyard soils, specifically focusing on microbial biomass, soil biological vitality, and the water status of the vines through the apex index. Foliar analyses were also performed. The study, carried out on two plots (SR2 and SR12) with control and treated modalities, did not reveal any significant differences between the control and treated modalities for microbial biomass or biological vitality. Although the boxplots show variations between the initial level (T0) and the post-treatment measurements, these differences were not statistically significant, indicating a limited short-term impact. The effect of LFF on the water status of the vines was also not demonstrated, although some foliar analysis results showed significant differences.

These findings highlight the need for a long-term approach to fully evaluate the effect of LFF on soil health, considering environmental factors such as moisture and temperature that strongly influence microbial life. [Texte du résumé en anglais ou autre langue]

Key words

Fermented forest litter, vineyard soils, biostimulants

Remerciements

Je tiens à remercier chaleureusement le Château Sainte Roseline de m'avoir accueilli durant cette année d'alternance. Un immense merci à Charles Gilles et à toute l'équipe de campagne pour cette saison marquée par la bonne humeur, l'entraide et l'approfondissement de nos connaissances viticoles.

Je souhaite également exprimer ma gratitude envers les équipes de la cave – Guillaume, Alicia, Carlo et Flavie Flament – pour leur dévouement durant des vendanges riches en intensité et en apprentissages.

Mes remerciements s'adressent également au laboratoire Excell, particulièrement à Ombeline et Opale, pour leur réactivité, leur disponibilité et la qualité de leurs analyses, ainsi que pour leurs remarques toujours pertinentes.

Je remercie tout particulièrement Aurélie Metay, ma tutrice à Montpellier SupAgro, pour ses orientations précieuses qui ont guidé mon expérimentation sur de bonnes bases dès le départ.

Enfin, un grand merci aux relecteurs de ce rapport, mobilisés comme toujours à la dernière minute, pour leurs conseils avisés et leur aide précieuse dans la réécriture.

Tables des matières

RESUME	5
REMERCIEMENTS	8
TABLES DES MATIERES	9
AVANT-PROPOS	11
GLOSSAIRE	12
SIGLES ET ACRONYMES	13
LISTE DES FIGURES	14
LISTE DES TABLEAUX	15
INTRODUCTION	16
1. ETAT DE L'ART	17
1.1 CONTEXTE DU VIGNOBLE PROVENÇAL	17
1.1.1 HISTORIQUE :	17
1.1.2 TERROIRS	17
1.1.3 TYPES DE PRODUCTION	17
1.2 LA VIE MICROBIOLOGIQUE DES SOLS	19
1.3 LES BIOSTIMULANTS	23
1.3.1 HISTORIQUE ET CONTEXTE REGLEMENTAIRE	23
1.3.2 MODE D'ACTION	23
1.3.3 PRODUITS DISPONIBLES SUR LE MARCHÉ	25
1.4 LA LITIERE FORESTIERE FERMENTEE	27
1.4.1 DEFINITION ET ORIGINE	27
1.4.2 MODE D'ACTION	27
1.4.3 LITTERATURE SCIENTIFIQUE	29
1.4.4 PRODUITS DISPONIBLES SUR LE MARCHÉ	29
2. DEMARCHE SCIENTIFIQUE	31
2.1 CONTEXTUALISATION	31
2.2 PROBLEMATIQUE	33
2.3 HYPOTHESES EMISES	33
2.4 OBJECTIFS	35

3. MATRIELS ET METHODES	37
3.1 DISPOSITIF EXPERIMENTAL	37
3.1.1 PARCELLES ETUDIEES	37
3.1.2 FABRICATION DE LA LITIERE FORESTIERE FERMENTEE	39
3.1.3 PULVERISATION DE LA LIFO FER	41
3.2 MESURES REALISEES	41
3.2.1 BIOMASSE MICROBIENNE ET BIO ACTIVITE DES SOLS	41
3.2.2 LITTER BAG	41
3.2.3 BIODISPONIBILITE DES ELEMENTS NUTRITIFS	43
3.2.4 ETAT HYDRIQUE DE LA VIGNE	43
3.2.5 PARAMETRE DE LA MATIERE ORGANIQUE	43
3.2.6 PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES	45
3.2.7 CATIONS ECHANGEABLES	45
3.2.8 OLIGO ELEMENTS	45
3.3 TRAITEMENTS STATISTIQUES DES DONNEES	47
3.3.1 ANALYSE DE LA CHARGE MICROBIENNE ET DE LA VITALITE BIOLOGIQUE DES SOLS	47
3.3.2 ANALYSE DES ELEMENTS NUTRITIFS FOLIAIRES	47
3.3.3 ANALYSE DES LITTERBAG	47
3.3.4 ANALYSE DE L'INDICE DES APEX	47
4. RESULTATS ET DISCUSSIONS	49
4.1 EFFET DE L'APPLICATION DE LFF SUR LA CHARGE MICROBIENNE ET LA VITALITE BIOLOGIQUE DES SOLS :	49
4.2 EFFET DE L'APPLICATION DE LFF SUR L'INDICE APEX	53
4.3 EFFET DE LA LFF SUR LITTERBAG	57
4.4 EFFET DE LA LFF SUR LES ELEMENTS NUTRITIFS FOLIAIRES.	61
5. PERSPECTIVES	65
CONCLUSION	67
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	69
ANNEXES	71

Avant-propos

Ce mémoire de fin d'étude conclut une année d'alternance au sein du Château Sainte Roseline dans le cadre de ma deuxième année de Master Sciences de la Vigne et du Vin, dispensé par le pôle vigne et vin de l'Institut Agro Montpellier.

Glossaire

Litière forestière fermentée (LFF) : Litière forestière fermentée utilisée comme biostimulant du sol pour améliorer l'activité microbienne.

Charge microbienne : Biomasse microbienne, souvent mesurée en microgrammes d'ADN par gramme de matière sèche, indiquant la quantité de microorganismes vivants dans le sol.

Vitalité biologique : Vitalité biologique, généralement mesurée en nanogrammes d'ATP par gramme de matière sèche, représentant l'activité métabolique des microorganismes du sol.

Indice des apex : Un indicateur de l'état hydrique des plantes mesuré à l'apex (extrémité) des pousses des plantes.

Biostimulant : Substances ou microorganismes appliqués aux plantes ou aux sols pour améliorer la croissance, la santé et la résilience des plantes, sans être considérés comme des engrais.

ANOVA (Analyse de Variance) : Un test statistique utilisé pour comparer les moyennes entre différents groupes afin de déterminer s'il existe des différences statistiquement significatives.

ATP (Adénosine Triphosphate) : Une molécule utilisée dans les cellules comme coenzyme pour le transfert d'énergie dans les processus métaboliques.

Boxplot : Une représentation graphique des données qui montre la distribution d'un ensemble de données basée sur un résumé à cinq chiffres : minimum, premier quartile, médiane, troisième quartile et maximum.

Biomasse microbienne : La masse totale des microorganismes dans une quantité donnée de sol.

État hydrique : L'état hydrique d'une plante, reflétant son niveau d'hydratation et sa capacité à résister à la sécheresse.

Parcelle viticole : Un terrain désigné pour la culture de la vigne.

Modalité : Condition de traitement dans une expérience, souvent en contraste entre "témoin" et "traité".

Humidité des sols : Niveau d'humidité du sol, un facteur important pour la vie microbienne et la croissance des plantes.

Minéralisation : Le processus par lequel la matière organique est décomposée par des microorganismes en composés inorganiques tels que des ions nutritifs.

Rétention d'eau : La capacité du sol à retenir l'eau, cruciale pour la croissance des plantes et le maintien de la structure du sol.

Sigles et acronymes

ANOVA: Analysis of Variance

AOP: Appellation d'Origine Protégée

ATP: Adenosine Triphosphate

CEC : Capacité d'Echange Cationique

DW: Durbin-Watson

FAO : L'Organisation pour l'alimentation et l'Agriculture

HVE : Haute Valeur Environnementale

ICP OES : Spectroscopie d'émission optique à plasma à couplage inductif

INAO: Institut National de l'Origine et de la Qualité

ISMO : Indice de Stabilité des Matières Organiques

ISO : Organisation internationale de normalisation

LFF: Litière Forestière Fermentée

MO: Matière Organique

MS : Matière Sèche

SAU: Surface Agricole Utile

SR: Sainte Roseline

T0: Temps 0

VDQS: Vin Délimité de Qualité Supérieure

Liste des figures

Figure 1 : Carte du vignoble provençal (Bacchus Conseil).....	18
Figure 2 : Intervention des microorganismes dans les cycles de dégradation des matières organiques (Pellerin et al., 2021)	20
Figure 3 : Cartographie des principales terminologies identifiées pour les produits de stimulation des plantes (FAESSEL et al., 2014). Cibles identifiées : plantes (vert), sol (brun) et MFSC (bleu) 1 : (RMT Elicitra, 2013), 2 : (Fardeau & Jonis, 2003), 3 : (EBIC, 2014), 4 (MAAF, 2012), 5 : (Arcadia, 2014).....	24
Figure 4 : Part de marché des Biostimulants (EU, 2021 - Marketsandmarkets).....	24
Figure 5 : Vue aérienne des deux parcelles choisies pour l'expérimentation	38
Figure 6 : Pluviométrie et température des parcelles SR2 et SR12 sur la saison 2024	38
Figure 7 : Fabrication de la LFF : ajout de son de blé à la litière forestière	40
Figure 8 : chargement du pulvérisateur calvet de LFF liquide.....	40
Figure 9 : litterbag déterré après 4 mois.	42
Figure 10 : comment déterminer l'état de croissance de l'apex (source : institut rhodanien)	44
Figure 11 : Boxplot des résultats de l'ANOVA sur les variables Charge Microbienne et Vitalité Biologique.....	52
Figure 12 : Boxplot de l'indice des Apex par parcelle et par modalité	56
Figure 13 : Courbe d'évolution de l'indice Apex en fonction du temps, par parcelle et par modalité..	56
Figure 14 : Boxplot des deltas de masse des litterbags par parcelles et par modalité	58
Figure 15 : Moyenne des litterbag par modalité et par parcelle avec écart-type	60
Figure 16 : Boxplots des quantités d'éléments nutritifs présents dans l'analyse foliaire par parcelle et par modalité	62
Figure 17 : Boxplots des quantités d'éléments nutritifs présents dans l'analyse foliaire par parcelle et par modalité	64

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des AOP provençales.....	18
Tableau 2 : Liste synthétique des principales origines des produits de biostimulation (NASSR, 2016)	26
Tableau 3 : tableau récapitulatif des variables étudiées	46
Tableau 4 : Résultats statistiques des variables Vitalité Biologique et Charge Microbienne	50
Tableau 5 : Résultats statistiques du modèle linéaire mixte sur l'indice Apex.....	54
Tableau 6 : Résultats statistiques de l'ANOVA sur la dégradation des litterbags	58
Tableau 7 : Résultats statistiques de l'ANOVA sur les analyses foliaires de la parcelle 2	71
Tableau 8 : Résultats statistiques de l'ANOVA sur les analyses foliaires de la parcelle 12	72

Introduction

Les sols agricoles constituent un patrimoine précieux, étant à la base de la production de près de 95 % de l'alimentation mondiale (FAO, 2015). Ils fournissent également de nombreux services écosystémiques, notamment la régulation, la filtration et l'épuration de l'eau, ainsi que la transformation et le recyclage de substances naturelles telles que le carbone, l'azote, le phosphore et le soufre. En outre, les sols jouent un rôle important en tant que puits de carbone, stockant le CO₂ atmosphérique sous forme de matière organique végétale. Malgré leur importance cruciale, les sols sont une ressource très peu renouvelable. En climat tempéré, le taux moyen de création des sols est de seulement 0,1 à 1 tonne par hectare et par an, soit l'équivalent d'un millimètre à un centimètre tous les 100 ans (INRAE, 2023).

Depuis la révolution agricole du XXe siècle, marquée par l'essor de la mécanisation, de la motorisation et de l'utilisation d'engrais synthétiques et de produits phytosanitaires, les sols ont souvent été considérés comme de simples « substrats » ou « supports » de culture. Cette vision simpliste a contribué à l'émergence de nombreuses problématiques de dégradation des sols, telles que l'érosion hydrique et éolienne, la salinisation et l'artificialisation. La communauté internationale a pris conscience de la nécessité de protéger les sols au début des années 2010. En 2012, la FAO a créé un groupe technique intergouvernemental, et en 2015, lors de l'Année internationale des sols, un rapport a révélé qu'un tiers des terres à l'échelle mondiale étaient modérément ou fortement dégradées (FAO & ITPS, 2015).

En France, des rapports du ministère de l'Écologie (État de l'environnement en France, 2014) et du Groupement d'intérêt scientifique Sol (Rapport sur l'état des sols en France, 2011) ont mis en lumière la menace pesant sur les sols français, notamment l'érosion qui affecte environ 20 % des sols métropolitains, entraînant une perte irréversible. Pour y remédier, le Conseil général de l'environnement et du développement durable ainsi que le Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux ont formulé en 2015 des propositions pour l'élaboration d'une stratégie nationale de gestion durable des sols.

La conversion de certaines cultures spécialisées, comme la vigne, en agriculture biologique a révélé des dysfonctionnements liés à l'introduction d'engrais organiques, souvent masqués par l'utilisation d'engrais de synthèse. Des sols appauvris en matière organique et en vie biologique se sont ainsi révélés incapables de décomposer la matière organique correctement, ce qui a engendré des problèmes de fertilité. Lorsque le fonctionnement naturel des sols est perturbé, il devient nécessaire de recourir à différents leviers agronomiques pour rétablir leur santé. Ce rapport de stage se concentre sur l'un de ces leviers : la production de litière forestière fermentée, utilisée comme biostimulant des sols.

1. Etat de l'art

1.1 Contexte du vignoble provençal

1.1.1 Historique :

Le vignoble provençal correspond à une aire géographique allant du Rhône à l'ouest jusqu'aux contreforts préalpins à l'est ; et de la méditerranée au sud jusqu'à la Durance au nord. Figure 1.

Il peut être considéré comme le plus ancien foyer viticole de France, ses premières traces remontant à plus de 2600 ans lorsque les Grecs introduisirent la culture de la vigne dans la région. Profitant d'un climat méditerranéen propice à sa culture. (Durand, 2018). Dès l'époque romaine, les vignobles connurent une expansion significative notamment grâce aux innovations agricoles et au développement des réseaux commerciaux. (Charters, 2006)

La crise du Phylloxera au XIXe siècle entraîna un profond changement de l'encépagement de Provence. Il fallut attendre l'avènement des VDQS en 1950/1975 pour marquer le début des politiques qualitatives à l'échelle de la région. Aujourd'hui la Provence est caractérisée par une diversité de l'encépagement et une production qualitative et axée sur le rosé. Pour ce faire Le vignoble profite de trois AOP : Coteaux d'Aix en Provence, Coteaux Varois en Provence, et Côtes de Provence. Cette dernière AOP disposant de 5 dénominations géographiques complémentaires.

1.1.2 Terroirs

Les terroirs viticoles de Provence présentent une grande hétérogénéité géologique. Les sous-sols sont dominés par des formations calcaires et cristallines, comme dans les massifs des Alpilles et du Luberon, où les sols argilo-calcaires résultent d'une accumulation de dépôts calcaires. En revanche, les massifs des Maures et de l'Esterel se caractérisent par des sous-sols cristallins composés de schistes et de granites.

Le climat méditerranéen est marqué par un fort ensoleillement d'environ 2800 heures par an et une pluviométrie relativement faible (600 à 800 mm/an) mais inégalement répartie dans l'année avec de forts épisodes orageux. Enfin le mistral est un vent sec et froid qui provient du nord, ayant pour action d'assécher et de dégager le ciel.

1.1.3 Types de production

Au-delà de la viticulture, la Provence est une région agricole à forte valeur ajoutée. L'oléiculture y est traditionnellement implantée, avec une production importante dans le Var et les Alpes-de-Haute-Provence. Les huiles d'olive de Provence bénéficient d'ailleurs d'une appellation d'origine protégée (AOP).

Les plateaux de Haute-Provence, au sud du lac de Sainte-Croix, sont réputés pour la culture de la lavande et du lavandin, utilisés principalement pour la production d'huile essentielle. D'autres plantes à parfum, aromatiques et médicinales (PPAM) y sont également cultivées, comme le thym, le romarin, le basilic ou encore la menthe.

Enfin, l'arboriculture fruitière est bien implantée, notamment dans la vallée du Rhône et dans les Alpes-de-Haute-Provence, où l'on trouve des vergers d'amandiers, d'abricotiers, de cerisiers et de pêchers.

PARTIE I : ETAT DE L'ART

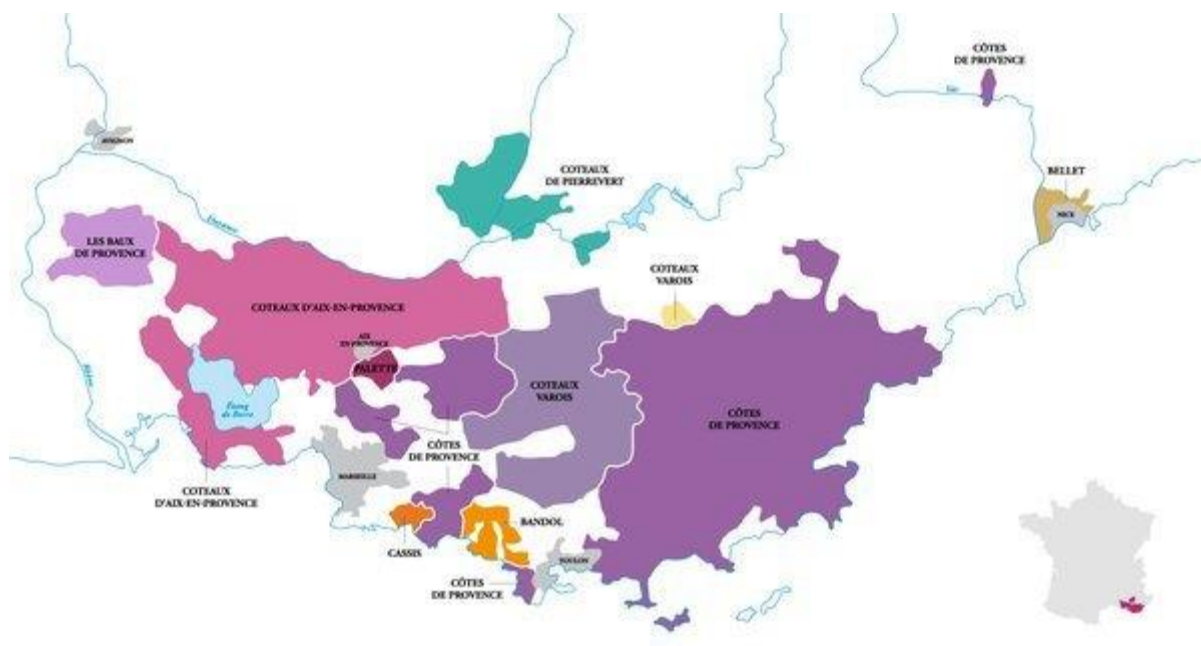


Figure 1 : Carte du vignoble provençal (Bacchus Conseil)

	AOP Côtes de Provence	AOP Coteaux varois en Provence	AOP Coteaux d'Aix en Provence
Superficie (ha)	20 300	3000	4 400
Part du bio + HVE	47%	76%	77%
Production (hl)	868 000	136 000	241 000
Rendement maximal autorisé (hl/ha)	55	55	60
Date de reconnaissance AOP	1977	1993	1985
Répartition de la production (% rosé, rouge, blanc)	92 / 4 / 4	93 / 4 / 3	86 / 8 / 6

Tableau 1 : Caractéristiques des AOP provençales

1.2 La vie microbiologique des sols

Le fonctionnement biologique des sols repose sur trois piliers essentiels : l'abondance, l'activité et la diversité des organismes présents (Gaviglio, 2022). Si la diversité taxonomique et génétique des sols reste un champ de recherche vaste et complexe, il est difficile d'en établir une classification exhaustive. Cependant, l'analyse de la diversité fonctionnelle des microorganismes, qui se concentre sur les rôles et interactions de ces organismes au sein du sol, permet une meilleure compréhension de leur contribution aux processus écologiques et à la santé globale des sols. Cela facilite l'étude de leurs interactions avec les autres composants du sol et de leur influence sur sa dynamique biologique.

En effet, ces microorganismes sont impliqués dans une multitude d'activités d'intérêts agronomiques (Waid, 1984) comme la décomposition des résidus végétaux, la formation et décomposition de la biomasse microbienne et animale, minéralisation de composés contenant de l'azote du soufre et du phosphore. Mais aussi la nitrification et dénitrification, ou encore la synthèse et destruction de composés humique. Ils sont le lien entre les molécules de carbones organiques et les ions nutritifs utilisés par les plantes.

Les bactéries sont de petites cellules d'une taille proche du micromètre, peuvent constituer une biomasse significative dans le sol, estimée à environ 500 µg/g, avec près de 10⁹ germes vivants. En termes de diversité fonctionnelle, certaines bactéries sont photosynthétiques, possédant une activité similaire à celle des chloroplastes des algues et des plantes. D'autres ont la capacité de fixer l'azote atmosphérique et vivent en symbiose avec les plantes ou les champignons. Les effets de la microflore sur les propriétés physico-chimiques du sol sont majoritairement dus aux fonctions des bactéries (Gobat, 2010). Par exemple, l'anoxie dans les sols hydromorphes peut résulter de la respiration bactérienne, ou encore la "faim d'azote", qui survient lors d'un apport excessif de substrats carbonés. Parmi leurs fonctions les plus importantes, on trouve la minéralisation de la matière organique, l'oxydation de composés inorganiques réduits, la réduction anaérobie de composés oxydés, ainsi que la solubilisation, précipitation des minéraux, et la transformation de composants organiques en humine.

Les champignons sont des eucaryotes hétérotrophes et aérobies. Parmi eux, les macromycètes, comme les bolets ou les amanites, sont les plus connus car visibles sous forme de carpophores. Cependant, ils ne sont pas les champignons les plus répandus dans le sol, qui seraient plutôt les moisissures, les ascomycètes microscopiques et les levures. La majorité des champignons du sol possèdent un appareil végétatif constitué de filaments ramifiés, appelés hyphes, qui forment le mycélium. Les mycorhizes illustrent une association symbiotique entre un champignon et les racines d'une plante, le mycélium aidant à satisfaire les besoins nutritionnels de cette dernière. De plus, les mycéliums renforcent la cohésion des particules dans les couches superficielles du sol. Certains champignons sont spécialisés dans la dégradation de polysaccharides végétaux ou de lignine, contribuant ainsi à la décomposition de la litière et à sa transformation en humus. Ce processus repose principalement sur l'action des champignons saprophytes, qui décomposent la lignine et la cellulose des débris végétaux.

PARTIE I : ETAT DE L'ART

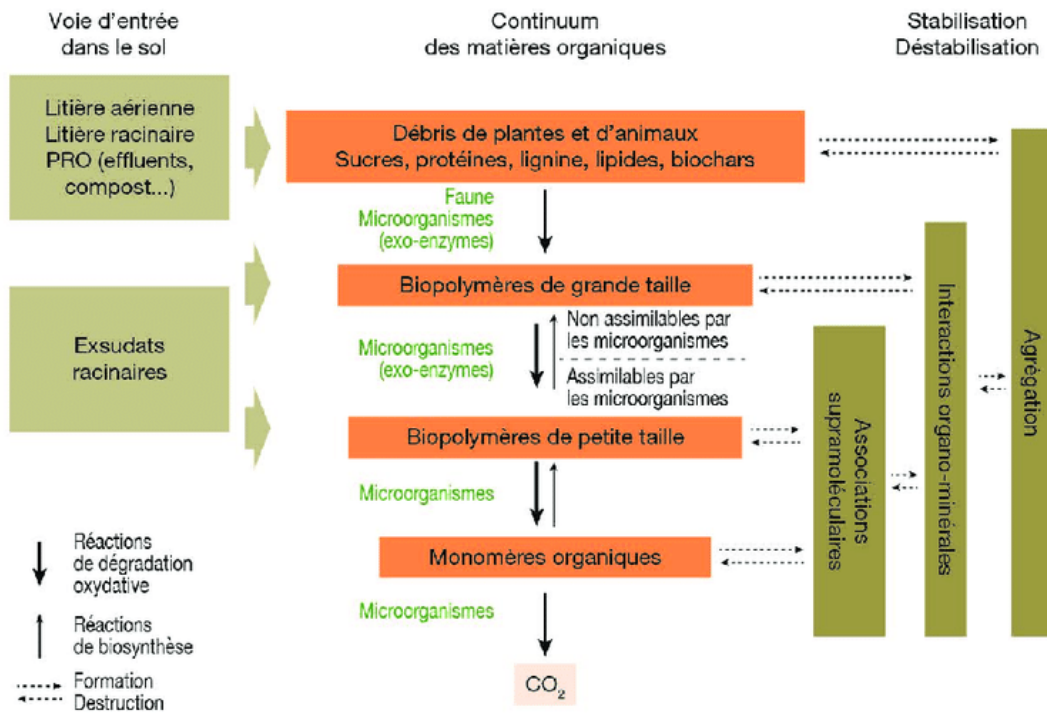


Figure 2 : Intervention des microorganismes dans les cycles de dégradation des matières organiques (Pellerin et al., 2021)

Les MO entrant dans le sol (partie gauche de la figure) sont continuellement dégradées par la communauté de décomposeurs, depuis les débris de plantes et d'animaux jusqu'aux plus petites molécules (partie centrale). Dans le même temps, l'oxydation croissante des MO produit des composés plus solubles et plus réactifs, qui se lient avec d'autres MO et avec les surfaces minérales (partie droite). Les flèches pleines représentent les processus biotiques, les flèches en pointillés des processus abiotiques.

Les algues microscopiques, qu'elles soient unicellulaires ou organisées en colonies filamenteuses, sont souvent présentes en abondance dans les sols, bien qu'elles se concentrent principalement à la surface. Trois grands groupes d'algues sont majoritairement représentés : les algues vertes, les algues jaune-vertes et les diatomées. Leur biomasse dans les sols varie considérablement, en fonction des conditions locales, pouvant atteindre entre 10 et 1 000 kg de matière sèche par hectare (Hoffmann, 1989). Ces algues jouent un rôle essentiel dans la fixation du carbone, la production d'oxygène et la stabilisation des agrégats du sol, favorisant ainsi sa structure.

La faune du sol joue un rôle clé dans la régulation des processus biologiques et physico-chimiques. Parmi les organismes microscopiques, on trouve les flagellés (mastigophores), les amibes (rhizopodes) et les ciliés, ainsi que des vers comme les plathelminthes et les nématodes. À des tailles plus importantes, les annélides (comme les vers de terre), les mollusques et les arthropodes contribuent à la fragmentation de la matière organique, facilitant sa décomposition et la libération des nutriments essentiels pour la fertilité du sol (Lavelle & Spain, 2001).

La diversité microbienne est considérable dans les sols et la plupart des travaux montrent une absence de relation entre la diversité microbienne dans les sols et la vitesse de minéralisation des Mo (Griffiths et al, 2000) (Wertz et al 2006) (Juary et al 2013). Ce que l'on explique par la grande redondance fonctionnelle des microorganismes.

Les principaux facteurs environnementaux affectant l'activité des microorganismes décomposeurs des MO sont la température, la disponibilité de l'eau et de l'air, le pH, lesquels dépendent non seulement du climat à l'échelle régionale mais également du type de sol, du mode d'occupation et des pratiques culturales (Lavelle et Spain, 2001, Calvet et al 2011).

1.3 Les biostimulants

1.3.1 Historique et contexte réglementaire

Le terme "biostimulants" est apparu au début des années 1990 (Yakhin et al., 2017). Et a longtemps servi de terme générique pour désigner les produits de biostimulation tels que biofertilisant, inducteur de résistance, stimulateur de défenses naturelles, stimulateur de croissance, et activateur de sol.

Les biostimulants bénéficient d'une définition officielle depuis 2019 lorsque a été publié au journal officiel de l'union européenne le règlement UE 2019/1009, règlement harmonisé de toutes les matières fertilisantes et support de culture (MFSC).

« Un biostimulant des végétaux est un produit qui stimule les processus de nutrition des végétaux indépendamment des éléments nutritifs qu'il contient, dans le seul but d'améliorer une ou plusieurs des caractéristiques suivantes des végétaux ou de leur rhizosphère : l'efficacité d'utilisation des éléments nutritifs, la tolérance au stress abiotique, les caractéristiques qualitatives, la disponibilité des éléments nutritifs confinés dans le sol ou la rhizosphère. »

Ainsi nous pouvons retrouver sous la dénomination de biostimulants des microorganismes comme des champignons ou des bactéries, des extraits végétaux comme des acides aminés, des extraits d'algues ou bien des extraits minéraux comme les acides humiques.

1.3.2 Mode d'action

En fonction des biostimulants, différents modes d'action sont utilisés :

- L'amélioration de l'absorption ou la biodisponibilité des nutriments naturellement présents dans le sol ou apportés par les engrais. Pour cela différents mécanismes sont utilisés comme la chélation, la solubilisation ou encore la stimulation de la nitratre réductase. Certains biostimulants exploitent également la capacité de certaines bactéries à fixer l'azote atmosphérique. D'autres encore permettent une meilleure efficacité du système racinaire en ayant recours à des champignons micorhyziens ou à des acides aminés stimulateur de croissance racinaire.
- L'augmentation de la tolérance et la résilience face aux stress abiotiques comme la sécheresse, les excès de chaleur, les excès d'eau ou la salinité de sols. La stimulation des mécanismes antioxydants et à la présence d'osmo-protecteurs comme la glycine bêtaïne.
- L'amélioration de l'activité microbienne et des propriétés physico-chimiques des sols favorisant une dégradation plus efficace des composés organiques

PARTIE I : ETAT DE L'ART

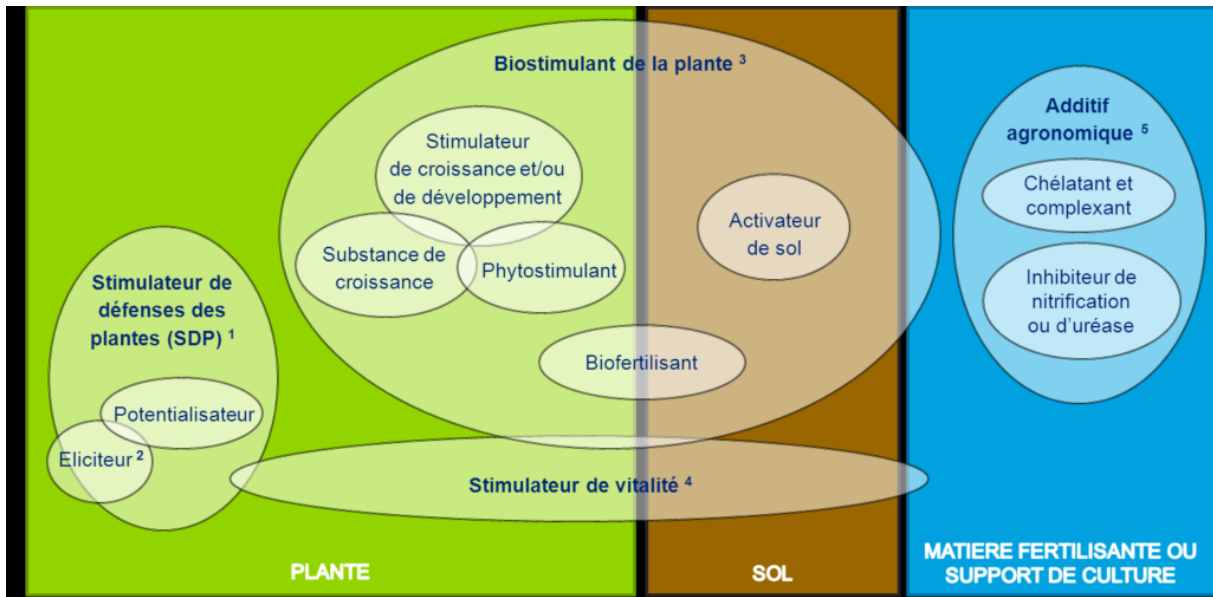


Figure 3 : Cartographie des principales terminologies identifiées pour les produits de stimulation des plantes (FAESSEL et al., 2014). Cibles identifiées : plantes (vert), sol (brun) et MFSC (bleu)

1 : (RMT Elicitra, 2013), 2 : (Fardeau & Jonis, 2003), 3 : (EBIC, 2014), 4 (MAAF, 2012), 5 : (Arcadia, 2014).

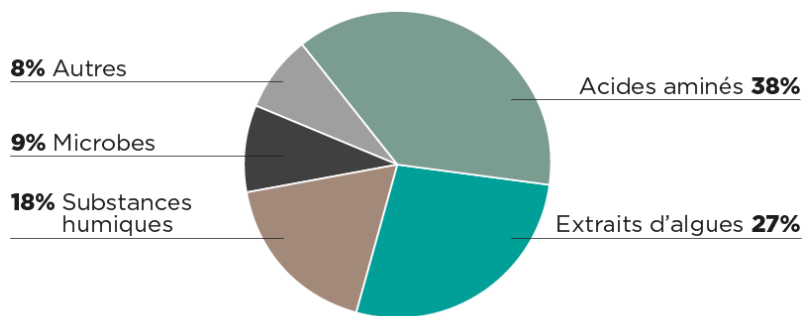


Figure 4 : Part de marché des Biostimulants (EU, 2021 - Marketsandmarkets)

1.3.3 Produits disponibles sur le marché

Les biostimulants peuvent se classer en trois catégories selon leurs origines : les biostimulants organiques, microbiens et inorganique. Ils peuvent s'utiliser seuls ou combinés à des engrais ou des produits phytosanitaires. Par pulvérisation sur les plantes ou sur le sol, ou en enrobage de semences.

La plupart du temps les biostimulants vendus sur le marché sont un mélange de biostimulants et de substances nutritives.

ORIGINE / CATEGORIES	PRODUITS DE BIOSTIMULATION	EXEMPLE
Substances issues du vivant	Bactéries	<i>Bacillus amyloliquifaciens</i> <i>Bacillus subtilis</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i> PGPR <i>Azotobacter sp.</i> <i>Rhizobium sp.</i> <i>Bradyrhizobium sp.</i> <i>Azospirillum</i> PGPF
	Champignons	<i>Glomus sp.</i> <i>Trichoderma sp.</i> <i>Trichoderma harzianum</i>
	Levures	
	Extraits purifiés de plantes	<i>Oligosaccharides</i> <i>Heptamaloxyloglucane</i> <i>Monosaccharide</i> <i>Protéines purifiées</i> <i>Acides aminés purifiés</i> <i>Glycine bêtaïne</i> <i>Lignosulfonate</i>
	Extraits d'algues	<i>Ecklonia maxima</i> <i>Ascophyllum nodosum</i> <i>Lithothamnium calcareum</i> <i>Macrocystis pyrifera</i> <i>Ulva lactuca</i> <i>Sargassum plagiophyllum</i> <i>Dictyota dichotama</i> <i>Laminaria sp.</i> <i>Fucus sp.</i>
Substances de synthèse d'origine non xénobiotique ¹	Phytohormones (hormones végétales)	<i>Auxine</i> <i>Cytokinine</i> <i>Brassinostéroïdes</i> <i>Acide abscissique</i>
	Vitamines	<i>Acide folique (vit. B9)</i>
	Antioxydants	<i>Tocophérol</i>
Substance de synthèse d'origine xénobiotique	Analogues fonctionnels de l'acide salicylique, autres...	<i>ATCA (Acetyl-Thiazolidine-4Carboxylic-Acid)</i> <i>Nitrophénolate</i>
Substances organo-minérales ou extraites de minéraux	Substances humiques (extraites de léonardite)	<i>Acide humique</i> <i>Acide fulvique</i>
	Poudre de roche	<i>Silicate</i>

Tableau 2 : Liste synthétique des principales origines des produits de biostimulation (NASSR, 2016)

1.4 La litière forestière fermentée

1.4.1 Définition et origine

La litière forestière fermentée (LFF) est un biostimulant microbien obtenu par la fermentation contrôlée de la matière organique forestière comprenant des feuilles, des débris végétaux et du bois en décomposition. Elle se caractérise par une forte concentration en microorganismes bénéfiques au cycle de dégradation de la matière organique comme des bactéries, des champignons et actinomycètes, qui accélèrent la décomposition et stimule les processus biologiques du sol (Calvo et al., 2014). Cette pratique agroécologique est un levier agronomique permettant d'améliorer la fertilité des sols en augmentant la disponibilité des nutriments pour les plantes, en favorisant la structure du sol et la rétention d'eau ainsi qu'en participant à la diversité et à l'abondance microbienne.

L'origine de la LFF remonte aux pratiques agricoles traditionnelles observées dans plusieurs pays, notamment le Japon et du Bokashi : une utilisation de micro-organismes indigènes pour la fermentation de la matière organique. Cette pratique ancêtre dans l'agriculture naturelle développée par Masanobu Fukuoka, a été largement adoptée dans les systèmes agricoles asiatiques pour enrichir les sols de manière écologiques et durable (Parr & Hornick, 1992). Au fil des décennies, ces techniques ont été adapté tout en progressant sur les continents sud asiatique et sud-américain puis appliquées à l'agriculture moderne, avec un intérêt croissant pour l'utilisation de micro-organismes comme biostimulants pour promouvoir la santé des sols et la productivité des cultures (Du Jardin, 2015)..

1.4.2 Mode d'action

L'un des principaux mécanismes d'action de la LFF repose sur la stimulation de l'activité biologique du sol via une « inoculation » en microorganismes décomposeurs de MO. Ceux-ci accélèrent la minéralisation des composés organiques et libèrent des éléments nutritifs sous des formes assimilables par les plantes c'est-à-dire ioniques. (Barea et al., 2005). Des actions supplémentaires sur la solubilisation des nutriments bloqués tels que le phosphate les rendent plus disponibles pour les plantes (Rodriguez & Fraga, 1996).

Les interactions entre les microorganismes de la LFF et les racines des plantes améliorent également l'absorption racinaire des nutriments et de l'eau en formant des symbioses avec les champignons mycorhiziens (smith & Read, 2008). Enfin, en améliorant le structure du sol, le LFF favorise une meilleure aération des sols ainsi qu'une meilleure rétention d'eau, afin de conserver un environnement plus propice à la croissance racinaire et à l'activité microbienne (Lal, 2004).

1.4.3 Littérature scientifique

L'efficacité de la LFF en tant que biostimulant microbien a été étudié et son efficacité sur l'amélioration de la productivité des cultures et la santé des sols a pu être démontré. Calvo et al. (2014) ont observé que l'utilisation de la LFF augmentait la biomasse végétale de 20% en facilitant l'absorption de nutriments essentiels comme le phosphore et l'azote. Du Jardin (2015) a quant à lui étudié la stimulation de la croissance racinaire par l'application de LFF ce qui réduit la dépendance aux engrais chimiques et améliore la tolérance des plantes faces aux stress abiotiques. Li et al. (2020) ont également observé une augmentation de 15% à 30% de la diversité microbienne dans les sols dégradés grâce aux applications de LFF. Ces résultats montrent que l'application de la LFF permettrait d'améliorer les rendements agricoles, mais aussi de restaurer les sols en favorisant la biodiversité microbienne et en stabilisant les cycles biogéochimiques.

Par ailleurs, l'étude de Xu et al. (2000) a révélé une augmentation de 20 % du rendement des cultures de riz après l'application de solutions à base de micro-organismes efficaces (EM). La théorie des micro-organismes efficaces provient du Japon, il s'agit d'une solution contenant des levures, des bactéries lactiques ainsi que des champignons. Dans le cadre de la LFF, cette approche repose sur l'utilisation de micro-organismes indigènes du sol forestier, renforçant ainsi la capacité du sol à maintenir un équilibre biologique sain. Zhang et al. (2017) ont montré que la LFF, inspirée des principes de la théorie EM, améliore la biodisponibilité des nutriments, réduit les pathogènes et régénère les sols dégradés. En favorisant la formation d'humus stable, la LFF améliore également la rétention des nutriments et de l'eau dans le sol, tout en contribuant à une plus grande biodiversité microbienne (Li et al., 2020).

1.4.4 Produits disponibles sur le marché

Plusieurs produits commerciaux exploitent la LFF, parmi les plus connus se trouvent le Bokashi, l'EM-1 et le Biolit. Le Bokashi est obtenu par fermentation anaérobie de matières organiques et de microorganismes et est utilisé pour enrichir les sols en nutriments et biomasse microbienne bénéfique. Des études ont révélé qu'il améliore la qualité des sols, entraînant une augmentation des rendements des cultures allant de 10 à 20 % (Yamada & Xu, 2000). L'EM-1, développé selon les principes de la théorie des micro-organismes efficaces (EM), renferme un mélange de bactéries lactiques, de levures et d'actinomycètes, et est utilisé pour revitaliser les sols appauvris. Selon Higa et Wididana (1991), l'application d'EM-1 se traduit par une augmentation de 15 % de la biomasse microbienne dans les sols traités. Le Bio-Lit, associe litière fermentée et extraits microbiens spécifiques, avec des essais montrant une amélioration de 12 % de la teneur en matière organique dans les sols agricoles (Calvo et al., 2014).

Rézomes, une entreprise française propose une gamme de produit issu de LFF ayant différentes propriétés : Humiform est un produit stimulant l'activité biologique et l'humification, le Bokaferm est une LFF concentrée et permet d'assainir les élevages et valoriser leur effluent. Le RhizoFerm est un enrobage de semence à la LFF et améliore la levée en conditions difficiles et stimule le développement racinaire. Enfin le Biochar inoculé à la LFF promet une amélioration de la rétention en eau du sol et de la CEC.

2. Démarche scientifique

2.1 Contextualisation

Le château Sainte Roseline, Cru classé de Provence depuis 1955, est un domaine viticole de renom situé au nord du golfe de Saint-Tropez. Il s'étend sur 110 ha de vignes dans l'aire d'appellation Côtes de Provence, réputée pour ses vins de qualité. Outre la production de vin, le domaine possède une centaine d'oliviers permettant la fabrication d'une huile d'olive vendue dans le caveau de vente.

En 2019 le domaine a amorcé sa transition vers l'agriculture biologique. Ce changement de pratiques est un engagement fort dans la préservation des écosystèmes et la durabilité de sa production viticole. La certification en 2023 des premiers millésimes couronne 3 années d'efforts au vignoble et en cave pour adapter les pratiques culturales, éliminer les produits chimiques de synthèse et introduire des amendements et fertilisants organiques. Cette transition a aussi nécessité un changement des méthodes de travail avec une gestion plus stricte du travail du sol, nécessitant de recruter un tractoriste supplémentaire et d'investir financièrement pour l'achat de nouveaux matériels.

Avant de commencer la transition vers l'agriculture biologique, le Château Sainte Roseline avait pris l'initiative d'obtenir le label « Vigneron engagés ». Ce label délivré par une association nationale atteste de l'engagement du domaine dans une démarche de responsabilité sociale, environnementale et économique. Il valorise les bonnes pratiques mises en place pour réduire l'impact environnemental tout en respectant des critères stricts de gestion des ressources, de biodiversité et de bien être des équipes.

Ces labels témoignent de l'engagement du domaine dans des pratiques viticoles durables ainsi que dans sa contribution à des projets sociaux et solidaires.

2.2 Problématique

Le Château Sainte Roseline, comme d'autres domaines de sud de la France, est confronté à des épisodes climatiques de plus en plus intense. Des périodes prolongées de sécheresse estivale suivies par des pluies excessives lors d'orages violents en fin d'été impactent les rendements. Depuis la conversion à l'agriculture biologique en 2019, le domaine utilise exclusivement des engrais organiques dont les caractéristiques telles que l'indice de stabilité de la matière organique (ISMO) et le rapport carbone/azote (C/N), nécessitent un équilibre optimal de fonctionnement biologique des sols pour être pleinement valorisée et ainsi assurer une nutrition adéquate des vignes.

Face à ces enjeux, le domaine a souhaité renforcer certaines pratiques agroécologiques dans le but d'améliorer la gestion du cycle de la matière organique. En plus de la mise en place d'aire de compostage pour valoriser ses déchets verts et ses marcs de raisin, le responsable des vignobles a voulu explorer l'usage de la LFF dans le fonctionnement de ses sols. Ces pratiques visent à optimiser l'apport de matières organiques qui représentent un cout financier important, et ainsi tendre vers une fertilisation plus efficace et durable des vignes dans le contexte d'agriculture biologique. Avant de généraliser cette pratique à l'ensemble de ses parcelles, ce qui aurait nécessité un engagement important en temps de fabrication de LFF et en épandage, il a été décidé avec la direction de l'entreprise de mettre en place une expérimentation sur plusieurs années pour évaluer concrètement l'impact de ses pratiques.

2.3 Hypothèses émises

Pour ce mémoire, plusieurs hypothèses sont émises en lien avec l'impact éventuel de la LFF sur les sols viticoles. La première hypothèse repose sur le lien étroit entre la vie microbologique des sols et les cycles biogéochimiques. En effet d'après les recherches bibliographiques, l'application de LFF entraîne une augmentation significative de la quantité et de l'activité de la biomasse microbienne du sol. Cela pourrait engendrer une stimulation de la minéralisation de la matière organique favorisant donc une meilleure biodisponibilité des ions essentiels tels que l'azote ou le phosphore pour la vigne.

La seconde hypothèse concerne l'impact de cette pratique sur la rétention d'eau dans le sol. L'inoculation de champignons est susceptible d'améliorer les propriétés structurales du sol en formant des agrégats plus stables grâce à leur mycélium et en favorisant la présence de matière organique humifiée, apte à former des complexes argilo-humiques. Cette amélioration de la structure du sol doit amener à une meilleure rétention de l'eau et une distribution plus efficace des nutriments dans les profils du sol.

2.4 Objectifs

L'objectif de cette expérimentation menée par le château Sainte Roseline est de valider les hypothèses formulées précédemment sur l'impact de la LFF sur la vie microbologique des sols et les cycles biogéochimiques. Pour ce faire un protocole expérimental a été mis en place destiné à fournir des résultats à analyser sur des échelles de temps courtes à longues. En effet, la réponse des sols est une variable à la cinétique lente et peut prendre plusieurs années à s'observer.

L'analyse statistiques des premiers résultats recueillis permettra peut-être de valider ou non nos hypothèses, mais servira également de base à la suite de l'expérimentation sur les années suivantes.

À court terme, les premiers résultats attendus porteront principalement sur les changements mesurables dans la composition microbologique des sols, ainsi que sur les indicateurs de fertilité tels que la disponibilité en ions et la capacité de rétention en eau.

A long terme, la répétabilité et la reproductibilité des résultats sur les mêmes parcelles ou sur de nouvelles parcelles incluses dans l'expérimentation nous indiqueront la robustesse et la durabilité des résultats. En effet, les effets bénéfiques de la LFF pourraient se révéler plus marqués à long terme notamment en ce qui concerne la régénération des sols et la résilience des vignes face aux variations climatiques. Cette démarche permettra de mieux comprendre l'impact général de la LFF sur l'écosystème viticole du domaine et d'envisager son intégration durable dans les pratiques culturales.

3. Matériels et méthodes

3.1 Dispositif expérimental

3.1.1 Parcelles étudiées

Nous avons choisi de réaliser cette expérimentation sur deux parcelles selon des critères nous permettant de garantir la validité et la reproductibilité des résultats. Ces critères visaient aussi à réduire les biais expérimentaux et à assurer des conditions de départ pour l'évaluation des effets du traitement. Les principaux critères de choix sont les suivants :

Tout d'abord la proximité géographique avec le domaine. En effet l'ensemble du vignoble de 110 ha n'est pas constitué en un seul îlot et certaines parcelles sont plus éloignées du domaine. Les deux parcelles retenues sont situées à proximité directe du château Sainte Roseline, ce qui nous a permis de réaliser un suivi rigoureux et régulier des différentes variables durant l'expérimentation. Cette proximité facilite également l'intervention rapide en cas de besoin, notamment selon les conditions environnementales ou autres aléas imprévus.

Ensuite le second critère concernait la proximité géographique entre les deux parcelles elles-mêmes. Il était nécessaire de minimiser les variations liées aux caractéristiques pédoclimatiques en réduisant les différences potentielles liées aux types de sols, aux microclimats ou à l'exposition au soleil. Cette proximité contribue à l'homogénéité des conditions expérimentales en limitant l'influence de variables externes non contrôlées.

Enfin l'homogénéité des pratiques culturales pour limiter toute variation liée à la gestion agronomique, les parcelles devaient partager un itinéraire technique similaire tout au long de la saison. Cela concernait la taille, le mode de conduite, les espèces semées en inter rang, les doses et types d'engrais organiques ou amendements appliqués. L'ensemble de ces critères nous permet de s'assurer que les différences observées au cours de l'expérimentation soient exclusivement liées à l'application du traitement testé et non à des différences de gestion culturale.

SR2 : Cette parcelle, plantée en 2016 est composée de Syrah greffée sur Fercal. Conduite en guyot simple puis converti en cordon bilatéral.

SR12 : Cette parcelle, plantée en 2012 est composée de Mourvèdre greffé sur R110. Conduite en cordon bilatéral.



Figure 5 : Vue aérienne des deux parcelles choisies pour l'expérimentation

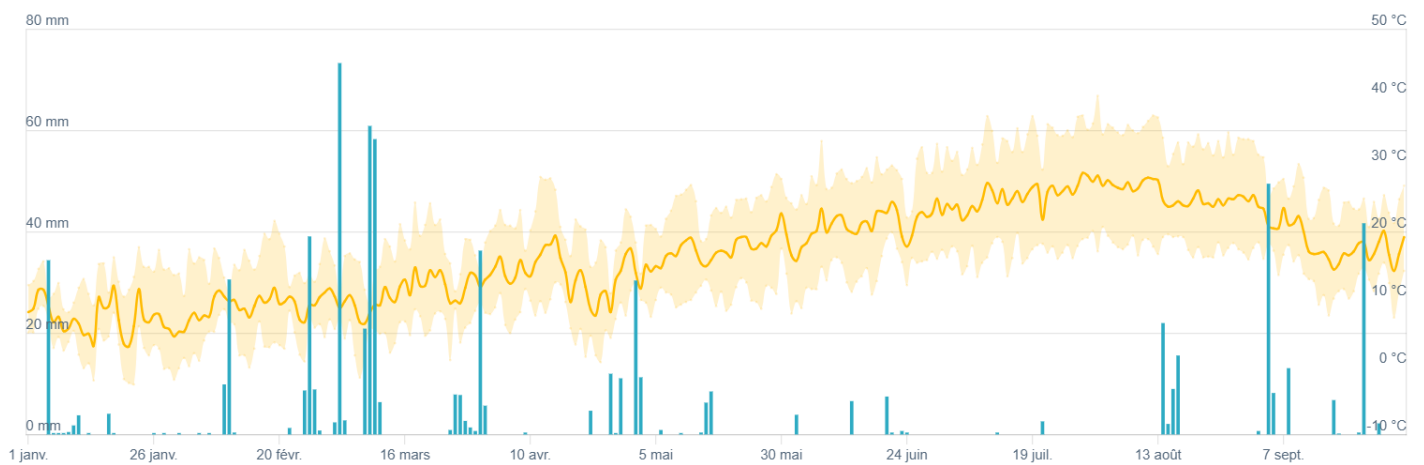


Figure 6 : Pluviométrie et température des parcelles SR2 et SR12 sur la saison 2024

3.1.2 Fabrication de la litière forestière fermentée

La fabrication de la litière se fait en deux étapes :

La première phase de fermentation solide :

Nous avons prélevé de la litière forestière dans un bois adjacent aux parcelles étudiées, afin de travailler avec des micro-organismes adaptés aux types de sols et au climat locaux. La litière forestière représente la phase de matière organique en décomposition, située sous la couche de feuilles récemment tombées et non encore décomposées. C'est dans cette couche que l'on trouve la plus grande concentration de micro-organismes actifs dans la décomposition de la matière, que nous souhaitons donc multiplier.

Pour préparer un bidon de 50 kg de Lifofer, nous commençons par prélever 20 kg de litière forestière, à laquelle nous ajoutons 10 litres de mélasse de canne à sucre biologique, fournissant une source de sucres fermentescibles. Ensuite, 20 kg de son de blé biologique sont incorporés pour apporter de l'amidon et des fibres. Le mélange doit être homogène, légèrement humidifié et tassé pour expulser les poches d'air. La fermentation se déroule en conditions anaérobies, reproduisant ainsi l'environnement de développement des micro-organismes en sous-bois. La température est maintenue autour de 25 degrés Celsius, et la durée de fermentation varie de 3 à 4 semaines. Le bon développement de la fermentation est contrôlé visuellement (présence de mycélium blanc) et olfactivement (odeur de fermentation acide et fruitée).

La deuxième phase de fermentation liquide :

Une fois la préparation solide prête, une deuxième fermentation en phase liquide est réalisée. Cette étape vise à multiplier davantage les micro-organismes et à préparer un substrat pulvérisable. Pour cela, nous utilisons une tonne à eau d'un mètre cube de capacité, dans laquelle nous mélangeons 25 kg de préparation solide, 1000 litres d'eau et 25 kg de mélasse de canne à sucre biologique. Cette seconde fermentation se déroule également à 25 degrés et dure de quelques jours à deux semaines. Comme pour la première phase, la fermentation est réalisée en conditions anaérobies et est contrôlée par l'odeur.

La préparation finale est filtrée à l'aide d'un tamis pour minimiser les débris susceptibles de boucher les buses lors de la pulvérisation. Le liquide obtenu est opaque, légèrement acide et présente une forte odeur aux notes fermentaires.

PARTIE III : MATERIELS ET METHODES



Figure 7 : Fabrication de la LFF : ajout de son de blé à la litière forestière



Figure 8 : chargement du pulvérisateur calvet de LFF liquide

3.1.3 Pulvérisation de la linfofer

La linfofer est pulvérisée à l'aide d'un pulvérisateur Calvet adapté pour proposer quatre buses de sortie dirigées vers le sol, d'une capacité de 600L.

La dose de linfofer adopté dans le cadre de l'expérimentation est de 200L/Ha, pulvérisée à 2 bars de pression maximum sur les tous les rangs de la modalité traitée de la parcelle. La pression est observée en continue lors de la pulvérisation pour ne jamais dépasser le seuil des 2 bars de pressions qui pourrait être dommageable pour l'intégrité physiques des cellules des microorganismes contenu dans la linfofer.

Sur cette saison, 3 applications de linfofer ont eu lieu : en mars au début de la reprise végétative de la vigne, en mai lors de la floraison puis après vendange lors de la phase de mise en réserve de la vigne.

3.2 Mesures réalisées

L'expérimentation mise en place a vocation à être suivie à moyen et long terme étant donné les délais de réponse des variables étudiées. Certaines mesures réalisées constituent donc le « T0 » afin d'avoir un point de départ et de comparaison pour les prochaines années. Certaines mesures du T0 n'ont pas pu être réalisées deux fois lors de cette année d'alternance.

Sur la première année, les indicateurs suivants seront analysés :

3.2.1 Biomasse microbienne et bio activité des sols

La charge microbienne est évaluée par la méthode de l'ADN total et est exprimée en μg d'ADN/g MS. La vitalité biologique des sols est évaluée par la méthode de l'ATPmétrie et est exprimée en ng d'ATP/g MS. Une première analyse de sol a été effectuée lors du mois d'avril pour connaître ces variables avant les applications de LFF et ainsi caractériser notre T0. A l'issue de la saison et des 3 applications de LFF, de nouvelles analyses de sol ont été réalisées au nombre de 3 par modalité soit 12 analyses en tout. Ces variables devraient nous permettre de valider ou non l'hypothèse d'une augmentation de la biomasse microbienne et/ou de la bio activité des sols entre la modalité traitée et la modalité témoin.

3.2.2 Litter bag

En augmentant la biomasse microbienne et la bio activité des sols, nous nous attendons à une décomposition de la matière organique plus rapide. Pour évaluer cette cinétique nous avons fabriqué des litter-bag : des sacs de nylons maille suffisamment serré pour que la matière organique contenue dedans soit accessible aux microorganismes mais pas aux macro-organismes. Tous les sacs contenaient 50g de paille sèche et ont été enterrés sous le rang pour une période de 4 mois de mai à septembre. La variable étudiée est donc le delta entre la masse de paille de départ et celle pesée 4 mois plus tard et est exprimée en gramme.



Figure 9 : litterbag déterré après 4 mois.

3.2.3 Biodisponibilité des éléments nutritifs

Des analyses pétiolaires ont été réalisées après les 3 applications de LFF. 3 analyses pétiolaires par modalité soit 12 analyses au total. Il n'y a pas de T0 concernant cette variable car il aurait fallu comparer des feuilles au même stade phénologique l'année dernière soit avant le début de l'expérimentation. Néanmoins, des différences observées entre la modalité traitement et témoin devrait appuyer l'hypothèse selon laquelle la biodisponibilité des éléments nutritifs est améliorée par l'application de LFF. Les éléments majeurs analysés sont : l'azote total par la méthode de combustion sèche et est exprimée en g/100g. Le phosphore le potassium, le calcium et le magnésium sont mesurés par la méthode ICP OES et sont exprimés en g/100g. Les oligo-éléments suivants : bore, cuivre, zinc, manganèse, fer, sodium, silicium sont mesurés par la méthode ICP OES et sont exprimés en mg/kg.

3.2.4 Etat hydrique de la vigne

Nous avons utilisé la méthode des apex qui est une méthode simple basée sur l'observation de l'extrémité des rameaux ce qui caractérise une dynamique de croissance liée à la contrainte hydrique de la vigne. Réalisées de façon hebdomadaire jusqu'au rognage de la vigne, ces mesures pourront aider à valider l'hypothèse d'une amélioration de la rétention en eau du sol.

Sur une modalité, on observe 150 apex à raison de 5 apex par cep donc 30 ceps. Les ceps atypiques ainsi que les bordures de la modalité ne sont pas observés. Ces apex sont classés en trois catégories : pleine croissance, croissance ralentie et croissance arrêtée. Puis nous calculons l'indice de croissance des apex (IC-apex) qui caractérise la croissance végétative de la vigne, il varie entre 0 et 1 au fil de la saison. Les mesures sont réalisées de façon hebdomadaires de la floraison jusqu'à l'écimage de la vigne.

$$IC - apex = (\% \text{ apex poussant} * 1) + (\% \text{ apex ralentis} * 0.5) + (\% \text{ apex arrêtés} * 0)$$

Pour les prochaines années d'expérimentation, deux analyses de sol complètes (physicochimique et biologique) ont été faites, une pour la parcelle SR2 et l'autre pour la parcelle SR12. Sur ces analyses, les éléments suivants ont été mesurés et seront suivis sur les années suivantes :

3.2.5 Paramètre de la matière organique

La caractérisation de la matière organique sur ces deux parcelles est une donnée essentielle à l'expérimentation car définissant le « réservoir » d'éléments nutritif pour la plante. Cependant, cette variable est plus impactée par les apports d'engrais et d'amendement que par l'inoculation de LFF. Le domaine tend vers un taux d'au moins 2% dans ses parcelles et dispose pour cela d'un plan d'amendement sur les 5 prochaines années. Pour l'instant ce taux est de 1.09% sur SR12 et de 1.17% sur SR2.

Les variables mesurées sont la matière organique par la méthode ISO 10694 et est exprimée en pourcentage. Le carbone total et l'azote total sont mesurés par la méthode ISO 13878 et sont exprimés en g/kg pour le carbone et en mg/kg pour l'azote. Ces variables, rapportées par exemple à des analyses pétiolaires pourront nous permettre de déterminer si le cycle de dégradation de la matière organique a été optimisé par l'apport de LFF.

PARTIE III : MATERIELS ET METHODES

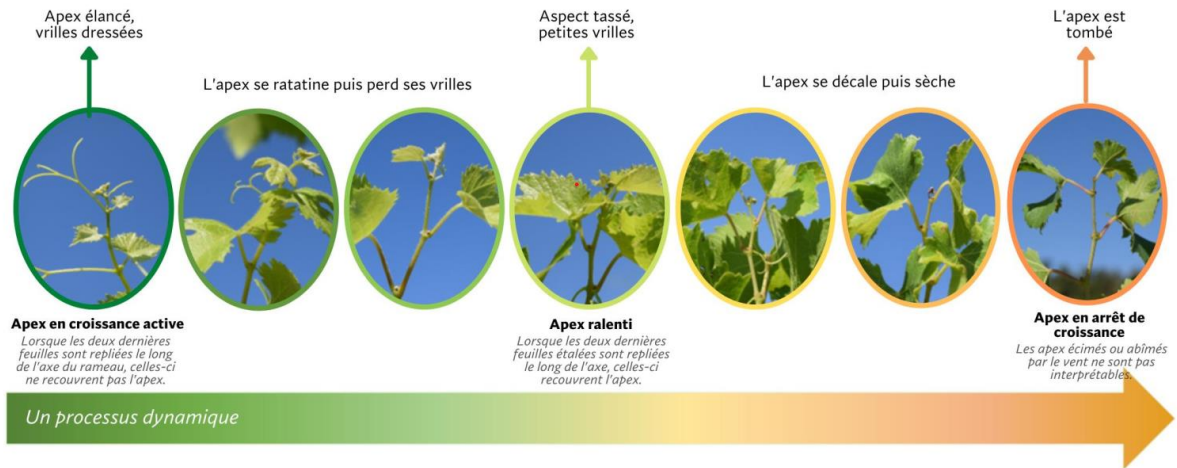


Figure 10 : comment déterminer l'état de croissance de l'apex (source : institut rhodanien)

3.2.6 Paramètres physico-chimiques

La capacité d'échange cationique (CEC) mesure la capacité d'un sol à retenir et échanger des cations tels que calcium, magnésium, potassium. Ainsi une CEC élevée est synonyme de fertilité du sol. Cette CEC peut être améliorée via stimulation microbienne car ceux-ci vont décomposer la MO et former des composés humiques qui sont de bons rétenteurs de cations. L'impact de la LFF sur la CEC ne sera pas immédiat, l'amélioration se produit progressivement à mesure que la matière organique s'accumule et que les processus microbiens stabilisent cette matière.

Elle est mesurée par la méthode X 31-130 et est exprimée en meq/100g

3.2.7 Cations échangeables

La LFF ne contient pas d'éléments nutritifs, mais les micro-organismes qu'elle contient peuvent en améliorer la biodisponibilité. L'anhydride phosphorique est une forme disponible de phosphore pour les plantes et la LFF peut aider à augmenter sa disponibilité dans le sol via décomposition de la MO et la minéralisation du phosphore. Certaines bactéries et champignons peuvent aussi solubiliser le phosphore fixé dans les sols le rendant plus disponibles. L'oxyde de magnésium est un cation important car impliqué dans la photosynthèse et l'oxyde de calcium est essentiel à la structure des parois cellulaires et à la régulation des processus enzymatiques.

L'anhydride phosphorique (P₂O₅) est mesuré par la méthode X 31-160 et est exprimé en mg/kg. L'oxyde de potassium (K₂O), l'oxyde de magnésium (MgO), l'oxyde de calcium (CaO) et le sodium (Na₂O) sont mesurés par la méthode X 31-108 et sont exprimés en mg/kg.

Ces variables seront un bon indicateur de l'état de la CEC du sol et de la biodisponibilité des éléments, rendant compte de l'amélioration des cycles de dégradation de la MO.

3.2.8 Oligo éléments

Les analyses de sols comprennent également une analyse des oligo éléments. Le bore est mesuré par la méthode X 31-122 et est exprimé en mg/kg. Le cuivre, le zinc le manganèse et le fer sont mesurés par la méthode X 31-120 t sont exprimé en mg/kg. De la même manière que pour les cations échangeables nous pouvons nous attendre à une meilleure biodisponibilité après plusieurs années d'expérimentation.

Toutes ces variables constituent notre TO et nous permettent d'avoir une idée précise de l'état initial des deux parcelles. Après plusieurs années nous espérons voir des différences significatives entre les modalités témoins et traités.

PARTIE III : MATERIELS ET METHODES

	Variables étudiées	Méthode d'analyse
Expérimentation actuelle	Biomasse microbienne	Analyse de sol
	Vitalité biologique	Analyse de sol
	Vitesse dégradation MO	Litter bag
	Biodisponibilité éléments nutritifs	Analyse foliaire
	Etat hydrique de la vigne	méthode des Apex
Autres variables du T0	Taux de MO	Analyse de sol
	Carbone total	Analyse de sol
	azote total	analyse de sol
	CEC	Analyse de sol
	Cations échangeables	Analyse de sol
	Oligo éléments	Analyse de sol

Tableau 3 : tableau récapitulatif des variables étudiées

3.3 Traitements statistiques des données

Nous utiliserons différents tests statistiques pour tenter de prouver nos hypothèses sur l'efficacité de la LFF sur nos sols.

3.3.1 Analyse de la charge microbienne et de la vitalité biologique des sols

L'objectif de cette analyse est de déterminer si le traitement appliqué aux parcelles SR2 et SR12 a un impact significatif sur la charge microbienne et la vitalité biologique, en menant une analyse distincte pour chaque parcelle. Pour cela, une ANOVA à un facteur sera utilisée dans chaque cas. L'hypothèse nulle (H_0) stipule qu'il n'existe aucune différence significative entre les modalités. Si la p-value obtenue est inférieure à 0,05, nous rejeterons H_0 , indiquant ainsi que le traitement a un effet significatif. Nous vérifierons l'indépendance des résidus avec le test de Durbin-Watson, la normalité avec le test de Shapiro-Wilk, et l'homogénéité des variances à l'aide du test de Levene. Si ces hypothèses ne sont pas respectées, nous utiliserons le test non paramétrique de Kruskal-Wallis. Ces tests seront utilisés avec les autres ANOVA.

3.3.2 Analyse des éléments nutritifs foliaires

Dans cette analyse, nous chercherons à identifier des différences dans la quantité d'éléments nutritifs des feuilles entre la modalité témoin et la modalité traitée, afin de déterminer si l'application de la LFF (litière forestière fermentée) a un impact sur l'absorption des nutriments. Pour ce faire, nous réaliserons une analyse de variance (ANOVA). L'hypothèse nulle (H_0) postule qu'il n'existe aucune différence significative entre les deux modalités. Si la p-value obtenue est inférieure à 0,05, cela signifiera que nous pouvons rejeter H_0 , suggérant ainsi un effet significatif du traitement.

3.3.3 Analyse des litterbags

L'évolution de la dégradation des litterbags au fil du temps sera analysée à l'aide d'une ANOVA. Elle permettra ainsi d'identifier si les différences observées dans la dégradation des litterbags sont liées au traitement ou à l'effet spécifique de la parcelle. La variable observée correspond au delta entre la masse de départ du sac de paille et la masse après 4 mois passés enterrés.

3.3.4 Analyse de l'indice des apex

L'indice des apex, qui reflète l'état hydrique de la vigne, est mesuré chaque semaine afin de suivre l'évolution des conditions hydriques au fil du temps. Pour analyser l'impact du traitement sur cet indicateur, nous utiliserons un modèle linéaire mixte, dans lequel la modalité du traitement (témoin ou traité) sera incluse en tant qu'effet fixe, tandis que la parcelle sera traitée comme un effet aléatoire. Ce modèle nous permettra d'évaluer l'effet du traitement tout en tenant compte de la variabilité entre les parcelles.

L'hypothèse nulle (H_0) postule que le traitement n'a pas d'effet significatif sur l'état hydrique des vignes au cours du temps, suggérant ainsi que l'indice des apex ne varie pas de manière significative entre les modalités témoin et traité. L'hypothèse alternative (H_1), en revanche, suppose que le traitement a un effet significatif sur l'état hydrique au fil du temps, ce qui se traduirait par une variation notable de l'indice des apex entre les modalités.

Pour valider ce modèle, nous vérifierons les hypothèses classiques des modèles linéaires mixtes, à savoir l'indépendance et la normalité des résidus, ainsi que l'homogénéité des variances. En cas de

PARTIE III : MATERIELS ET METHODES

non-respect de ces hypothèses, des ajustements seront envisagés, tels que l'utilisation de transformations ou de modèles alternatifs..

4. Résultats et discussions

4.1 Effet de l'application de LFF sur la charge microbienne et la vitalité biologique des sols :

La charge microbienne et la vitalité biologique du sol sont des indicateurs essentiels pour évaluer la santé des écosystèmes. Ces deux paramètres jouent un rôle important dans la fertilité du sol et la disponibilité des nutriments pour les plantes. Dans le contexte de notre expérimentation, ils sont les deux indicateurs que nous espérons voir significativement améliorés par l'application de LFF. En effet parmi toutes nos variables étudiées, la vitalité biologique et la charge microbienne sont des variables au temps de réponse normalement le plus court puisque nous inoculons directement des microorganismes vivants sur le sol.

Charge Microbienne

La charge microbienne est exprimée en microgrammes d'ADN par gramme de matière sèche ($\mu\text{g ADN/g MS}$) et mesure la quantité totale de matériel génétique des micro-organismes présents dans un échantillon de sol. Une charge microbienne élevée indique une activité biologique dynamique, essentielle pour la décomposition de la matière organique et la libération de nutriments.

Dans notre étude, l'analyse de la charge microbienne a été effectuée dans deux parcelles (2 et 12). Pour la parcelle 2, les résultats de l'ANOVA indiquent que le facteur Modalité n'a pas eu d'effet significatif, avec une valeur de F de 0.023 et une p-value de 0.887. Cela signifie que l'application de la litière forestière fermentée (LFF) n'a pas entraîné de différences mesurables dans la charge microbienne entre les modalités témoin et traitée. De même, dans la parcelle 12, la charge microbienne n'a pas montré d'effet significatif avec une p-value également élevée, suggérant que d'autres facteurs environnementaux, tels que la température et l'humidité du sol, pourraient influencer davantage la communauté microbienne que l'application de LFF à court terme.

Les boxplots illustrant la charge microbienne par parcelle montre des niveaux supérieurs ou égales de quantité microbienne par rapport aux données du T0 ce qui est cohérent avec les facteurs environnementaux. En effet les analyses du T1 ayant eu lieu après le printemps et l'été nous nous attendions à une augmentation de la quantité microbienne des sols en lien avec les conditions favorables de températures et d'humidité des sols. Les boxplots révèlent également une dispersion relativement étroite des valeurs après l'application de la LFF, ce qui peut indiquer une uniformité dans la réponse microbienne bien qu'il n'y ait pas eu d'effets significatifs.

PARTIE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

. Analyse	Parcelle 2 - Charge Microbienne	Parcelle 2 - Vitalité Biologique	Parcelle 12 - Charge Microbienne	Parcelle 12 - Vitalité Biologique
1. Résultats de l'ANOVA	p-value = 0.887 (Non significatif)	p-value = 0.365 (Non significatif)	p-value = 0.573 (Non significatif)	p-value = 0.162 (Non significatif)
2. Test de Durbin-Watson	DW = 2.1724, p-value = 0.4056 (Indépendant)	DW = 1.5435, p-value = 0.09864 (Acceptable)	DW = 2.4304, p-value = 0.5475 (Indépendant)	DW = 2.5116, p-value = 0.5922 (Indépendant)
3. Test de Shapiro-Wilk	W = 0.95443, p-value = 0.7759 (Normalité respectée)	W = 0.93289, p-value = 0.6026 (Normalité respectée)	W = 0.8831, p-value = 0.2836 (Normalité respectée)	W = 0.90819, p-value = 0.4246 (Normalité respectée)
4. Test de Levene	p-value = 0.3791 (Variances homogènes)	p-value = 0.4618 (Variances homogènes)	p-value = 0.6767 (Variances homogènes)	p-value = 0.4079 (Variances homogènes)

Tableau 4 : Résultats statistiques des variables Vitalité Biologique et Charge Microbienne

Vitalité Biologique

La vitalité biologique, mesurée en nanogrammes d'ATP par gramme de matière sèche (ng ATP/g MS), indique l'activité métabolique des micro-organismes du sol. Un niveau élevé de vitalité biologique est généralement associé à une meilleure santé du sol et à une plus grande capacité de décomposition de la matière organique, favorisant ainsi la disponibilité des nutriments pour les plantes.

Les résultats de l'ANOVA pour la vitalité biologique dans la parcelle 2 révèlent également qu'il n'y a pas d'effet significatif du traitement, avec une valeur de F de 1.044 et une p-value de 0.365. Cela indique que, tout comme pour la charge microbienne, l'application de LFF n'a pas eu d'impact mesurable sur la vitalité biologique par rapport aux modalités témoins. Quant à la parcelle 12 avec une p-value à 0.162 le résultat n'est pas significatif, ce qui confirme des données visuellement contraires à nos hypothèses avec une vitalité biologique largement inférieure dans la modalité traitée que la modalité témoin, et même inférieure aux données du T0 de début de saison. Des données incongrues que nous pourrions attribuer à des erreurs de prélèvement ou d'itinéraires techniques.

Dans les deux parcelles, la vitalité biologique des sols semble accrue dans les modalités témoins, ce qui contredit nos hypothèses. L'idée que l'apport de LFF ait un effet néfaste sur la vitalité biologique ne paraît pas non plus en cohérence avec les mesures de biomasse microbienne qui indiquent des niveaux semblables dans les deux modalités.

Ces résultats soulignent l'importance d'un suivi à long terme pour évaluer les effets de la LFF sur ces indicateurs. La santé microbienne et la vitalité biologique dépendent de divers facteurs environnementaux. Des conditions telles que l'humidité du sol, la température et la disponibilité en nutriments jouent un rôle crucial dans l'activité des micro-organismes. Par exemple, un sol suffisamment humide favorise une meilleure activité microbiologique, tandis que des conditions sèches peuvent réduire cette activité, rendant ainsi la gestion des ressources en eau et des nutriments d'une importance primordiale.

En résumé, les résultats montrent que ni la charge microbienne ni la vitalité biologique ne varient significativement en réponse à l'application de la LFF à court terme. D'autres études pourraient être menées pour explorer comment des périodes prolongées d'application de la LFF peuvent influencer ces indicateurs biologiques, en tenant également compte des facteurs environnementaux susceptibles d'interagir avec ces effets

PARTIE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

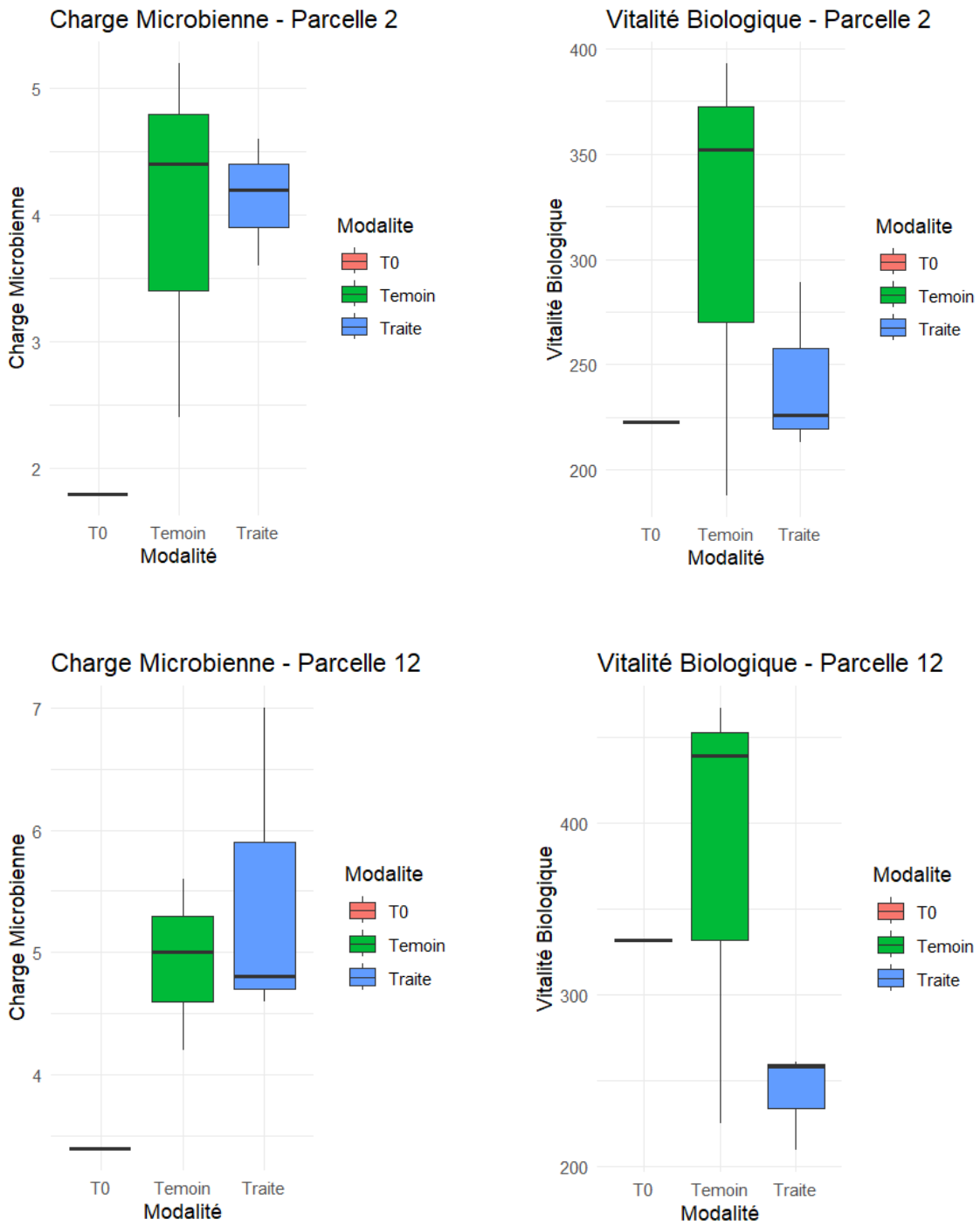


Figure 11 : Boxplot des résultats de l'ANOVA sur les variables Charge Microbienne et Vitalité Biologique

4.2 Effet de l'application de LFF sur l'indice Apex

L'indice apex est un indicateur de l'état hydrique de la vigne, mesurant l'équilibre entre l'humidité du sol et la transpiration des plantes. Dans le cadre de notre étude, nous avons évalué l'effet de l'application de LFF sur cet indice, en effectuant des mesures hebdomadaires.

Les résultats montrent que l'application de la LFF n'a pas eu d'effet significatif sur l'indice apex dans les parcelles traitées par rapport aux parcelles témoins. En effet, l'analyse statistique a révélé des p-values élevées, indiquant qu'il n'y a pas de différence significative dans les indices apex entre les modalités témoin et traitée. Par exemple, pour le facteur modalité, la valeur de p est de 0,689, ce qui est bien au-dessus du seuil de signification de 0,05. De même, les autres facteurs, notamment la parcelle et l'interaction entre modalité et parcelle, affichent également des valeurs de p élevées (0,841), suggérant qu'aucun de ces facteurs n'influence de manière significative l'indice apex.

Il est important de noter que nous avons initialement prévu d'utiliser un modèle ANOVA à mesures répétées pour évaluer les changements dans l'indice apex au fil du temps. Cependant, ce modèle n'a pas fonctionné en raison d'un problème de matrice singulière, ce qui signifie que les données ne respectaient pas les hypothèses nécessaires pour appliquer cette méthode. Par conséquent, nous avons opté pour des analyses plus simples, ce qui a limité notre capacité à détecter des effets significatifs.

Cette situation peut s'expliquer par plusieurs facteurs environnementaux. L'indice apex peut être influencé par des conditions climatiques variées, notamment la température, l'humidité et les précipitations, qui jouent un rôle crucial dans la capacité de la vigne à absorber l'eau. Par exemple, des périodes de sécheresse prolongées ou des températures élevées peuvent augmenter le stress hydrique de la plante, réduisant ainsi l'impact potentiel de la LFF sur l'indice apex.

Un point essentiel à considérer est que l'augmentation du taux de MO dans le sol, qui est un facteur limitant pour améliorer rapidement la rétention d'eau, nécessite un engagement à long terme. La LFF, bien que bénéfique, met du temps à décomposer et à enrichir le sol en MO. Il est donc probable que les effets positifs de la LFF sur la rétention d'eau et l'indice apex deviennent plus évidents sur le long terme, lorsque la matière organique a eu le temps de s'accumuler et d'améliorer la structure du sol. Un sol riche en MO est essentiel pour accroître la capacité de rétention d'eau, car il permet non seulement d'augmenter la porosité du sol, mais aussi de favoriser l'activité microbienne et la formation de réseaux mycorhiziens.

De plus, l'application de la LFF pourrait nécessiter un certain temps pour montrer des effets bénéfiques sur la structure et la santé du sol. Les micro-organismes présents dans la LFF, qui sont essentiels pour la décomposition de la matière organique, mettent du temps à coloniser le sol et à établir un environnement favorable à l'absorption d'eau par la vigne. Par conséquent, les effets de la LFF sur l'indice apex pourraient devenir plus évidents avec le temps, mais il est nécessaire de maintenir cette pratique sur plusieurs cycles de culture pour maximiser les bénéfices à long terme.

PARTIE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Critères et Paramètres	Valeur		
REML criterion at convergence	-101.9		
Effets Aléatoires (Random Effects)			
Groupe	Nom	Variance	Écart-type (Std.Dev.)
Parcelle	Intercept	1.412e-15	3.758e-08
Residual		1.175e-03	3.428e-02
Effets Fixes (Fixed Effects)			
Effet	Estimate	Std. Error	t value
Intercept	187.7	8.898	21.096
ModaliteTraite	-5.186	12.58	-0.412
Date	-0.009393	0.000447	-21.013
ModaliteTraite	0.0002619	0.0006322	0.414
Corrélation des Effets Fixes			
Effets Fixes	Intercept	ModaliteTraite	Date
ModaliteTraite	-0.707		
Date	-1.000	0.707	
ModaliteTraite	0.707	-1.000	-0.707
Analyse de Variance (ANOVA)			
Paramètre	npar	Sum Sq / Mean Sq	F value
Modalite	1	0.00667	5.6765
Date	1	1.00881	858.6223
Modalite	1	0.00020	0.1716

Tableau 5 : Résultats statistiques du modèle linéaire mixte sur l'indice Apex

PARTIE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

D'autres méthodes d'analyse pourraient être utilisées pour mesurer l'état hydrique des sols et l'état hydrique de la vigne. Par exemple, l'utilisation de sondes potentiométriques permettrait de suivre avec plus de précision les variations de potentiel hydrique du sol et des plantes. Ces sondes peuvent mesurer directement le potentiel matriciel du sol, fournissant des données sur la disponibilité de l'eau pour les racines de la vigne. En complément, d'autres techniques comme les tensiomètres, les capteurs capacitifs d'humidité ou les sondes FDR (Fréquence Domain Reflectometry) pourraient être employées pour estimer des variables clés telles que la capacité de rétention en eau, le point de flétrissement permanent, et la conductivité hydraulique.

Ces méthodes permettraient une meilleure compréhension des interactions sol-eau-plante, notamment dans des conditions de stress hydrique. Par exemple, en mesurant le potentiel hydrique des feuilles ou de la sève de la vigne avec une chambre à pression, il serait possible d'évaluer directement l'impact du traitement sur la capacité des vignes à maintenir un bon état hydrique. Une approche combinant ces différentes techniques offrirait une vision plus complète de l'état hydrique du système sol-vigne, et pourrait révéler des effets plus subtils de la LFF sur l'amélioration de la rétention en eau et la résistance à la sécheresse.

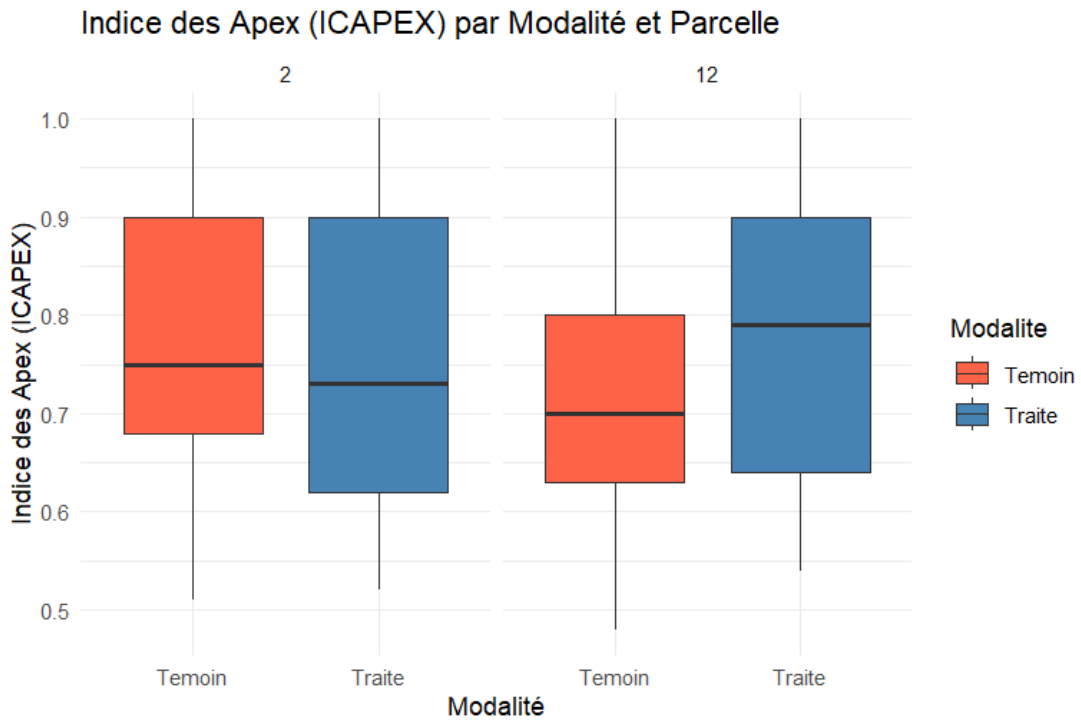


Figure 12 : Boxplot de l'indice des Apex par parcelle et par modalité

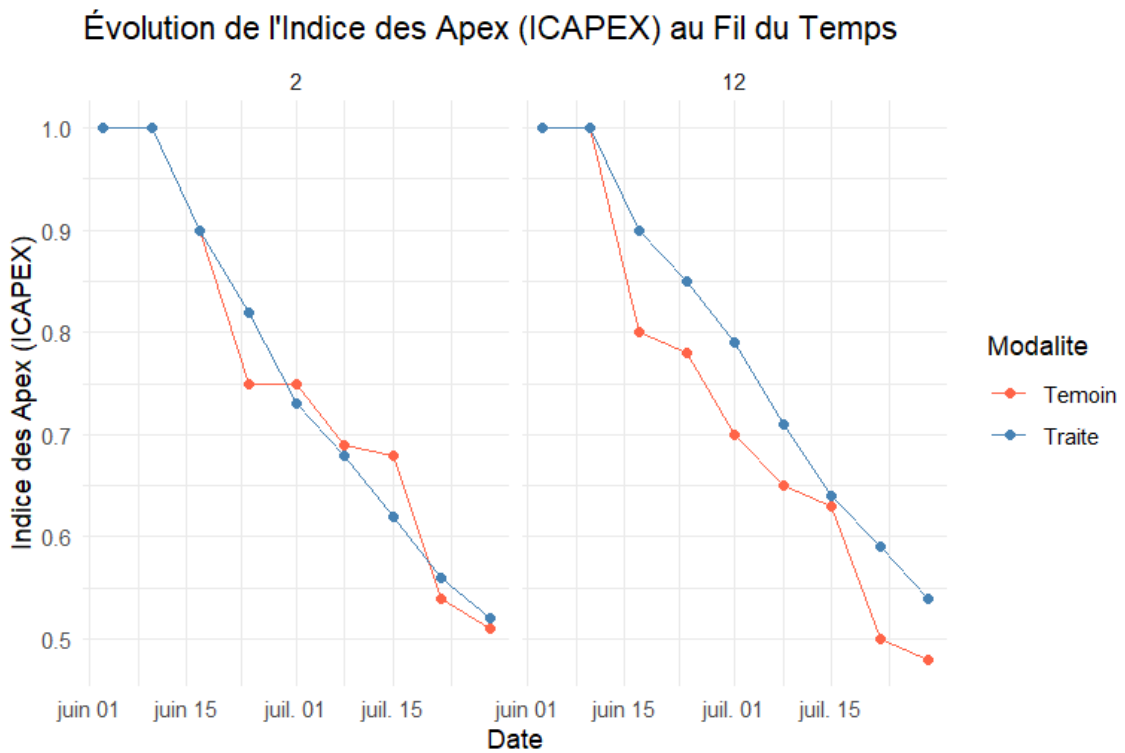


Figure 13 : Courbe d'évolution de l'indice Apex en fonction du temps, par parcelle et par modalité

4.3 Effet de la LFF sur LitterBag

L'analyse des résultats des tests statistiques effectués pour évaluer l'impact de la litière forestière fermentée (LFF) sur la dégradation des litterbags révèle l'absence de différences significatives entre les modalités témoin et traitée. Les résultats de l'ANOVA indiquent des p-values de 0,689 pour le facteur Modalité et 0,841 pour le facteur Parcelle, suggérant que l'application de la LFF n'a pas entraîné d'amélioration mesurable de la dégradation des litterbags dans les conditions expérimentales actuelles. En raison de la non-normalité des résidus, démontrée par le test de Shapiro-Wilk sur la parcelle 2, nous avons utilisé le test de Wilcoxon, qui a donné une p-value de 0,6428, confirmant qu'il n'y a pas d'effet significatif de la LFF sur la dégradation de la matière organique dans cette parcelle.

Cependant, il faut noter que les effets de la LFF sur la dégradation de la matière organique peuvent nécessiter plus de temps pour se manifester. Les processus biologiques liés à la décomposition des litterbags dépendent fortement de nombreux facteurs environnementaux, tels que l'humidité du sol, la température et la disponibilité en eau, qui favorisent la vie microbologique essentielle à cette dégradation.

Une étude prolongée pourrait offrir des informations plus précises sur les effets à long terme de la LFF. Dans des conditions optimales, il est possible que ses bénéfices se renforcent avec le temps, à mesure que la population microbienne s'établit et que les conditions du sol se stabilisent. Par exemple, une augmentation de la matière organique dans le sol pourrait améliorer sa structure et sa capacité à retenir l'humidité, ce qui favoriserait l'activité microbienne et accélérerait la dégradation des litterbags. En effet, une température plus élevée peut accroître l'activité enzymatique des microorganismes, facilitant la décomposition, tandis qu'une humidité adéquate est indispensable pour leur survie et leur multiplication. Dans des environnements secs, même avec l'ajout de LFF, la dégradation des litterbags pourrait être limitée.

Les résultats soulignent l'importance d'une approche à long terme, prenant en compte les variations saisonnières et les fluctuations climatiques. Des recherches futures pourraient explorer l'interaction entre la LFF et d'autres variables environnementales, telles que les cycles de sécheresse ou de fortes pluies, pour mieux comprendre leur influence sur la dégradation des litterbags.

PARTIE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Analyse	Parcelle 2 - Litterbag	Parcelle 12 - Litterbag
1. Résultats de l'ANOVA	p-value = 0.652 (Non significatif)	p-value = 0.899 (Non significatif)
2. Test de Durbin-Watson	DW = 1.6974, p-value = 0.1529 (Acceptable)	DW = 3.1939, p-value = 0.9356 (Indépendant)
3. Test de Shapiro-Wilk	W = 0.77325, p-value = 0.03332 (Normalité non respectée)	W = 0.98684, p-value = 0.9801 (Normalité respectée)
4. Test de Levene	p-value = 0.8683 (Variances homogènes)	p-value = 0.3153 (Variances homogènes)

Tableau 6 : Résultats statistiques de l'ANOVA sur la dégradation des litterbags

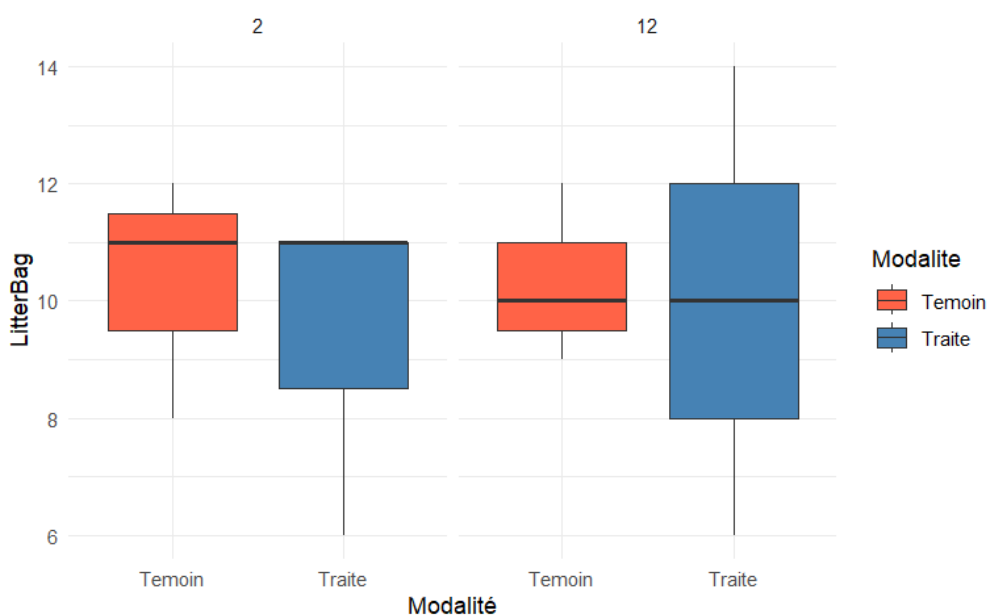


Figure 14 : Boxplot des deltas de masse des litterbags par parcelles et par modalité

PARTIE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Un autre aspect à considérer est l'interaction entre les traitements appliqués et les caractéristiques des parcelles. Les variations dans la composition du sol, la biodiversité microbienne et d'autres facteurs biologiques peuvent influencer la réponse à la LFF. Des études comparatives sur plusieurs parcelles écologiquement distinctes pourraient déterminer si certaines sont plus réceptives à l'application de LFF.

En conclusion, bien que les résultats statistiques de cette étude ne montrent pas d'effet significatif à court terme, ils ouvrent la voie à une compréhension plus approfondie des interactions complexes entre la LFF, les conditions environnementales et la dégradation de la matière organique. La recherche future dans ce domaine pourrait offrir des opportunités d'amélioration des pratiques de gestion des sols et de durabilité dans les systèmes viticoles

PARTIE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

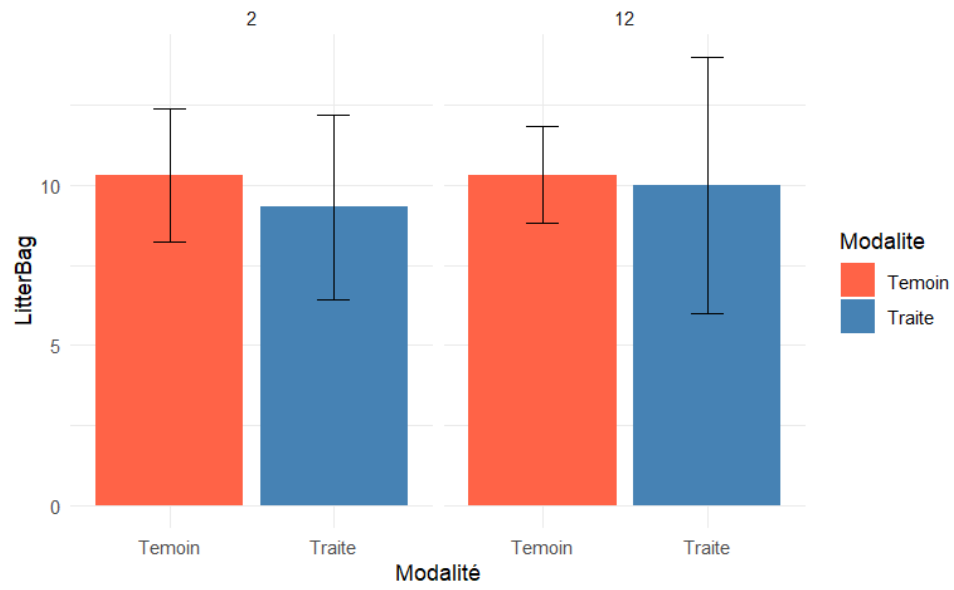


Figure 15 : Moyenne des litterbag par modalité et par parcelle avec écart-type

4.4 Effet de la LFF sur les éléments nutritifs foliaires.

Les analyses foliaires représentent un outil essentiel pour évaluer l'état nutritionnel des vignes et déterminer les besoins en éléments nutritifs. Dans cette étude, nous avons examiné plusieurs variables nutritives, notamment l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium, le bore, le cuivre, le zinc, le manganèse, le fer, le sodium et le silicium, afin de comprendre les effets des traitements appliqués sur les modalités "Témoin" et "Traité" au sein des deux parcelles étudiées. Les tableaux complets des résultats des analyses statistiques sont disponibles en annexe.

1. Azote

Les résultats de l'analyse foliaire pour l'azote montrent que, malgré l'hypothèse initiale selon laquelle le traitement aurait un impact significatif sur la concentration d'azote dans les feuilles, les tests statistiques n'ont pas permis de rejeter l'hypothèse nulle (H_0). La p-value élevée (0.942) indique que le traitement n'a pas eu d'effet discernable sur l'absorption d'azote, tant dans la parcelle 2 que dans la parcelle 12. Cela pourrait suggérer que la gestion de l'azote, peut-être en raison de la disponibilité naturelle dans le sol ou de l'apport d'engrais préalables, n'est pas influencée par l'utilisation de LFF.

2. Phosphore

Concernant le phosphore, les résultats dans la parcelle 12 ont montré une différence significative entre les modalités, avec une p-value de 0.0264. Cela indique que l'application de LFF pourrait avoir amélioré l'absorption de phosphore dans cette parcelle. Le phosphore est essentiel pour la photosynthèse et le développement racinaire, et son augmentation pourrait avoir des implications positives pour la santé et le rendement des vignes. En revanche, les résultats pour la parcelle 2 n'ont pas révélé de différence significative, soulignant l'importance de facteurs environnementaux ou de pratiques agricoles qui peuvent influencer la disponibilité du phosphore.

3. Potassium et Calcium

Les résultats pour le potassium et le calcium ont montré des p-values respectives de 0.984 et 0.628 dans la parcelle 2, et de 0.237 et 0.618 dans la parcelle 12. Ces valeurs ne suggèrent qu'aucun des traitements n'a eu d'effet significatif sur ces deux éléments nutritifs. Le potassium est crucial pour la régulation de l'eau et la résistance au stress, tandis que le calcium est important pour la structure cellulaire et la santé des vignes. L'absence de différence pourrait indiquer une gestion adéquate de ces éléments dans le sol ou des niveaux de fertilisation satisfaisants.

4. Micronutriments

Les analyses pour les micronutriments tels que le bore, le cuivre et le zinc ont également révélé des résultats intéressants. En particulier, le bore dans la parcelle 12 a montré une p-value de 0.00947, indiquant une différence significative, ce qui pourrait suggérer que le traitement a amélioré la disponibilité ou l'absorption de ce micronutriment essentiel pour le développement floral et la fertilité. Cependant, les autres résultats pour les micronutriments n'ont pas montré de significativité, ce qui pourrait indiquer que leur apport est suffisant ou que d'autres facteurs limitants sont en jeu.

PARTIE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

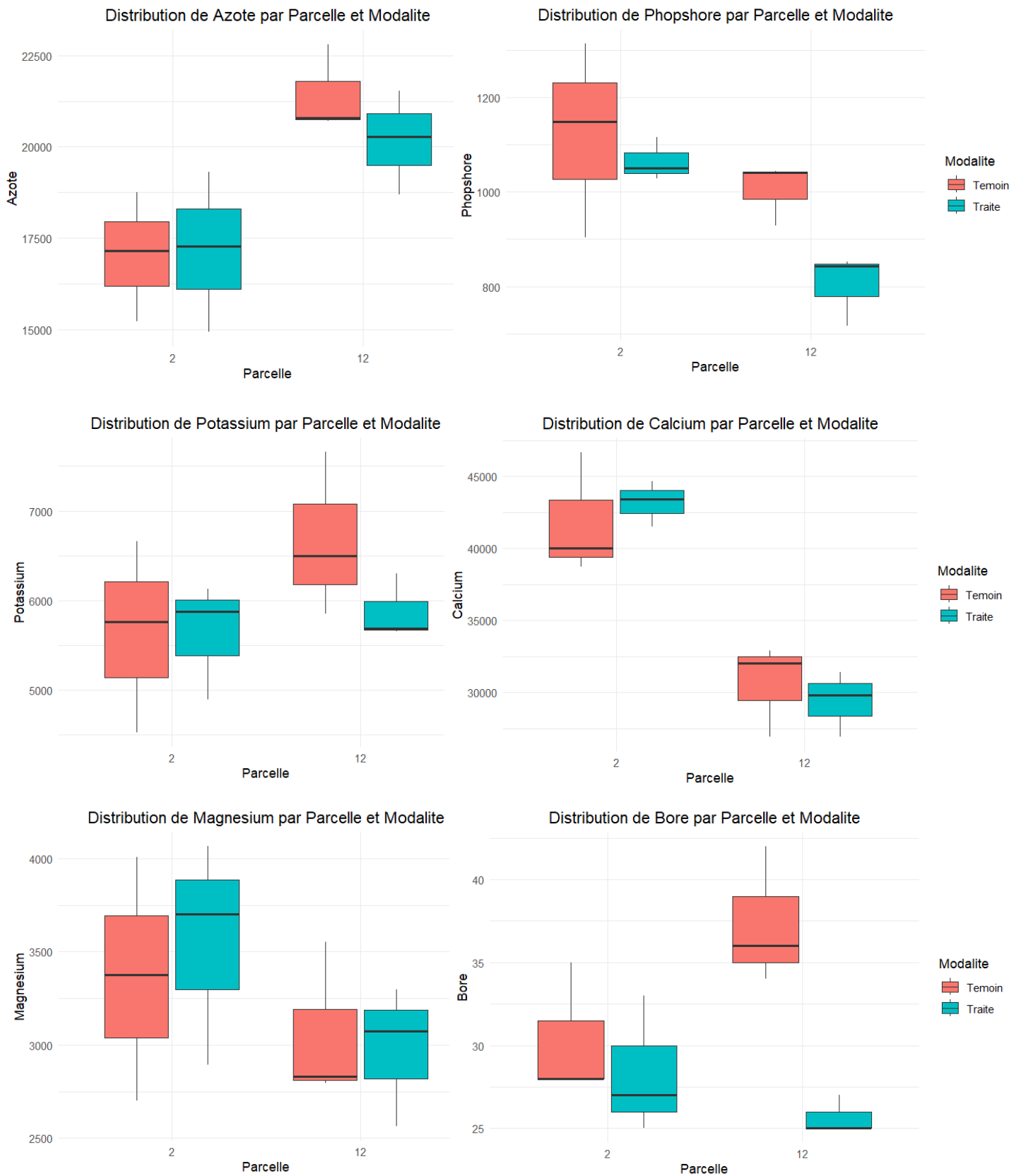


Figure 16 : Boxplots des quantités d'éléments nutritifs présents dans l'analyse foliaire par parcelle et par modalité

5. Considérations Globales

Dans l'ensemble, les analyses foliaires ont fourni des informations précieuses sur l'état nutritionnel des vignes, mais ont également mis en évidence des variations notables entre les parcelles. Les différences significatives observées dans certaines variables, notamment le phosphore et le bore, suggèrent que le traitement par LFF peut avoir des effets bénéfiques sous certaines conditions. Cependant, les résultats insistent également sur l'importance de considérer le contexte spécifique de chaque parcelle, y compris les caractéristiques du sol, les antécédents de fertilisation et les pratiques culturales. En effet, une présence suffisante dans les sols d'ions nutritifs permet à la plante de ne pas présenter de carence ou de manque et masquer les effets de la LFF.

Des études supplémentaires pourraient être nécessaires pour évaluer les effets à long terme de la LFF et son interaction avec d'autres pratiques agronomiques. Une évaluation plus approfondie pourrait aider à clarifier les résultats observés et à optimiser l'utilisation de la LFF dans les vignobles, en assurant une gestion durable et efficace des nutriments.

PARTIE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

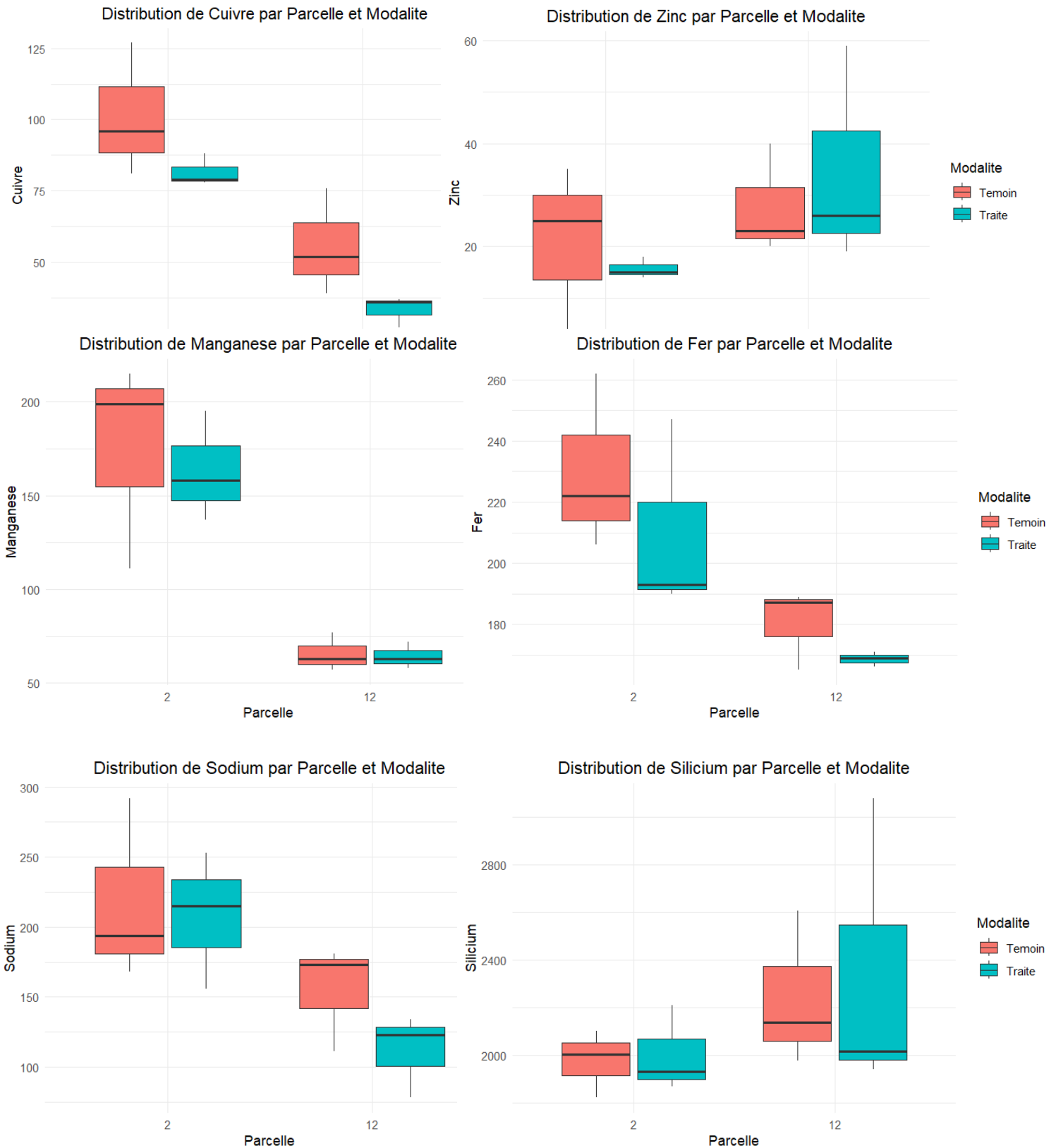


Figure 17 : Boxplots des quantités d'éléments nutritifs présents dans l'analyse foliaire par parcelle et par modalité

5. Perspectives

L'intégration de la LFF dans les pratiques viticoles au Château Sainte Roseline ouvre des voies prometteuses pour l'amélioration de la santé des sols et la durabilité de la production viticole. Bien que les résultats immédiats de cette étude n'aient pas montré d'effets significatifs, plusieurs pistes de recherche et d'optimisation peuvent être envisagées pour le futur.

Il serait pertinent de prolonger l'étude sur plusieurs années pour évaluer les effets cumulatifs de la LFF sur les sols viticoles. Les bénéfices des amendements organiques ne se manifestent souvent qu'après des périodes prolongées, alors que la biodiversité du sol et la stabilité de la structure du sol évoluent lentement. Par conséquent, un suivi à long terme permettrait de mieux comprendre comment la LFF influence la dynamique microbienne, la rétention d'eau, et la disponibilité des nutriments au fil du temps. Par exemple, des modalités avec des dates différentes de destruction des couverts pourraient prouver une amélioration de la biomasse microbienne et de la vitalité biologique des sols si les couverts sont détruits tôt et donc riches en azote et encore pauvres en lignine.

La formulation de la LFF pourrait être ajustée en fonction des caractéristiques spécifiques des sols viticoles de la région. L'analyse de la composition chimique et biologique de la LFF, ainsi que des paramètres du sol, pourrait permettre d'optimiser les apports pour maximiser les bénéfices agronomiques. Par exemple, des études pourraient viser à déterminer le dosage idéal de LFF pour chaque type de sol, ainsi que la période d'application optimale en fonction des cycles de croissance de la vigne.

L'intégration de la LFF avec d'autres biostimulants ou amendements organiques pourrait également être explorée. L'utilisation conjointe de différents produits pourrait créer des synergies bénéfiques, améliorant ainsi la santé des sols et la résilience des vignes face aux stress abiotiques. Par exemple, la combinaison de la LFF avec des extraits de plantes ou des microorganismes bénéfiques pourrait favoriser une meilleure colonisation des racines et une amélioration des interactions sol-plante.

Il serait également bénéfique d'élargir l'évaluation de l'état hydrique des vignes en intégrant des mesures supplémentaires, comme l'humidité du sol à l'aide de sonde potentiométrique, afin de mieux comprendre les impacts du traitement sur la gestion de l'eau. L'application de techniques de télédétection pour surveiller la santé des plantes et l'humidité du sol pourrait fournir des données précieuses pour optimiser les apports en LFF et améliorer la gestion de l'irrigation.

Enfin, la sensibilisation et la formation des viticulteurs sur les avantages de la LFF et d'autres pratiques de gestion durable des sols sont cruciales. Organiser des ateliers et des journées de démonstration pourrait favoriser l'adoption de pratiques innovantes, contribuant à la transition vers une viticulture plus respectueuse de l'environnement.

PARTIE V : PERSPECTIVES

Conclusion

L'utilisation de la LFF comme biostimulant au sein des sols viticoles du Château Sainte Roseline a permis de tester une approche agroécologique innovante dans un contexte d'agriculture biologique. L'étude a principalement cherché à évaluer l'impact de la LFF sur la biomasse microbienne, la vitalité biologique des sols, la décomposition de la matière organique via les litter bags, et l'état hydrique des vignes.

Les résultats obtenus n'ont pas révélé de différences significatives immédiates entre les parcelles traitées et les parcelles témoins, notamment en ce qui concerne la charge microbienne et la vitalité biologique des sols. Cela peut s'expliquer par le délai nécessaire pour observer des changements significatifs dans les paramètres biologiques des sols, généralement plus visibles sur des périodes plus longues. De plus, des facteurs tels que la variabilité pédoclimatique et les caractéristiques des parcelles pourraient avoir masqué certains effets attendus.

Malgré ces résultats, les perspectives offertes par l'usage de la LFF demeurent prometteuses. La répétition des essais sur plusieurs années et l'extension à d'autres parcelles pourrait permettre d'observer des effets plus notables sur la structure du sol, la rétention d'eau et la fertilité des vignes. L'intégration de la LFF dans les pratiques viticoles pourrait ainsi s'inscrire dans une démarche plus large de gestion durable des sols, combinée à d'autres biostimulants ou pratiques écologiques, afin de mieux répondre aux enjeux climatiques et agronomiques auxquels le domaine fait face.

En somme, même si les résultats à court terme n'ont pas démontré un impact significatif, les avantages potentiels de la LFF dans le contexte d'une viticulture durable et respectueuse de l'environnement sont indéniables. L'avenir de l'agriculture biologique au Château Sainte Roseline pourrait être marqué par une intégration réussie de la LFF, ouvrant ainsi la voie à des pratiques plus résilientes face aux défis environnementaux actuels.

Références bibliographiques

- Bernet, J. (2017). Histoire des vignobles de France. Éditions Larousse.
- Barea, J. M., Pozo, M. J., Azcón, R., & Azcón-Aguilar, C. (2005). Microbial co-operation in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 56(417), 1761-1778. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri197>
- Calvet, R., Barriuso, E., Benoit, P., Coquet, Y., & Cooper, J.-F. (2011). Soil, environment, and fate of pollutants. ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc.
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1), 3-41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
- Charters, S., & Pettigrew, S. (2006). The rise and fall of the world's wine-growing regions: Understanding the dynamics of change. *International Journal of Wine Research*, 12(4), 123-135.
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- FAO & ITPS. (2015). Etat des ressources en sols du monde – Résumé technique. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et groupe technique intergouvernemental sur les sols.
- FAO. (2015). Status of the World's Soil Resources.
- Faessel, L., Gomy, C., Nassr, N., Tostivint, C., Hipper, C., & Dechanteloup, A. (2014). Produits de stimulation en agriculture visant à améliorer les fonctionnalités biologiques des sols et des plantes. Étude des connaissances disponibles et recommandations stratégiques, rapport d'étude au ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt.
- Frédéric, M., & Philippe, M. (2019, 16 octobre). Mutations de l'encépagement et politiques de qualité dans les vignobles provençaux, XIXe-XXIe siècles. *Territoires du vin*. <https://preo.u-bourgogne.fr/territoiresduvin/index.php?id=1768>
- Griffiths, B. S., Ritz, K., Wheatley, R., Kuan, H. L., Boag, B., Christensen, S., Ekelund, F., Sørensen, S. J., Müller, S., & Bloem, J. (2000). An examination of the biodiversity-ecosystem function relationship in arable soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(10), 1821-1833. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00158-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00158-9)
- Hoffmann, L. (1989). Algae in terrestrial ecosystems. *Botanical Review*, 55(2), 77-105.
- INRAE. (2023, 27 juin). Des sols essentiels à la vie. <https://www.inrae.fr/dossiers/peut-encore-sauver-sols/sols-essentiels-vie>
- Juary, T., Gomez, J. A., Casellas, J. P., & Lavelle, P. (2013). Functional redundancy and the resilience of soil processes to environmental disturbance. *Soil Biology and Biochemistry*, 57, 43-49. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.06>
- Lal, R. (2004). Soil structure and organic carbon retention in agroecosystems. *Agronomy Journal*, 96(2), 320-326. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.0320>
- Lavelle, P., & Spain, A. V. (2001). *Soil Ecology*. Springer.
- Li, Y., Wu, S., Hu, Z., Xiang, W., Zhang, M., & Yu, G. (2020). Soil microbial biomass and diversity after long-term application of organic and inorganic fertilizers in the dry subtropics. *Journal of Environmental Management*, 261, 110248. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110248>
- Martin, P. (2020). *Vignobles du Moyen Âge à aujourd'hui*. Éditions Tallandier.
- Parr, J. F., & Hornick, S. B. (1992). Agricultural practices, biotechnological developments, and the future of sustainable agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 46(1-4), 31-50.
- NASSR, Najat (2016, Avril 26 – 27). Produits de stimulation en agriculture – Synthèse de l'étude « *Produits de stimulation en agriculture visant à améliorer les fonctionnalités biologiques des sols et des plantes* »

- Pijassou, R. (1980). Le phylloxéra en France : ses conséquences sur le vignoble et la société. *Revue d'Histoire Moderne et Contemporaine*, 27(3), 337-356.
- Roudié, P. (1991). Le vignoble et le commerce du vin en France au Moyen Âge. *Annales du Midi*, 103(196), 189-208.
- Sylvain Pellerin et Laure Bamière (pilotes scientifiques), Camille Launay, Raphaël Martin, Michele Schiavo, Denis Angers, Laurent Augusto, Jérôme Balesdent, Isabelle BasileDoelsch, Valentin Bellassen, Rémi Cardinael, Lauric Cécillon, Eric Ceschia, Claire Chenu, Julie Constantin, Joël Darroussin, Philippe Delacote, Nathalie Delame, François Gastal, Daniel Gilbert, Anne-Isabelle Graux, Bertrand Guenet, Sabine Houot, Katja Klumpp, Elodie Letort, Isabelle Litrico, Manuel Martin, Safya Menasseri, Delphine Mézière, Thierry Morvan, Claire Mosnier, Jean Roger-Estrade, Laurent Saint-André, Jorge Sierra, Olivier Thérond, Valérie Viaud, Régis Grateau, Sophie Le Perchec, Isabelle Savini, Olivier Réchauchère, 2021. Stocker du carbone dans les sols français. Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1 000 et à quel coût ? Éditions Quæ, Versailles, 232 p.
- Szymanski, N., & Patterson, R. A. (2003). Effective Microorganisms (EM) and wastewater systems. *Future Directions for On-site Systems: Best Management Practice* (pp. 347-354). University of New England, Armidale.
- Vins de Provence. (2024). Historique du vignoble. <https://www.vinsdeprovence.com/le-vignoble/histoire>
- Waid, J. S. (1984). Biological and biochemical analysis of soils. *Plant & Soil*, 76, 127-137.
- Wertz, S., Degrange, V., Prosser, J. I., Poly, F., Commeaux, C., Freitag, T., Guillaumaud, N., & Roux, X. L. (2006). Maintenance of soil functioning following erosion of microbial diversity. *Environmental Microbiology*, 8(12), 2162-2169. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2006.01098.x>
- Xu, H. L., Wang, R., Mridha, M. A. U., & Goyal, S. (2000). Effects of organic fertilizers and a microbial inoculant on leaf photosynthesis and fruit yield and quality of tomato plants. *Journal of Crop Production*, 3(1), 173-182. https://doi.org/10.1300/J144v03n01_12
- Zhang, Y., Chen, X., Sun, X., Yang, W., & Song, N. (2017). Application of effective microorganisms to improve soil fertility. *Soil and Water Research*, 12(1), 52-60. <https://doi.org/10.17221/36/2016-SWR>

Annexes

Analyse	1. Résultats de l'ANOVA	2. Test de Durbin-Watson	3. Test de Shapiro-Wilk	4. Test de Levene
Parcelle 2 - Azote	p-value = 0.942 (Non significatif)	DW = 2.5742, p-value = 0.6266 (Indépendant)	W = 0.9139, p-value = 0.4626 (Normalité respectée)	p-value = 0.7812 (Variances homogènes)
Parcelle 2 - Phosphore	p-value = 0.663 (Non significatif)	DW = 1.5461, p-value = 0.09943 (Acceptable)	W = 0.9536, p-value = 0.7694 (Normalité respectée)	p-value = 0.223 (Variances homogènes)
Parcelle 2 - Potassium	p-value = 0.984 (Non significatif)	DW = 2.0417, p-value = 0.3338 (Indépendant)	W = 0.9513, p-value = 0.751 (Normalité respectée)	p-value = 0.5577 (Variances homogènes)
Parcelle 2 - Calcium	p-value = 0.628 (Non significatif)	DW = 2.2774, p-value = 0.4634 (Indépendant)	W = 0.9249, p-value = 0.5416 (Normalité respectée)	p-value = 0.4933 (Variances homogènes)
Parcelle 2 - Magnesium	p-value = 0.726 (Non significatif)	DW = 2.9567, p-value = 0.8369 (Indépendant)	W = 0.8865, p-value = 0.3004 (Normalité respectée)	p-value = 0.8955 (Variances homogènes)
Parcelle 2 - Bore	p-value = 0.583 (Non significatif)	DW = 3.1634, p-value = 0.926 (Indépendant)	W = 0.7693, p-value = 0.03055 (Normalité non respectée)	p-value = 0.9148 (Variances homogènes)
Parcelle 2 - Cuivre	p-value = 0.230 (Non significatif)	DW = 1.4137, p-value = 0.06274 (Indépendant)	W = 0.9343, p-value = 0.6137 (Normalité respectée)	p-value = 0.2705 (Variances homogènes)
Parcelle 2 - Zinc	p-value = 0.638 (Non significatif)	DW = 1.5654, p-value = 0.1055 (Indépendant)	W = 0.9233, p-value = 0.529 (Normalité respectée)	p-value = 0.2235 (Variances homogènes)
Parcelle 2 - Manganese	p-value = 0.467 (Non significatif)	DW = 2.8001, p-value = 0.7508 (Indépendant)	W = 0.8013, p-value = 0.0604 (Normalité non respectée)	p-value = 0.9881 (Variances homogènes)
Parcelle 2 - Fer	p-value = 0.842 (Non significatif)	DW = 2.7764, p-value = 0.7378 (Indépendant)	W = 0.9146, p-value = 0.4676 (Normalité respectée)	p-value = 0.8044 (Variances homogènes)
Parcelle 2 - Sodium	p-value = 0.849 (Non significatif)	DW = 2.0162, p-value = 0.3197 (Indépendant)	W = 0.9269, p-value = 0.5562 (Normalité respectée)	p-value = 0.848 (Variances homogènes)
Parcelle 2 - Silicium	p-value = 0.849 (Non significatif)	DW = 2.0162, p-value = 0.3197 (Indépendant)	W = 0.92687, p-value = 0.5562 (Normalité respectée)	p-value = 0.848 (Variances homogènes)

Tableau 7 : Résultats statistiques de l'ANOVA sur les analyses foliaires de la parcelle 2

Analyse	1. Résultats de l'ANOVA	2. Test de Durbin-Watson	3. Test de Shapiro-Wilk	4. Test de Levene
Parcelle 12 - Azote	p-value = 0.303 (Non significatif)	DW = 2.0814, p-value = 0.3556 (Indépendant)	W = 0.8967, p-value = 0.3547 (Normalité respectée)	p-value = 0.7746 (Variances homogènes)
Parcelle 12 - Phosphore	p-value = 0.0264* (Significatif)	DW = 2.2244, p-value = 0.4343 (Indépendant)	W = 0.71561, p-value = 0.008991 (Normalité non respectée)	p-value = 0.9052 (Variances homogènes)
Parcelle 12 - Potassium	p-value = 0.237 (Non significatif)	DW = 1.9138, p-value = 0.2635 (Indépendant)	W = 0.9317, p-value = 0.5933 (Normalité respectée)	p-value = 0.3789 (Variances homogènes)
Parcelle 12 - Calcium	p-value = 0.618 (Non significatif)	DW = 3.1303, p-value = 0.915 (Indépendant)	W = 0.86507, p-value = 0.2072 (Normalité respectée)	p-value = 0.7922 (Variances homogènes)
Parcelle 12 - Magnesium	p-value = 0.818 (Non significatif)	DW = 3.121, p-value = 0.9117 (Indépendant)	W = 0.92902, p-value = 0.5726 (Normalité respectée)	p-value = 0.9775 (Variances homogènes)
Parcelle 12 - Bore	p-value = 0.00947** (Significatif)	DW = 1.4762, p-value = 0.07903 (Acceptable)	W = 0.92999, p-value = 0.58 (Normalité respectée)	p-value = 0.3486 (Variances homogènes)
Parcelle 12 - Cuivre	p-value = 0.119 (Non significatif)	DW = 2.126, p-value = 0.3801 (Indépendant)	W = 0.96356, p-value = 0.8467 (Normalité respectée)	p-value = 0.2962 (Variances homogènes)
Parcelle 12 - Zinc	p-value = 0.639 (Non significatif)	DW = 2.1478, p-value = 0.3922 (Indépendant)	W = 0.88729, p-value = 0.3042 (Normalité respectée)	p-value = 0.5877 (Variances homogènes)
Parcelle 12 - Manganese	p-value = 0.21 (Non significatif)	DW = 2.2707, p-value = 0.4597 (Indépendant)	W = 0.9045, p-value = 0.4012 (Normalité respectée)	p-value = 0.4215 (Variances homogènes)
Parcelle 12 - Fer	p-value = 0.196 (Non significatif)	DW = 2.8077, p-value = 0.755 (Indépendant)	W = 0.8005, p-value = 0.05939 (Normalité non respectée)	p-value = 0.8536 (Variances homogènes)
Parcelle 12 - Sodium	p-value = 0.814 (Non significatif)	DW = 1.3664, p-value = 0.05157 (Acceptable)	W = 0.86521, p-value = 0.2078 (Normalité respectée)	p-value = 0.6689 (Variances homogènes)
Parcelle 12 - Silicium	p-value = 0.814 (Non significatif)	DW = 1.3664, p-value = 0.05157 (Acceptable)	W = 0.86521, p-value = 0.2078 (Normalité respectée)	p-value = 0.6689 (Variances homogènes)

Tableau 8 : Résultats statistiques de l'ANOVA sur les analyses foliaires de la parcelle 12

RESUME

Dans cette expérimentation menée au Château Sainte Roseline, nous avons évalué l'impact de la litière forestière fermentée (LFF) sur les sols viticoles, notamment sur la charge microbienne, la vitalité biologique des sols, et l'état hydrique des vignes via l'indice des apex. Des analyses foliaires ont également été réalisées. L'étude, conduite sur deux parcelles (SR2 et SR12) avec des modalités témoin et traitée, n'a pas révélé de différences significatives entre les modalités pour la charge microbienne ou la vitalité biologique. Bien que les boxplots montrent des variations entre le niveau initial (T0) et les mesures après traitement, celles-ci ne sont pas statistiquement significatives, indiquant un impact limité à court terme. L'effet de la LFF sur l'état hydrique des vignes n'a pas non plus été démontré, bien que certains résultats d'analyses foliaires aient montré des différences significatives.

Ces résultats soulignent l'importance d'une approche à long terme pour évaluer pleinement l'impact de la LFF, en prenant en compte des facteurs environnementaux comme l'humidité et la température qui influencent la vie microbiologique.