



**HAL**  
open science

# Influence de la litière forestière fermentée appliquée à la vigne dans une problématique d'amélioration des caractéristiques du sol et du développement de la plante

Angélique Picard

## ► To cite this version:

Angélique Picard. Influence de la litière forestière fermentée appliquée à la vigne dans une problématique d'amélioration des caractéristiques du sol et du développement de la plante. Sciences du Vivant [q-bio]. 2022. dumas-04079976

**HAL Id: dumas-04079976**

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04079976v1>

Submitted on 25 Apr 2023

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

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

## Mémoire de fin d'études

présenté pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Agronome  
Spécialité : Viticulture-Cœnologie

**Influence de la litière forestière fermentée appliquée à la vigne dans  
une problématique d'amélioration des caractéristiques du sol et du  
développement de la plante.**



par Angélique PICARD

Année de soutenance : 2022

Organisme d'accueil : Cabinet d'Agronomie Provençale



# **Mémoire de fin d'études**

**présenté pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Agronome  
Spécialité : Viticulture-Oenologie**

**Influence de la litière forestière fermentée appliquée à la vigne dans  
une problématique d'amélioration des caractéristiques du sol et du  
développement de la plante.**



**par Angélique PICARD**

**Année de soutenance : 2022**

**Mémoire préparé sous la direction de :**

**Brigitte BRUNEL**

**Présenté le : [30/08/2022]**

**Devant le jury :**

**Brigitte BRUNEL**

**Raphaël METRAL**

**Laetitia MOULS**

**Organisme d'accueil : Cabinet  
d'Agronomie Provençale**

**Maître de stage : Laurence  
BERLEMONT**



## RESUME

### **INFLUENCE DE LA LITIERE FORESTIERE FERMENTEE APPLIQUEE A LA VIGNE DANS UNE PROBLEMATIQUE D'AMELIORATION DES CARACTERISTIQUES DU SOL ET DU DEVELOPPEMENT DE LA PLANTE.**

Dans un contexte de transition vers l'agroécologie et de changement climatique, le Cabinet d'Agronomie Provençale a décidé d'entreprendre, il y a trois ans, des essais sur la litière forestière fermentée (Lifofer) en viticulture. La mise en œuvre de cette technique artisanale à base de microorganismes endogènes a été expérimentée dans le but de trouver un compromis pour faciliter le développement du végétal et d'améliorer la vie du sol, tout en diminuant la consommation en eau lors de l'irrigation. L'objectif est aussi de répondre à une demande grandissante de la clientèle souhaitant diminuer leurs impacts environnementaux. Les résultats scientifiques sur la vigne étant très rares, c'est ainsi que nous avons débuté ces expérimentations il y a trois ans en 2020.

Trois modalités d'application de la Lifofer (aspersion au sol, aspersion foliaire et arrosage des complants en vigne) ont été mises en place pour identifier celles qui permettraient d'obtenir l'effet le plus important de la Lifofer. Ces trois dernières années, nous avons observé que le développement du végétal était plus significatif lorsque l'application est faite sur le sol ou par arrosage des plants de vignes par rapport à une application foliaire. Néanmoins, les applications foliaires de Lifofer permettent d'améliorer significativement la photosynthèse de la vigne. Les applications foliaires et au sol permettent de retarder le débourrement de la vigne idéal pour les parcelles gélives. Au niveau de l'état hydrique de la vigne, l'effet est plus visible sur la modalité sol. Concernant le statut azoté, il y a une différence en faveur de la modalité traitée foliaire lors des deux premières années mais pas sur la dernière année. Ces résultats seront à confirmer lors d'une quatrième année. Aucun effet sur l'état sanitaire n'est apparu lors des expérimentations. Les données obtenues sur l'amélioration des caractéristiques du sol restent encore à confirmer lors de la reconduite de l'essai avec notamment les analyses métagénomiques et celles de l'état hydrique du sol. Concernant la physiologie de la vigne, les effets observés permettent de générer des différences entre les modalités notamment au niveau de la croissance végétative (sol et complants) et le taux de débourrement (sol et foliaire). Au niveau de l'état hydrique de la vigne, l'effet est plus visible sur la modalité sol. Les essais menés permettent d'observer une influence de la Lifofer sur la vigne à plusieurs niveaux. Certaines analyses seront reconduites lors d'une quatrième année d'expérimentation avec la poursuite d'analyse sur raisin et vin.

#### Mots clés

Agroécologie, litière forestière fermentée, viticulture, microorganismes endogènes, développement végétal

**Pour citer ce document :** Picard Angélique, 2022. Influence de la litière forestière fermentée appliquée à la vigne dans une problématique d'amélioration des caractéristiques du sol et du développement de la plante. *Mémoire d'Ingénieur Agronome, option Viticulture-Cœnologie,*

*Institut Agro Montpellier, 116p.* Institut Agro | Montpellier, 2 place Pierre Viala, 34060  
Montpellier cedex 02. <https://www.montpellier-supagro.fr/>

## ABSTRACT

**Title: Influence of fermented forest litter applied to vines in the context of improving soil characteristics and plant development.**

In the context of the transition to agro-ecology and climate change, the Cabinet d'Agronomie Provençale decided three years ago to undertake trials on fermented forest litter (Lifofer) in viticulture. The implementation of this home-made technique based on endogenous micro-organisms was tested with the aim of finding a compromise to facilitate plant development, improve soil life, while reducing water consumption during irrigation. The objective is also to respond to a growing demand from customers wishing to reduce their environmental impact. As scientific results on vines are very rare, we started these experiments three years ago in 2020.

Three application modalities of Lifofer (ground spray, foliar spray and vine watering) were set up to identify which would give the greatest effect of Lifofer. Over the last three years, we have observed that plant development is more significant when applied to the soil or by drenching the vines than when applied as a foliar spray. Nevertheless, foliar applications of Lifofer improve the photosynthesis of the vine. Foliar and soil applications delay the budburst of the vines, which is ideal for frosty plots. The effect on the water status of the vine is more visible with the soil application. As for nitrogen status, the first two years show a visible effect between the modalities in the foliar experiment but not in the last year. These results will be confirmed in a fourth year. No effect on sanitary pressure was observed in the experiments. The data obtained on the improvement of the soil characteristics still need to be confirmed during the renewal of the trial, in particular with the meta-genomic analyses and those of the soil's water status. Concerning the physiology of the vine, the effects observed make it possible to generate differences between the modalities, particularly in terms of the vegetative growth of the modality (soil and roots) and the bud break rate (soil and foliage). The effect on the water status of the vines is more visible on the soil modality. The trials carried out allow us to observe an influence of Lifofer on the vine at several levels. Some of the analyses will be repeated in a fourth year of experimentation with further analysis of grapes and wine.

**Key words :** Agroecology, fermented forest litter, viticulture, endogenous microorganisms, plant development

**To cite this document:** Picard Angélique, 2022. Influence de la litière forestière fermentée appliqué à la vigne dans une problématique d'amélioration des caractéristiques du sol et du développement de la plante. *Mémoire d'Ingénieur Agronome, option Viticulture-Œnologie, Institut Agro Montpellier, 115 p.* Institut Agro | Montpellier, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier cedex 02. <https://www.montpellier-supagro.fr/>

*Encouragez-vous, élevez-vous et renforcez-vous les uns les autres, car l'énergie positive que reçoit une personne sera ressentie par nous tous.*  
DEBORAH DAY

*Si chacun de nous fait le peu qu'il peut avec conviction et responsabilité, je vous assure que l'on fera énormément.*  
PIERRE RABHI

## REMERCIEMENTS

Ce mémoire représente l'aboutissement de trois ans d'expérimentations sur les microorganismes endogènes. Avant de poursuivre dans la rédaction technique de celui-ci, je souhaiterais remercier l'ensemble des personnes qui ont participé de près ou de loin à la rédaction de ce travail. Cette expérience m'a aussi permis de promouvoir mon évolution professionnelle et personnelle.

Dans un premier temps, je tiens à remercier chaleureusement Laurence Berlemont, gérante du Cabinet d'Agronomie Provençale et maître d'apprentissage lors de mon contrat d'apprentissage pour la confiance qu'elle a su m'accorder au cours de ces 4 dernières années mais aussi pour toutes les démarches qu'elle a mise en place pour le bon déroulement de cette expérimentation.

Je remercie également Patrick Deveaux, associé de Madame Berlemont, pour les conseils et les discussions techniques précieuses pour la réalisation de l'expérimentation.

Mes remerciements s'adressent également à Clément Prelat, consultant en viticulture-œnologie pour le temps accordé à la vérification des protocoles et à l'entreprise Rézomes, spécialisée dans les intrants naturels fermentés, pour l'aide à l'élaboration de ces derniers.

Je tiens à remercier les membres de Potagers & compagnie, qui expérimentent, eux-aussi, les microorganismes efficaces appliqués au maraîchage pour avoir fourni les solutions de microorganismes fermentés et pour leurs conseils.

Je dédie un merci particulier à toutes les personnes que j'ai pu rencontrer au cours de cette expérience professionnelle et qui ont pour la plupart fait les déplacements pour suivre et analyser certaines parcelles et notamment Charlene Janin, Romain Careghi, Michel Dussopt.

Enfin, je remercie, Anna Li, pour son expertise dans le déroulement des expérimentations. Emma Estrella, qui a été mon bras droit lors de cette dernière année et qui a pu suivre les expérimentations de près lors de mes périodes scolaires.

Mes sincères gratitude aussi pour l'ensemble de l'équipe pédagogique de l'Institut Agro de Montpellier et plus particulièrement vers mes tutrices, Laetitia Mouls et Brigitte Brunel. Merci pour tout le savoir que vous nous avez transmis, pour la qualité de l'enseignement et aussi pour tous ces moments partager qui resteront à jamais gravé dans ma mémoire.

Merci à toi Elsa Signoret, pour m'avoir soutenu notamment lors de ces 2 dernières années de spécialisation en viticulture-œnologie.

Un petit mot spécial pour mes amis et ma famille qui ont toujours été un soutien sans faille mais aussi pour leurs conseils et leur tendresse qu'ils m'ont apporté tout au long de ma scolarité.



# TABLE DES MATIERES

<b>Résumé.....</b>	<b>1</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>3</b>
<b>Remerciements.....</b>	<b>5</b>
<b>Table des matières.....</b>	<b>7</b>
<b>Table des illustrations.....</b>	<b>10</b>
<b>Table des tableaux.....</b>	<b>12</b>
<b>Table des annexes.....</b>	<b>14</b>
<b>Avant-Propos.....</b>	<b>16</b>
<b>Glossaire.....</b>	<b>18</b>
<b>Sigles et acronymes.....</b>	<b>20</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>22</b>
<b>1. Contexte.....</b>	<b>24</b>
Principes généraux.....	24
La découverte du Docteur Teruo Higa : la technologie des microorganismes endogènes.....	24
Les microorganismes dits efficaces dans la solution.....	26
Les résultats de l'application de la technologie artisanale des microorganismes endogènes rapportés dans la bibliographie.....	28
Les autres produits comparables sur le marché.....	30
<b>2. Problématique et démarche.....</b>	<b>32</b>
<b>Matériel et méthodes.....</b>	<b>38</b>
<b>1. Fabrication de la litière forestière fermenté.....</b>	<b>38</b>
La fabrication (Figure 3).....	38
<b>2. Parcelles étudiées.....</b>	<b>38</b>
Protocole traitement foliaire, application de Lifofer sur le feuillage.....	40
Protocole traitement sol, application de Lifofer sur le sol.....	42
Application de Lifofer sur complants, modalité racines.....	46
Descriptions des analyses.....	48
<b>Résultats.....</b>	<b>56</b>
<b>1. Modalité foliaire.....</b>	<b>56</b>
Impact de la Lifofer sur le développement physiologique de la vigne.....	56
Taux de débourrement 2022 :.....	56
Croissance végétative 2020, 2021 et 2022 :.....	56
Estimation de rendement 2022 :.....	58
Effets sur le statut hydrique de la vigne.....	58
Effets sur le statut minéral de la vigne.....	58
<b>2. Modalité sol.....</b>	<b>62</b>
Effets de la Lifofer sur le développement physiologique de la plante.....	62
Effets de la Lifofer sur le statut hydrique de la vigne et du sol.....	64
Effet de la Lifofer sur le statut azoté de la vigne.....	64
Analyses du sol.....	64

<b>3. Modalité racines .....</b>	<b>66</b>
Croissance végétative .....	66
<b>4. La Lifofer .....</b>	<b>68</b>
<b>Discussion et perspectives.....</b>	<b>70</b>
<b>1. Discussion des résultats.....</b>	<b>70</b>
1.1. Un taux de débourrement plus faible en présence de Lifofer. ....	70
1.2. Une cinétique de croissance végétative différente.....	70
Une estimation du rendement similaire .....	72
1.3. Le statut minéral.....	72
1.4. Conséquence sur l'état hydrique de la vigne et du sol. ....	76
1.5. Influence sur la pression sanitaire.....	76
1.6. Caractéristiques physico-chimiques du sol. ....	76
1.7. Les analyses métagénomiques de la Lifofer et du sol traité par la Lifofer.....	78
<b>2. Réponse aux objectifs.....</b>	<b>80</b>
<b>3. Limites de l'étude.....</b>	<b>80</b>
<b>4. Recommandations pour la suite de l'expérimentation.....</b>	<b>80</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>84</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>85</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>88</b>



## TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Interactions entre les microorganismes (Higa, 2011) .....	25
Figure 2 : Étapes de la fabrication de la litière forestière fermentée .....	37
Figure 3 : Préparation de la Lifofer, de la matière décomposée à la solution liquide (de gauche à droite 1ère ligne : prélèvement de matière en décomposition ; matière en décomposition avec petit lait, mélasse et du son de blé pour réaliser la fermentation solide / de gauche à droite 2 <sup>ème</sup> ligne : mélange du substrat solide fermenté à de l'eau ; filtration de la solution liquide après fermentation ; mise en cubis pour conservation et emploi). (Picard, 2021).....	37
Figure 4 : Design de l'expérimentation foliaire sur la parcelle de Cinsault/Rolle, en bleu : Cinsault avec "Témoin" (10 rangs) et "Traité" (7 rangs) ; en jaune : Rolle avec "Témoin" (7 rangs) et "Traité" (7 rangs).....	39
Figure 5 : Design de l'expérimentation sur la parcelle "Plantier" de Cinsault au Domaine de La Carbonnelle, application de la Lifofer par pulvérisation sur le sol. En bleu : bloc « témoin » (Te) ; en orange : bloc « traité » (Tr).....	41
Figure 6 : Design de l'expérimentation racines (complantation) sur la parcelle « Complants » de Cinsault, en orange : complants « traités » (Tr) ; en bleu : complants « témoins » (Te)....	45
Figure 7 : Appareil utilisé pour les mesures de l'intensité colorante du feuillage (N Tester, CCM-200 plus Opti-Sciences). .....	49
Figure 8 : Sonde capacitive Spectrum SM100 (SDEC, France) pour mesurer le volume d'eau du sol du traitement d'apport de la Lifofer au sol à gauche et sondes installées à 2 profondeurs (60 et 30 cm) à droite (parcelle « Plantier » au Domaine de la Carbonnelle). .....	51
Figure 9 : Chambre à pression à gauche et explication schématique de son utilisation à droite (Ojeda, 2007). On positionne la feuille en faisant ressortir le pétiole dans la chambre hermétique, on fait entrer l'azote sous forme gazeuse dans cette chambre jusqu'à ce que la sève ressorte du pétiole puis on lit la mesure de pression sur le manomètre. ....	51
Figure 10 : Description de reconnaissance du Mildiou de la vigne (Guide de l'observateur, Draaf Nouvelle-Aquitaine).....	53
Figure 11 : Taux de débourrement du Rolle (à gauche en jaune et bleu) et du Cinsault (à droite en orange et bleu) N+2 de la parcelle "Bureaux" à la Ferme Saint Georges, comptés à 2 dates (« pointe verte » = mi-avril 2022 et « 8 feuilles » = mi-mai 2022). Les barres représentent les écarts types. Traité : application foliaire de la Lifofer ; témoin : application avec de l'eau. ...	55
Figure 12 : Croissance végétative année N+2 (2022) sur Rolle à gauche et Cinsault à droite. (Cv1 = croissance végétative relevé 1 ; Cv2 = croissance végétative relevé 2 ; Cv3 = croissance végétative relevé 3). .....	55
Figure 13 : Estimation de rendement en raisins (kg/cep) sur Rolle à gauche et Cinsault à droite, modalité foliaire à N+2, parcelle "Bureaux". Les barres représentent les écarts types. Traité : application foliaire de la Lifofer et témoin : application avec de l'eau.....	57
Figure 14 : Potentiel hydrique de base (MPa) pour la mesure du stress hydrique de la plante sur Rolle à gauche et Cinsault à droite, parcelle "Bureaux" de la Ferme Saint Georges en N+2. Traité : application foliaire de la Lifofer et témoin : application avec de l'eau. ....	57
Figure 15 : Indice chlorophyllien (N Tester) sur la modalité foliaire, parcelle "Bureaux" à la Ferme Saint Georges, sur 2020, 2021. A gauche, les valeurs mesurées sur le cépage Rolle en jaune/bleu et à droite, les valeurs de Cinsault en orange/bleu.....	59
Figure 16 : Taux de débourrement (%) modalité sol sur Cinsault en N+2, parcelle "Plantier" au Domaine de la Carbonnelle. Témoin : aspersion d'eau au sol ; traité : aspersion de Lifofer au sol. ....	61

Figure 17 : Croissance végétative (Cv) en cm sur Cinsault N+2, modalité sol, parcelle "Plantier" au Domaine de La Carbonnelle mesurée sur 4 dates consécutives. Témoin : aspersion d'eau au sol ; traité : aspersion de Lifofer au sol. ....	61
Figure 18 : Cinétique de croissance sur Cinsault (cm) en N+2, modalité sol, parcelle "Plantier" au Domaine de La Carbonnelle (Cin1 = cinétique 1 ; Cin2 = cinétique ; Cin3 = cinétique 3). Témoin : aspersion d'eau au sol ; traité : aspersion de Lifofer au sol. ....	61
Figure 19 : Nombre moyen de grappes par cep (N+2 ou 2022) sur Cinsault, modalité sol, parcelle "Plantier" au Domaine de La Carbonnelle. Témoin : aspersion d'eau au sol ; traité : aspersion de Lifofer au sol. Les barres représentent l'écart-type. ....	63
Figure 20 : Potentiel hydrique de base (MPa) sur Cinsault, modalité sol, parcelle "Plantier" au Domaine de La Carbonnelle. Témoin : aspersion d'eau au sol ; traité : aspersion de Lifofer au sol. Les barres représentent l'écart-type. ....	63
Figure 21 : Teneur en eau volumique (%VWC) sur Cinsault en N+2 avec sondes capacitives à deux profondeurs (30cm et 60cm), modalité sol, parcelle "Plantier" du Domaine de La Carbonnelle. ....	63
Figure 22 : Statut azoté sur Cinsault en N+2 (N Tester), modalité sol, parcelle "Plantier" au Domaine de La Carbonnelle. Témoin : aspersion d'eau au sol ; traité : aspersion de Lifofer au sol. Les barres représentent l'écart-type. ....	65
<i>Figure 23 : Croissance végétative des complants, modalité racines année N+2 (Moy1 = moyenne au premier relevé ; Moy2 = moyenne au deuxième relevé ; Moy3 = moyenne au troisième relevé ; Moy4 = moyenne au quatrième relevé). Témoin : complants arrosés avec de l'eau ; traité : arrosage des complants avec de la Lifofer. Les barres représentent l'écart-type. ....</i>	<i>65</i>
Figure 24 : Visualisation graphique des champignons détectés dans la solution de Lifofer par analyse métagénomique Biome makers (Krona).....	67
Figure 25 : Visualisation graphique des bactéries détectées dans la solution de Lifofer par analyse métagénomique Biome makers (Krona).....	67

## TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Tableau des modalités réalisées avec épandage au niveau des feuilles, du sol ou des racines de vignes sur les parcelles de La Ferme Saint Georges et Domaine de La Carbonnelle et de leurs analyses et suivis.....	37
Tableau 2 : Plan récapitulatif de toutes les actions menées sur l'expérimentation Lifofer foliaire à la ferme Saint-Georges au Cabinet d'Agronomie Provençale sur la parcelle «Bureaux » en fonction des périodes et des stades phénologiques de la vigne.....	39
Tableau 3 : Plan récapitulatif de toutes les actions menées sur l'expérimentation Lifofer sol au Domaine de La Carbonnelle (83) sur la parcelle « Plantier » en fonction des périodes et des stades phénologiques de la vigne. ....	43
Tableau 4 : Plan récapitulatif de toutes les actions menées sur l'expérimentation Lifofer sur complantation sur la parcelle « Complants » au Domaine de La Carbonnelle (83) en fonction des périodes et des stades phénologiques de la vigne. ....	47
Tableau 5 : État hydrique de la vigne en fonction des différentes valeurs de potentiel hydrique (Van Leeuwen et al., 2009), (Célette, 2007), (Ojeda, 2007).....	51
Tableau 6 : Récapitulatif des analyses en fonction des modalités. ....	53
Tableau 7 : Analyses pétiolaire effectuées en 2020 et 2021 sur Cinsault et Rolle pour la modalité foliaire (données du Laboratoire SRDV). ....	57
Tableau 8 : fréquence (%) de la pression de <i>Plasmopara viticola</i> , observé pour la modalité foliaire année N+1 et N+2 à deux dates et pour deux cépages (Rolle et Cinsault). ....	59



## TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : Schéma caractéristique du sol (Kartable).....	88
Annexe 2 : Itinéraire technique des parcelles expérimentales (Picard).....	89
Annexe 3 : Pulvérisateur foliaire Calvet vigne (Picard).....	90
Annexe 4 : Stades phénologiques de la vigne (Institut Français de la Vigne et du Vin) .....	91
Annexe 5 : Barre de désherbage Tecnomat pour l'application de Lifofer au sol, parcelle "Plantier", Domaine de La Carbonnelle (Picard).....	92
Annexe 6 : Echantillon de terre pour l'analyse métagénomique au laboratoire Biomemakers (Picard).....	93
Annexe 7 : Croissance végétative 2020 et 2021 sur Cinsault et Rolle, modalité foliaire (cm). .....	94
Annexe 8 : Graphique du potentiel hydrique de base sur Rolle et Cinsault en année N et N+1, modalité foliaire sur la parcelle "Bureaux" à la Ferme Saint Georges.....	95
Annexe 9 : Activité photosynthétique modalité foliaire sur Cinsault et Rolle en N+2 (N tester) .....	96
Annexe 10 : Croissance végétative sur Cinsault N et N+1, modalité sol, parcelle "Plantier" au Domaine de La Carbonnelle.....	97
Annexe 11 : Analyse de terre de la modalité témoin sur expérimentation sol, parcelle « Plantier » au Domaine de La Carbonnelle.....	98
Annexe 12 : Analyse de terre de la modalité traitée sur expérimentation sol, parcelle "Plantier" au Domaine de La Carbonnelle.....	99
Annexe 13 : Analyse métagénomique (laboratoire Biome makers), modalité témoin sol, parcelle "Plantier" au Domaine de La Carbonnelle.....	100
Annexe 14 : Analyse métagénomique (laboratoire Biome makers), modalité traitée sol, parcelle "Plantier" au Domaine de La Carbonnelle.....	104
Annexe 15 : Analyse métagénomique de la solution de Lifofer (Laboratoire Biome makers) .....	108



## AVANT-PROPOS

Ce mémoire a été rédigé dans le cadre de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Agronome spécialité viticulture-œnologie. Ayant effectué une première année d'apprentissage au sein du Cabinet d'Agronomie Provençale pour une Licence Professionnelle, il a été possible de mettre en place une expérimentation sur les microorganismes efficaces sur 3 millésimes consécutifs. Ces trois années d'essais ont été le temps de mon second contrat d'apprentissage au sein de la même entreprise pour la formation d'Ingénieur Agronome. La mise en place et le suivi de ce type d'expérimentation n'aurait pas été possible sur une durée de stage de 6 mois.

La force du Cabinet d'Agronomie Provençale réside dans la diversité des services proposés. En tant que structure proposant du conseil et des services de prestation, nous avons pu réaliser nous-même ces expérimentations sur les parcelles appartenant à Laurence Berlemont.

Ce travail s'inscrit dans un contexte de recherche et d'innovation pour proposer à notre clientèle des solutions pour pallier les différentes problématiques que les vignobles peuvent rencontrer comme les épuisements des sols, les sécheresses de plus en plus importantes et l'appauvrissement des ressources en eau.



## GLOSSAIRE

Microorganismes endogènes : ce sont des microorganismes présents naturellement dans un environnement donné.

Microorganismes Efficaces (EM) : culture mixte liquide de microorganismes, marque déposée.

Litière forestière : regroupe l'ensemble des feuilles mortes et des débris végétaux en décomposition sur le sol.

Fermentation : transformation d'une substance organique sous l'action d'enzymes sécrétées par des microorganismes.

Anaérobie : se développe en absence d'air ou oxygène.

Aérobie : se développe en présence d'air ou oxygène.

Parcelle : portion de terrain avec une seule et même culture.

Traitement : application de produits adaptés à la vigne.

Pulvérisation : projection de fines gouttelettes sur une surface (feuilles ou sol).

Bouillie : suspension d'un produit pour un traitement dans de l'eau.

« Manière paysanne » : élaboré de manière artisanale, sans suivi d'un processus industrialisé.



## SIGLES ET ACRONYMES

LIFOFER : litière forestière fermentée

ME : microorganismes endogènes

Dr : Docteur

NPK : Azote (N), Phosphore (P), Potassium (K)

PGPR : Plant Growth - Promoting Rhizobacteria

Te : modalité témoin pour les expérimentations

Tr : modalité traitée

Ha : Hectare(s)

pH : potentiel hydrogène

CEC : capacité d'échange cationique

SRDV : Société de Recherche et Développement Viticole

CMA : Champignon Mycorhizogène Arbusculaire

C : Carbone

P : Phosphore

ABA : acide abscissique



## INTRODUCTION

Après des décennies où productions agricoles rimaient avec usage massif de produits phytosanitaires, nous observons aujourd'hui des conséquences catastrophiques au niveau du climat, de l'environnement, de la biodiversité et de la qualité des eaux. A court terme, le réchauffement climatique induira une augmentation globale des températures estimée à +1,5°C (Rapport du GIEC, 2022) et aura des répercussions sur toutes les cultures et notamment la vigne. Les périodes de sécheresse et les aléas climatiques seront plus intenses, fréquents et influenceront la quantité et la qualité de la récolte.

Actuellement, nous vivons une période de transition vers l'agroécologie pour une production plus durable et respectueuse de l'environnement mais aussi pour s'adapter à ces nouvelles conditions. Dans cette évolution, nous pouvons remarquer une utilisation plus importante des biostimulants. Ils sont définis comme étant des solutions « contenant une ou des substances et/ou des micro-organismes dont la fonction, lorsqu'ils sont appliqués aux plantes ou à la rhizosphère, est de stimuler les processus naturels pour améliorer/bénéficier de l'absorption des nutriments, de l'efficacité des nutriments, de la tolérance au stress abiotique et de la qualité des cultures. » (EBIC, 2012). En effet, des recherches menées démontrent que la réponse au stress par la plante est limitée par des molécules de signalisation mais aussi par des microorganismes associés (Marasco et al., 2012 ; Bakker et al., 2014 ; Vandenkoornhuyse et al., 2015). Les biostimulants ont la possibilité d'interagir avec les différents signaux émis par la plante ou avec une stimulation des microorganismes tel que les bactéries, les levures et les champignons à des fins de production de molécules bénéfiques pour la vie de la plante (Biostimulants in agriculture, 2015). Il existe plusieurs types de biostimulants issus de matière biologique ou inorganique tel que la litière forestière fermentée considérée comme biostimulant naturel.

La litière forestière fermentée (Lifofer) est utilisée depuis des décennies en Asie et en Amérique Latine pour une agriculture sans intrant de synthèse. C'est seulement à partir de 2016 que cette technique apparaît en France et que des études sont menées dans l'Hexagone principalement sur le maraîchage et l'arboriculture par l'association Terre & Humanisme fondée par Pierre Rabhi. Aujourd'hui, on compte une cinquantaine de pays producteurs de solution et 130 pays utilisateurs (Dorian Félix, 2015).

Dans le cadre de ce changement vers l'agroécologie, il est important pour les acteurs de la filière viticole de prendre part à ce mouvement. Les résultats étant moins nombreux voir rares sur la culture de la vigne quant à l'application de Lifofer, nous avons décidé de mener un travail sur cette thématique. Le Cabinet d'Agronomie Provençale souhaite être capable de proposer un conseil construit et basé sur des faits prouvés à leur clientèle afin de les accompagner dans cette démarche vers une viticulture durable.

Tout d'abord, je commencerai par une description plus précise de la Lifofer et des microorganismes qui la compose, puis j'exposerai le travail mené lors de ces trois dernières années au sein de l'entreprise.



# 1. CONTEXTE

## Principes généraux

Dans le cadre du rétablissement de l'activité biologique des sols et de la diminution de l'utilisation des produits phytosanitaires, l'utilisation de la litière forestière fermentée peut être bénéfique. Les effets de la Lifofer seraient multiples (Terre & Humanisme, 2019). Elle permettrait d'améliorer la structure du sol, d'accroître la biodisponibilité de certains microéléments tel que l'azote ou le phosphore, d'accentuer la germination, la croissance et la fructification mais aussi de limiter l'attaque de certains agents pathogènes des plantes cultivées. La litière forestière fermentée artisanale est issue de matière en dégradation riche en microorganismes qui sera par la suite fermentée dans le but de les multiplier.

## La découverte du Docteur Teruo Higa : la technologie des microorganismes endogènes

La technologie EM® (« microorganismes efficaces »), développée par le Docteur Teruo Higa, originaire du Japon met en œuvre des microorganismes naturellement présents dans l'environnement. Les microorganismes sont dits « efficaces » ou « bénéfiques » car ils participent à l'équilibre de l'écosystème. Ils peuvent être retrouvés dans des milieux spécifiques ou non. Cette technologie est reconnue par la certification biologique aux Etats-Unis, en Australie, en Nouvelle-Zélande... (Dorian Félix, 2015).

C'est à partir des années 80 que le Dr. Teruo Higa prend conscience de la dangerosité des produits phytopharmaceutiques et qu'il décide de s'intéresser de plus près aux microorganismes. Après de nombreux essais où il cultivait les souches de microorganismes séparément, il eut l'idée de les assembler afin de créer une solution commercialisée et brevetée s'appuyant sur un mélange de 80 souches pouvant coexister sous forme latente. Ce mélange de microorganismes dit « efficaces » (EM) constitue une solution pouvant être appliquée au sol ou sur la plante dans l'objectif d'améliorer la diversité microbienne présente (Beneficial and effective microorganisms, Dr Higa, 1994). Progressivement, les agriculteurs se sont appropriés cette technologie en produisant ce type de solution de manière paysanne. On retrouve une différence entre la technologie EM® et la Lifofer, pratique paysanne de la solution. La Lifofer est composée de microorganismes endogènes. Son objectif est de reproduire des souches déjà présentes dans le milieu où la solution sera appliquée, contrairement à la solution qui est constituée de microorganismes « efficaces » développés en laboratoire. Les interactions entre les microorganismes dans les solutions sont encore peu documentées scientifiquement.

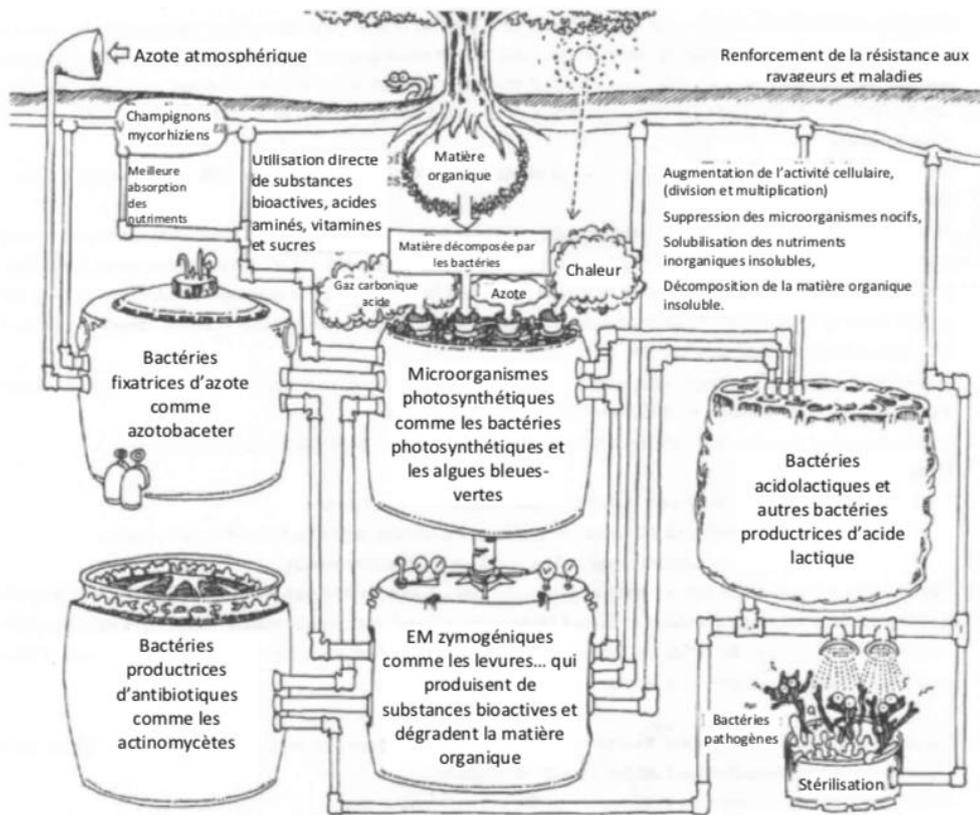


Figure 1 : Interactions entre les microorganismes (Higa, 2011)

## Les microorganismes dits efficaces dans la solution

Il existe différents types de microorganismes dans ces solutions. Les principaux identifiés comme étant bénéfiques sont des levures, des bactéries lactiques, des bactéries phototropiques, des actinomycètes, des champignons filamenteux, des bactéries fixatrices d'azote (Dr Higa, 1994) (Anibal F., Condor Golec, Gonzalez Perez & Chinmay, 2007). Regardons de plus près les principaux microorganismes présents :

- **Les levures** : elles utilisent les acides aminés et les sucres émis par les bactéries photosynthétiques pour se développer et ainsi favoriser la croissance de la plante. Elles synthétisent des substances bio-actives qui facilitent la division des cellules et la croissance racinaire. Ce sont des sécrétions utiles pour certains microorganismes endogènes tel que les bactéries acido-lactiques ou les actinomycètes (Anibal F., Condor Golec, Gonzalez Perez & Chinmay, 2007) (Dorian Félix, 2015).
- **Les bactéries lactiques** : elles ont la capacité de transformer le sucre et les différents glucides en acide lactique et sont considérées comme un stérilisateur pouvant supprimer les pathogènes. De plus, elles permettent d'accélérer la décomposition de la matière organique et d'éviter le développement du Fusarium, champignon responsable en partie des maladies du bois et du dépérissement. Ainsi, la présence de nématodes dans le sol diminue (Anibal F., Condor Golec, Gonzalez Perez & Chinmay, 2007) (Antoine Dionne, Julien Vivancos, 2019) (Dorian Félix, 2015).
- **Les bactéries phototropiques ou photosynthétiques** : elles fonctionnent en aérobie, en synergie avec d'autres microorganismes. Elles sont présentes dans les sols non pollués (Dorian Félix, 2015). Elles permettent à ces derniers de donner accès plus facilement aux nutriments dont la plante a besoin. Ces bactéries utilisent la lumière du soleil et la chaleur comme source d'énergie pour synthétiser des sucres, des substances bio-actives, des acides aminés, nucléiques, pour fixer le CO<sub>2</sub> et dégrader de la matière organique (Anibal F., Condor Golec, Gonzalez Perez & Chinmay, 2007). Lors du processus de photosynthèse, la production d'oxygène permet de créer une synergie entre les bactéries anaérobies et les aérobies dans la solution (Higa & Parr, 1994). Les bactéries phototropiques permettent donc d'élargir le spectre de la microflore présente, de renforcer l'action des autres microorganismes dit « efficaces » et de favoriser la mycorhization avec la présence d'un taux d'acides aminés plus important.
- **Les actinomycètes** : ce sont des bactéries GRAM positives anaérobies. Elles ont un rôle complémentaire par rapport aux bactéries lactiques. En effet, à partir des sucres et des acides aminés produits par les bactéries phototropiques, les actinomycètes sécrètent des antibiotiques, antimicrobiens et antifongiques naturels permettant de limiter la présence de champignons et de bactéries pathogènes. Les actinomycètes ont aussi la capacité de coexister avec les bactéries photosynthétiques (Anibal F., Condor Golec, Gonzalez Perez & Chinmay, 2007). De plus, elles ont la capacité de décomposer plus rapidement la matière organique (Dorian Félix, 2015).
- **Les bactéries fixatrices d'azote** : par symbiose, elles captent l'azote de l'air pour le réintégrer dans le sol. Elles seront donc utiles pour la plante et l'enrichissement du sol.



On peut retrouver l'Azotobacter appartenant aux Gammaproteobacteria comme bactérie fixatrice d'azote.

- **Les champignons filamenteux** : ils ont une bonne capacité pour dégrader la matière organique et produire des substances antimicrobiennes. Ils apportent un équilibre bactérien dans les sols (Dorian Félix, 2015).

### **Les résultats de l'application de la technologie artisanale des microorganismes endogènes rapportés dans la bibliographie**

Depuis une dizaine d'années, les chercheurs se penchent sur la question de l'efficacité des microorganismes efficaces/endogènes sur les cultures. On retrouve donc de plus en plus de références sur les différentes cultures maraîchères et arboricoles mais moins en viticulture. D'une manière générale, les effets retrouvés dans la littérature des EM sont nombreux.

#### ***a- Les résultats dans les cultures maraîchères***

Après des expérimentations menées en 1983 dans différents climats au Japon à la suite de la découverte du Dr. Teruo Higa, les résultats étaient très encourageants pour continuer à travailler sur ce sujet. En effet, ils ont observé un effet positif sur le rendement des arachides avec 75% de rendement en plus par rapport à l'agriculture conventionnelle et sur les carottes avec une augmentation de 12% lorsqu'il y avait utilisation d'EM pour les traitements. Les résultats se sont aussi étendus à la canne à sucre, l'ananas, la pomme-de-terre, les radis, le concombre, les haricots et le soja. Cette solution leur aurait permis aussi de cultiver des fruits européens comme la poire, la pomme et le raisin qui étaient auparavant difficiles à produire dans les régions japonaise (Arakawa, 1989).

Différentes doses d'EM ont été appliquées sur la *Lactuca sativa* et ont permis de démontrer une amélioration de la qualité du sol à travers la rétention d'eau et la matière organique, de la croissance des plants et du rendement, un meilleur contrôle des pathogènes *Pythium* sp et *Fusarium* sp. ainsi qu'une meilleure photosynthèse (Gilbert Chavez Rios, 2012).

Au Pakistan, des expérimentations ont été menées sur le pois. Il a été conclu que la première année d'application foliaire d'EM n'avait pas d'impact sur la croissance et le rendement des pois. Cependant, ils ont observé que cette solution additionnée à un engrais NPK améliorerait de manière significative la nodulation et le rendement de cette culture (Arshad Javaid, 2016).

Sur les plants d'oignons, l'utilisation d'EM en pulvérisation foliaire a été étudiée. Les résultats démontrent un meilleur rendement et une meilleure qualité (Fawzy, El magd M., Yunsheng Li, Zhu Ouyang & A. M. Hoda, 2012).

Lorsqu'on compare l'utilisation de litière forestière fermentée paysanne par rapport à la solution commerciale d'EM, il apparaît une meilleure efficacité et un rendement plus élevé avec les microorganismes endogènes provenant d'un milieu proche de celui de la culture de la blette. Plus généralement, il y a une modification des propriétés du sol avec un taux de matière organique, un pH, et la disponibilité de l'azote qui sont plus importants avec des applications de microorganismes qu'ils soient issus du commerce ou non. (Campo-Martinez, Acosta-Sanchez, Morales-Velasco & Prado 2014).



D'après des expérimentations menées sur fraises en Équateur et au Pérou, il a été démontré qu'inoculer des microorganismes endogènes dans le sol permettrait d'avoir un nombre de feuilles plus importants, des racines plus développées et un meilleur rendement (Manuel Alvarez, Franz Tucta, Evelyn Quispe, Victor Meza. 2019).

### ***b- Les résultats en viticulture***

On retrouve peu de références bibliographiques en viticulture. Néanmoins il a été observé qu'il y avait une différence significative avec un taux de polyphénols dans les baies moins élevé lorsque les vignes étaient traitées avec les EM. L'acide tannique concerné est le flava-3-ols (Alicja Auriga, Ireneusz Ochmian, Jacek Wróbel, Jan Oszmiański, 2018).

De plus, en Nouvelle-Zélande, les EM sont utilisés à différents niveaux dans certains domaines viticoles notamment pour la santé des sols, l'efficacité des engrais et le traitement des eaux depuis plusieurs années (Daly, M.J., Arnst, B., 2005).

L'application de microorganismes efficaces apporte une augmentation du rendement (Daly, 1996. Sangakkara & Higa, 2000), une amélioration la qualité des sols et du développement de la plante (Sangakkara & Higa, 2000. Hussain, et al. 2000), et une meilleure santé de la plante en diminuant notamment les maladies (Robotic et al. 2001).

### **Les autres produits comparables sur le marché**

Relever le défi de produire des aliments sains pour une population grandissante tout en respectant l'environnement amène les agriculteurs à l'utilisation de nouvelles méthodes et nouveaux produits. Afin de réduire l'utilisation de produits phytosanitaires, des produits dérivés de processus naturels comparable à la Lifofer apparaissent sur le marché. Ils visent notamment l'amélioration du fonctionnement du sol, le bien-être de la plante et favorisent les interactions entre le sol et la plante. Parmi ces produits, figurent principalement les SDP (stimulateur de défense des plantes), les biostimulants, qui ont la possibilité d'avoir une influence sur le sol ou sur la plante, et enfin, les produits associés à la stimulation en général (Biointrait, PGPR...).

L'efficacité de ces produits et plus particulièrement l'utilisation des microorganismes sur les cultures et le sol serait influencée par le type de sol, le microbiome déjà présent, les conditions environnementales, le système de culture et la présence de pathogènes.

Les effets agronomiques des SDP et des biostimulants revendiqués par les organismes sont nombreux (Bio by Deloitte & Rittmo Agroenvironnement, 2014). Parmi eux, la résistance biotique et abiotique, l'amélioration de la croissance et du développement de la plante, une meilleure absorption des nutriments du sol par la plante ainsi qu'une qualité des récoltes supérieure. En effet, les biostimulants issus d'extraits marins pourraient augmenter l'absorption de l'azote minérale par la plante et notamment sur le blé (Laurent et al., 2020). De plus, des biostimulants composés d'hydrolysats de protéines de soja ou de caséine ont la capacité de renforcer l'immunité de la vigne contre les attaques des pathogènes comme *Plasmopara viticola* (Kryzaniak et al., 2017).

Les PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) font partie des microorganismes utilisés en tant que biostimulants. Ces bactéries, dérivées de la racine ont un effet bénéfique sur la



croissance des plantes (Lugtenberg & Kamilova, 2009). Les racines sécrètent des métabolites pouvant être utilisés comme nutriments utiles à l'action de ces bactéries (Lugtenberg & Kamilova, 2009).

Les MCA (Champignons Mycorhizogènes Arbusculaires) ont la possibilité d'être inoculés sur différentes cultures. On parle ici de mycorhization qui est défini par une symbiose entre les champignons et les racines. Des études ont démontré que leur inoculation améliorerait la croissance végétative notamment dans des conditions de stress hydrique sur des cultures types blé (Belabed, 2015), riz (Effa Effa, 2020) et arbres fruitiers (Guissou, Bâ, Planchette, Guinko & Duponnois, 2001).

Néanmoins, l'importance du taux de mycorhization n'aurait pas de lien avec leur efficacité sur la croissance des arbres fruitiers (Guissou, Bâ, Planchette, Guinko & Duponnois, 2001).

Les MCA permettraient aussi de diminuer la présence de conidies responsable de l'oïdium sur blé (Mustafa, 2015).

Certaines substances humiques, composant des biostimulants, ont des effets directs sur les voies métaboliques primaires. Elles permettent l'amélioration de la respiration et de la photosynthèse des plantes. Ces dernières favorisent aussi l'assimilation des ions du sol par la plante notamment par la stimulation de l'expression des transporteurs d'ions au niveau des racines ou par la formation de complexes d'ions sous forme libre (Bio by Deloitte & Rittmo Agroenvironnement, 2014).

Les effets des produits biostimulants/SDP sont nombreux et encore mal connus pour la plupart. Aujourd'hui, la connaissance des mécanismes et la compréhension de l'impact des microorganismes sur la croissance et le développement des cultures fait l'objet de nombreuses études.

## **2. PROBLEMATIQUE ET DEMARCHE**

L'agriculture et plus particulièrement la viticulture appauvrissent les sols de manière importante. Depuis les années 60, l'agriculture intensive, l'utilisation d'herbicides suivis de la multiplication des travaux du sol et de l'application du cuivre sur la vigne ont progressivement détruit les sols. En conséquence, 90% de l'activité biologique des sols cultivés a été détruite en Europe (Bourguignon, 2010). L'arboriculture et la viticulture sont les cultures les plus touchées par ce phénomène. Cette observation se fait en partie avec la diminution de la matière organique durant les 50 dernières années. Elle est passée de 4% à 1,4% en moyenne dans les sols (Bourguignon, 2010). C'est avec un taux de matière organique trop bas que nous verrons la faune disparaître de nos sols.

Dans un contexte de changement vers une viticulture durable où la prise en compte de la vie du sol et du bien-être de la plante rentre dans la démarche, l'utilisation d'EM peut devenir un levier pour participer à l'amélioration et au développement de l'agroécologie dans nos parcelles. En effet, le Cabinet d'Agronomie Provençale investit dans la recherche au niveau de la Lifofer. L'objectif étant de favoriser la santé de la plante et sa croissance, qui, progressivement fait face à des sécheresses de plus en plus intense. A plus long terme, l'objectif sera de diminuer la



consommation en eau lors des arrosages tout en ayant cet effet booster et qui permettra la croissance.

Le peu de références qui existent aujourd'hui sur les EM en viticulture amène à expérimenter de manière scientifique cette « nouvelle » technique avec la problématique suivante :

*L'innovation de la technologie artisanale des microorganismes endogènes (Lifofer) peut-elle améliorer les caractéristiques du sol et le développement de la vigne dans le cadre de la transition vers l'agro-écologie en climat méditerranéen ?*

Je vais étudier à travers 3 modalités d'application différentes les impacts de la Lifofer : par aspersion au sol, par arrosage sur nouveau plant (complant) et par aspersion foliaire.

Je considère que la modalité foliaire aura davantage d'impact sur la lutte contre les maladies par occupation de la feuille par les microorganismes ainsi que sur le développement de la vigne via l'amélioration de la photosynthèse.

J'émetts aussi l'hypothèse que la modalité par arrosage des complants induira un meilleur développement de la vigne et pourrait améliorer l'interaction entre le sol et la vigne avec un meilleur enracinement.

Enfin, l'hypothèse concernant une pulvérisation au sol de la Lifofer permettra d'améliorer les caractéristiques du sol et plus particulièrement le taux de matière organique. Par conséquent, il y aurait une meilleure rétention en eau, ce qui permettra de faciliter les interactions sol/plante.

Pour répondre à cette problématique, ces hypothèses de travail me permettent de cibler des analyses spécifiques à chaque modalité.

Différentes solutions de microorganismes sont présentes sur le marché mais l'acclimatation des microorganismes exogènes sur un sol reste limitée. La technologie artisanale des EM nous amène à utiliser un microbiote endogène propre à l'environnement d'une parcelle. Dans notre cas, nous prélevons une source riche en microorganismes endogènes à proximité de la parcelle cultivée dans un milieu naturel, sans trace d'activité humaine, puis nous multiplions et sélectionnons les microorganismes en condition anaérobie. Enfin, nous diluons la solution obtenue pour l'appliquer par pulvérisation dans le but d'obtenir ce microbiote indigène.

Des mesures seront effectuées comme le taux de débourrement des bourgeons latents, qui constitue un stade phénologique important. En effet, les températures du milieu auxquelles sont exposés les bourgeons conditionnent sa précocité pouvant varier d'un cépage à un autre, en fonction de l'année, du terroir et des facteurs intrinsèques liés à la plante. Le taux de débourrement a pour but d'évaluer l'équilibre charge/vigueur et la mise en réserve de la vigne en fonction du climat. Un pourcentage de débourrement correct et un débourrement homogène reflètent un bon fonctionnement physiologique interne de la vigne, une bonne conduite et pratique culturale.

Le suivi de la croissance végétative est nécessairement associé à l'activité physiologique des différents organes de la plante qui assurent :

- L'absorption d'eau et d'éléments fertilisants, ainsi que leur conduction ;
- La photosynthèse et la conduction des métabolites ;
- La respiration ;
- L'évapotranspiration.



La mesure de l'intensité colorante de manière non destructive par transmittance permet de réaliser un diagnostic rapide de la nutrition azotée de la vigne. En effet, il y a une corrélation entre la concentration en chlorophylle et la teneur en azote des feuilles de la zone des grappes (Spring, 1999). Une fois que la feuille a atteint sa taille adulte, la teneur en chlorophylle et la capacité photosynthétique sont maximales (Spring et Zufferey, 2000).

L'analyse pétiolaire permet de connaître, à un stade de développement donné, la composition minérale des feuilles et son évolution en fonction des stades phénologiques (Carbonneau & Torregrosa, 2020).

La mesure du taux d'humidité du sol va déterminer essentiellement les caractéristiques de diffusion ou de stockage de l'eau dans ce sol.

Enfin, l'état sanitaire peut influencer la quantité et la qualité du rendement de manière importante.



Figure 2 : Étapes de la fabrication de la litière forestière fermentée



Figure 3 : Préparation de la Lifofer, de la matière décomposée à la solution liquide (de gauche à droite 1ère ligne : prélèvement de matière en décomposition ; matière en décomposition avec petit lait, mélasse et du son de blé pour réaliser la fermentation solide / de gauche à droite 2<sup>ème</sup> ligne : mélange du substrat solide fermenté à de l'eau ; filtration de la solution liquide après fermentation ; mise en cubis pour conservation et emploi). (Picard, 2021)

Tableau 1 : Tableau des modalités réalisées avec épandage au niveau des feuilles, du sol ou des racines de vignes sur les parcelles de La Ferme Saint Georges et Domaine de La Carbonnelle et de leurs analyses et suivis.

Modalité	Foliaire « Bureaux »	Sol « Plantier »	Racines « Complants »
<b>Témoin</b>	Pulvérisation eau sur la partie foliaire de la plante	Pulvérisation avec une rampe d'eau au sol sous le rang et dans le rang	Arrosage des plants de vigne avec de l'eau
<b>Traité</b>	Pulvérisation eau + Lifofer sur la partie foliaire de la plante	Pulvérisation avec une rampe d'eau + Lifofer au sol sous le rang et dans le rang	Arrosage des plants de vigne avec de l'eau + Lifofer
<b>Suivis végétatifs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taux de débourrement</li> <li>- Croissance végétative</li> <li>- Estimation de rendement</li> <li>- Stress hydrique</li> <li>- Pression sanitaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taux de débourrement</li> <li>- Croissance végétative</li> <li>- État hydrique du sol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Croissance végétative</li> </ul>
<b>Analyses physico-chimique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- N Tester</li> <li>- Analyse pétiolaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse de sol et méta génomique</li> <li>- LevaBag</li> <li>- Potentiel hydrique foliaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- N Tester</li> </ul>

## MATERIEL ET METHODES

### 1. FABRICATION DE LA LITIERE FORESTIERE FERMENTE

Dans le cadre des expérimentations, nous fabriquons notre propre litière forestière fermentée afin d'apporter des microorganismes déjà présents dans les parcelles.

#### La fabrication (Figure 3)

- 1- Prélèvement : Plusieurs échantillons de litière forestière active, peu perturbée et riche en mycélium ont été prélevés à proximité immédiate des parcelles à traiter. La couche prélevée commençait à se décomposer. Elle se situe donc entre la couche supérieure formée par des débris végétaux et la couche inférieure complètement décomposée à environ 5 cm de la surface (Annexe 1). Le prélèvement se fait idéalement en automne ou au printemps lorsque les conditions sont humides et que l'activité des microorganismes est à son maximum.
- 2- Fermentation solide : Les prélèvements (1,7 Kg) ont été mélangés avec une source de sucres fermentescibles (0,6 L de mélasse de canne à sucre), une source d'amidon et de fibres (2,5 Kg de son de blé provenant de Bras (83)), et une source de bactéries acido-lactiques (0,6 L de petit lait de chèvre provenant de Roquebrussanne (83)). Ce mélange a été incubé pour faire une fermentation solide à 26°C pendant 3 à 4 semaines.
- 3- Fermentation liquide : Une fois le substrat solide fermenté, il est mélangé à de l'eau minérale non chlorée avec 6,7 L de mélasse, et 6,7 L de petit lait. La fermentation se déroule pendant 1 semaine à environ 30°C. S'ensuit la filtration et la mise en BIB (Bag In Box).
- 4- Épandage : La solution utilisée est diluée à différentes doses en fonction du type d'utilisation (foliaire, complants, arrosage).

### 2. PARCELLES ETUDIEES

Le dispositif expérimental a été mis en place sur 3 parcelles (2 parcelles de Cinsault au Domaine de La Carbonnelle à Brignoles (83) appelées « Plantier » et « Complants », 1 parcelle de Cinsault et de Rolle à la Ferme Saint Georges à Le Val (83) appelée « Bureaux »). Elles présentent des modalités différentes d'apport de Lifofer. Ces parcelles sont toutes situées à proximité des bureaux du Cabinet d'Agronomie Provençale afin de faciliter les déplacements. Elles sont cultivées en agriculture biologique sous l'appellation Côtes de Provence. L'étude a été menée sur 2 cépages importants de la région Provence : Rolle et Cinsault. Les protocoles de traitements ont été mis au point avec l'entreprise Rézomes située à Saint-Romain-de-Popey (64), spécialisée dans la fabrication de Lifofer. Les 3 parcelles sont chacune divisées en deux afin d'avoir un côté témoin (Te) avec application d'eau minérale non chlorée uniquement, et un côté traité (Tr) avec application de Lifofer dilué dans de l'eau minérale non chlorée (Tableau 1). Les concentrations de dilution dépendent des modalités.

Sur ces trois parcelles, les itinéraires culturaux sont similaires (Annexe 2).



Figure 4 : Design de l'expérimentation foliaire sur la parcelle de Cinsault/Rolle, en bleu : Cinsault avec "Témoin" (10 rangs) et "Traité" (7 rangs) ; en jaune : Rolle avec "Témoin" (7 rangs) et "Traité" (7 rangs).

Tableau 2 : Plan récapitulatif de toutes les actions menées sur l'expérimentation Lifofer foliaire à la ferme Saint-Georges au Cabinet d'Agronomie Provençale sur la parcelle «Bureaux » en fonction des périodes et des stades phénologiques de la vigne.

Période	Stade phénologique	Type d'action	Description d'action	Fréquence
avril 2022	4-6 feuilles étalées	Traitement	Pulvérisation foliaire de Lifofer	1/4
avril - juin	4 feuilles étalées à rognage	Suivi	Mesure longueur des rameaux de l'année	hebdomadaire
juin	Boutons floraux	Traitement	Pulvérisation foliaire de Lifofer	2/4
juin	Boutons floraux	Suivi	Estimation du rendement (comptage des inflorescences et de leurs tailles)	1/2
juin-juillet	Boutons floraux	Analyse	N-tester pour activité photosynthétique	bihebdomadaire
juin - juillet	Floraison - Véraison	Suivi	Stress hydrique par chambre à pression	bihebdomadaire
juillet	Floraison - Vendange	Suivi	Evaluation de la pression sanitaire	biheb ou mensuel
juin	Nouaison	Traitement	Pulvérisation foliaire de Lifofer	3/4
juillet	Fermeture des grappes	Suivi	Estimation du rendement (mesure volume des grappes)	2/2
fin juillet/début août	Véraison	Analyse	Analyse pétiolaire	1/1
septembre	Vendange	Suivi	Évaluation du rendement réel (hl/ha)	1/1
septembre	Vendange	Analyse	Analyses classiques des moûts	1/1
octobre	Après vendange	Traitement	Pulvérisation foliaire de Lifofer	4/4

## Protocole traitement foliaire, application de Lifofer sur le feuillage

### 2.1.1. La parcelle

Caractéristiques de la parcelle
La parcelle expérimentale située à la Ferme Saint Georges à Le Val (83) se nomme « Bureaux » (Figure 4). <b>Parcelle Cadastrale</b> : D0148 <b>Cordonnées GPS</b> : 43°26'27.4"N 6°05'42.4"E <b>Superficie</b> : 0.75ha <b>Cépages</b> : Cinsault/Rolle

### 2.1.2. Application de la Lifofer

La modalité foliaire se présente par des applications foliaires de la Lifofer avec un pulvérisateur adapté à la vigne (Annexe 3). La bouillie appliquée est concentrée à 3% (1,8L de Lifofer / 60 L de bouillie donc 58,2L d'eau minérale non chlorée). Les traitements ont été fait à l'aube ou le soir afin d'éviter les périodes de chaleur et à une pression inférieure à 2 bars, valeur seuil pouvant induire une mort précoce des microorganismes.

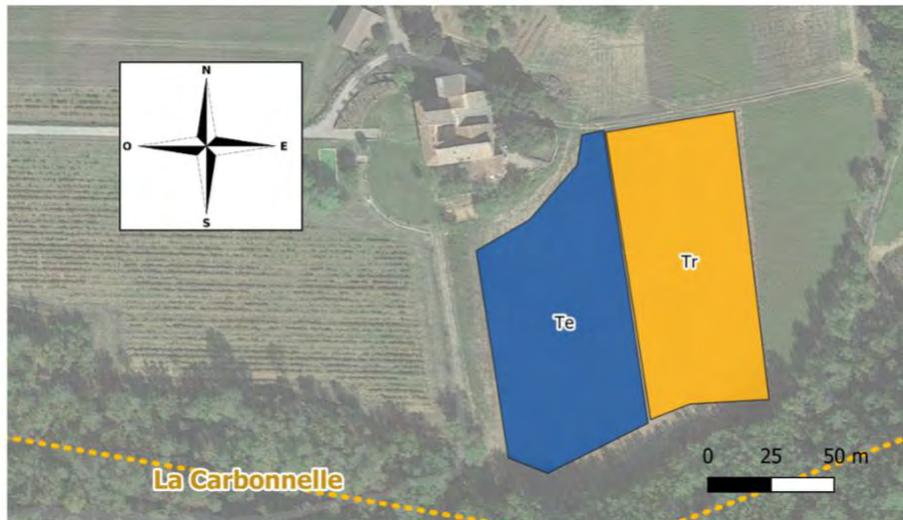
La superficie de la parcelle où a été appliqué de la Lifofer est de 0,3 ha pour une superficie totale de la parcelle de 0,75 ha. Il y a en tout 7 rangs de Rolle et 7 rangs de Cinsault qui ont été aspergés.

Sachant que la quantité de bouillie nécessaire à la pulvérisation est de 200L/ha, la quantité nécessaire de la bouillie à chaque traitement dans notre étude est donc de 60L. Soit l'équivalent de 1,8L de solution de la Lifofer pour arriver à 3% de concentration. En considérant les quatre aspersions foliaires dans l'année, la quantité totale nécessaire est de 7,2L. Parallèlement, 4 applications à l'eau seront effectuées en même temps que les pulvérisations de la Lifofer sur les blocs « Témoin ».

Les applications foliaires de la solution ont été faites à 4 stades importants dans le développement de la vigne : **Stade F** : 4 à 6 feuilles étalées, **Stade H à I** : avant floraison, **Stade K** : nouaison et au **Stade M** : véraison (Annexe 4).

### 2.1.3. Suivis de végétation de la vigne

Afin de visualiser et comprendre les effets de la Lifofer sur la croissance, la vigueur, la fertilité de la vigne et la qualité des raisins, plusieurs types de suivis ont été pris en compte. Les suivis sont complétés par des analyses physico-chimiques de la vigne.



*Figure 5 : Design de l'expérimentation sur la parcelle "Plantier" de Cinsault au Domaine de La Carbonnelle, application de la Lifofer par pulvérisation sur le sol. En bleu : bloc « témoin » (Te) ; en orange : bloc « traité » (Tr).*

## **Protocole traitement sol, application de Lifofer sur le sol**

### **2.1.1. La parcelle**

Caractéristiques de la parcelle
La parcelle expérimentale est située au Domaine de La Carbonnelle à Brignoles (83) et elle se nomme « Plantier » (Figure 5).
<b>Parcelle Cadastre :</b> BI0131
<b>Cordonnées GPS :</b> 43°24'54.9"N 6°06'00.3"E
<b>Superficie :</b> 1,15ha
<b>Cépages :</b> Cinsault

### **2.1.2. Le protocole et l'application**

Concernant l'application de Lifofer au sol, elle se fait par pulvérisation avec une ancienne barre de désherbage sous le rang (Annexe 5), et dans le rang. La bouillie appliquée a une concentration de 10% (13 L de Lifofer / 130 L de bouillie avec 117 L d'eau minérale non chlorée). La pression de pulvérisation est inférieure à 2 bars et les applications se font à des températures extérieures « fraîches », le matin ou le soir, pour éviter une mort précoce des microorganismes.

La quantité de bouillie appliquée étant de 200 L/ha. La parcelle « Plantier » Carbonnelle/Cinsault ayant une surface d'environ 1,15 ha, il a été prévu environ 130 L/application de bouillie pour le bloc « traité » de 0,65 ha. Au total, on compte 390 L de bouillie par an avec une quantité de la solution pure de Lifofer nécessaire à l'expérimentation de l'ordre de 39 L par an pour réaliser les 3 applications.

Cette bouillie est pulvérisée trois fois par an :

- La première application a eu lieu en début de saison avant la reprise de croissance végétale au stade A ;
- La deuxième application s'est effectuée en milieu de saison au stade G « boutons floraux » ;
- La troisième application sera réalisée en fin de saison, après les vendanges.

L'objectif de ces trois traitements sont respectivement de relancer les activités microbiennes du sol en début de saison, de booster les échanges racines/sol avant les stades critiques de floraison et nouaison, et enfin de favoriser la mise en réserve des ceps après la vendange.

De précédents essais sur l'application de Lifofer au sol ont déjà été menés sur cette parcelle depuis juillet 2020. Elle a été traitée 3 fois par an, pendant 2 ans.

Tableau 3 : Plan récapitulatif de toutes les actions menées sur l'expérimentation Lifofer sol au Domaine de La Carbonnelle (83) sur la parcelle « Plantier » en fonction des périodes et des stades phénologiques de la vigne.

Période	Stade phénologique	Type d'action	Description d'action	Fréquence
février 2022	Repos végétatif	Analyse	Analyse du sol	1/2
début mars	Repos végétatif	Analyse	LEVAbag (mise au sol du kit)	1/2
avril	Débourrement	Traitement	Pulvérisation Lifofer	1/3
avril	Pointe verte	Suivi	Comptage taux de débourrement	1/2
avril - juin	4 feuilles étalées à rognage	Suivi	Mesure longueur des rameaux primaires de l'année	hebdomadaire
fin avril (après période de gel printanier)	Grappes visibles	Suivi	Comptage taux de débourrement (rameaux primaire de l'année)	2/2
juin	Boutons floraux	Traitement	Pulvérisation Lifofer	2/3
mars/avril	Débourrement	Analyse	Mesure chlorophylle/Azote, N tester	2/3
mai/juin	Boutons floraux	Suivi	Estimation du rendement (comptage des inflorescences)	1/2
début juillet	Petit pois	Analyse	LEVAbag (prélèvement du kit pour analyse au labo)	2/2
juillet	Petit pois	Analyse	Mesure état hydrique foliaire	1/1
juillet	Fermeture des grappes	Suivi	Estimation du rendement (mesure volume des grappes)	2/2
fin juillet/début août	Véraison	Analyse	Analyse pétiolaire	1/1
septembre	Vendange	Suivi	Evaluation du rendement réel (hl/ha)	1/1
octobre	Après vendange	Traitement	Pulvérisation Lifofer	3/3
décembre	Repos végétatif	Analyse	Analyse du sol	2/2
décembre	Repos végétatif	Analyse	Analyse nématodes/Séquençage microorganisme	1/1
décembre	Repos végétatif	Suivi	Réalisation fosse pédologique	1/1

### **2.1.3. Suivis et analyses de la végétation ou du sol**

Afin de visualiser et comprendre les effets de la Lifofer sur la croissance, la vigueur, la fertilité de la vigne et la qualité des raisins, plusieurs types de suivis doivent être pris en compte.

Des analyses physico-chimiques complètent le suivi de l'expérimentation afin de caractériser plus précisément la croissance, le fonctionnement physiologique de la vigne ainsi que les propriétés du sol.



*Figure 6 : Design de l'expérimentation racines (complantation) sur la parcelle « Complants » de Cinsault, en orange : complants « traités » (Tr) ; en bleu : complants « témoins » (Te).*

## Application de Lifofer sur complants, modalité racines

### 2.1.4. La parcelle

Caractéristiques de la parcelle
La parcelle expérimentale se situe sur le Domaine de La Carbonnelle à Brignoles (83) et elle se nomme « Complants » (Figure 6).
<b>Parcelle Cadastre :</b> BI01131
<b>Cordonnées GPS :</b> 43.416103 , 6.100171
<b>Superficie :</b> 0.56ha
<b>Cépages :</b> Cinsault

### 2.1.5. Le protocole et l'application

La complantation correspond au remplacement des pieds de vigne morts sur une parcelle déjà en place. La difficulté pouvant survenir lors de ce type de pratique est notamment la compétition entre les pieds de vigne qui ont déjà un système racinaire développé avec les nouveaux pieds de vigne, qui eux, doivent s'implanter.

Cette modalité est appelée « racines » car l'application de Lifofer se fait directement au niveau du sol et des racines. Les complants sont arrosés avec une solution de Lifofer concentrée à 6% (0,3 L de Lifofer et 4,7 L d'eau pour une bouillie de 5 L/plant) lors de l'arrosage après leur plantation.

Ce traitement n'est réalisé qu'une seule fois lors du premier arrosage après la complantation. La quantité de bouillie nécessaire est de 5L/pied contenant 30 cl de Lifofer. Pour le traitement des 57 nouveaux plants il y a donc besoin de 285 L de bouillie dont 17 L de Lifofer. Les plants témoins ont été arrosés avec de l'eau, dans les mêmes proportions.

### 2.1.6. Les analyses

De même que pour les autres modalités, nous avons réalisé un suivi de la parcelle avec des analyses physico-chimiques avec objectif de caractériser plus précisément les effets de la solution de Lifofer sur la vigne.

Comme les analyses pétiolaires ou de mesure de potentiel de base dans le but de caractériser le stress hydrique, sont destructrices car nous prélevons des feuilles, nous avons réalisé moins d'analyses physico-chimiques sur les nouveaux plants suivis afin de ne pas influencer leur développement et leur productivité. Cela représente 40 plants par modalité (traité et témoin), lors de la saison végétative.

Tableau 4 : Plan récapitulatif de toutes les actions menées sur l'expérimentation Lifofer sur complantation sur la parcelle « Complants » au Domaine de La Carbonnelle (83) en fonction des périodes et des stades phénologiques de la vigne.

Période	Stade phénologique	Type d'action	Description d'action	Fréquence
Février 2022	Repos végétatif	Analyse	Analyse du sol	1/2
mai	Repos végétatif	Traitement	Arrosage des complants	1
mai	Débourrement/Pointe verte	Suivi	Comptage taux de débourrement	1/2
juin - juillet	4 feuilles étalées	Suivi	Mesure longueur des rameaux primaires de l'année	hebdomadaire
Juin - juillet	4 feuilles étalées	Analyse	Mesure chlorophylle/Azote	2/3
juillet	Nouaison	Analyse	Mesure état hydrique foliaire	1/1
juillet	Fermeture des grappes	Suivi	Estimation du rendement (mesure volume des grappes)	2/2
fin juillet/début août	Véraison	Analyse	Analyse pétiolaire	1/1
décembre	Repos végétatif	Analyse	Analyse du sol	2/2
décembre	Repos végétatif	Analyse	Analyse nématodes/Séquençage microorganisme	1/1
décembre	Repos végétatif	Suivi	Réalisation fosse pédologique	1/1

## **Descriptions des analyses**

### **2.1.7. Caractérisation de la Lifofer**

Nous allons réaliser une analyse microbiologique sur les bactéries et les champignons de la solution de litière forestière fermentée avec la méthode de metabarcoding via le laboratoire Biome Makers (Valladolid, Espagne). Pour cela, deux prélèvements de 20 ml de Lifofer ont été effectués dans des tubes selon les instructions du fabricant puis envoyés au laboratoire par voie postale dans un délai de 48 h (Annexe 6).

### **2.1.8. Comptage du taux de débourrement**

Pour récolter des données les plus précises et pouvoir les traiter de façon analytique, le comptage du débourrement a été effectué à deux stades : au stade « pointe verte », avant l'éventuel gel de printemps pour évaluer le taux de débourrement maximal (mi-avril), et au stade « grappes visibles » après le gel de printemps (mi-mai).

Le comptage porte sur 40 pieds répartis aléatoirement sur 10 rangs par modalité.

### **2.1.9. Suivi de croissance végétative**

Le suivi de la croissance végétative est indispensable pour caractériser la cinétique de la croissance, le fonctionnement physiologique de la vigne et évaluer la conduite du vignoble. Ce suivi est réalisé par mesures hebdomadaires de la longueur des rameaux de l'année, du débourrement (au stade « 4 feuilles étalées ») jusqu'au rognage (avant véraison), sur 40 pieds répartis sur 10 rangs par modalité à l'aide d'un décimètre flexible.



*Figure 7 : Appareil utilisé pour les mesures de l'intensité colorante du feuillage (N Tester, CCM-200 plus Opti-Sciences).*

### **2.1.10. Estimation de rendement**

L'estimation précoce du rendement est basée sur la méthode de l'IFV (Institut Français de la Vigne et du Vin) qui met en évidence la forte corrélation entre le volume de la grappe de *Vitis vinifera* en cours de croissance et son poids à la récolte. (Serrano *et al.*, 2005). Elle est calculée à partir du comptage du nombre des grappes et de la mesure de la longueur et de la largeur maximale des grappes au stade « fermeture de grappe » selon la formule mathématique de calcul pour un cône :

$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 \times h$$

o  $V$  est le volume estimé de la grappe,  $r$  est le rayon de la grappe (=1/2 largeur maximale de la grappe) et  $h$  est la longueur maximale de la grappe.

Le comptage du nombre et l'estimation du volume des grappes doivent être réalisés sur minimum 40 pieds répartis aléatoirement sur 10 rangs par modalité.

### **2.1.11. Mesure de l'intensité colorante du feuillage**

La mesure de l'intensité colorante du feuillage est mesurée avec un appareil portatif appelé N Tester ou Chlorophylle-meter (Figure 7).

30 mesures ont été réalisées pour donner un indice sans unité. Les feuilles sont choisies aléatoirement dans la zone des grappes sans symptôme de carence ou de maladie visible. On a réalisé 30 pincements sur 30 feuilles le long de 10 rangées, 15 face sud et 15 face nord.

### **2.1.12. Analyse pétiolaire**

Cette analyse a été réalisé avec l'aide du laboratoire de la SRDV. Le protocole consiste à prélever 100 pétioles par modalité à partir de la première feuille de la base, située en face de la première grappe. Une seule feuille par cep a été prélevée. Une fois les pétioles séparés des feuilles, ils sont pesés au gramme près pour déterminer le poids. Les pétioles sont envoyés directement au laboratoire par un envoi postal. Cette analyse a été réalisé au stade clé de la véraison (fin juillet).

### **2.1.13. État hydrique de la plante et du sol**

L'état hydrique des sols viticoles est mesuré de 2 manières différentes.



Figure 8 : Sonde capacitive Spectrum SM100 (SDEC, France) pour mesurer le volume d'eau du sol du traitement d'apport de la Lifofer au sol à gauche et sondes installées à 2 profondeurs (60 et 30 cm) à droite (parcelle « Plantier » au Domaine de la Carbonnelle).

Tableau 5 : État hydrique de la vigne en fonction des différentes valeurs de potentiel hydrique (Van Leeuwen et al., 2009), (Célette, 2007), (Ojeda, 2007).

Déficit hydrique	Potentiel tige (Mpa)	Potentiel feuille (Mpa)	Potentiel base (Mpa)	δ13C	Fraction d'eau du sol disponible (FTSW)
Absence	-0,6<	-0,9<	-0,1<	<-26	36%<
Léger	[-0,6;-0,9[	[-0,9;-1,1[	[-0,2;-0,3[	[-24,5 à -26[	21%-36%
Léger à modéré	[-0,9;-1,1[	[-1,1;-1,3[	[-0,3;-0,5[	[-23 à -24,5[	7-21%
Modéré à fort	[-1,1;-1,4[	[-1,3;-1,4[	[-0,5;-0,8[	[-21,5 à -23[	1-7%
Fort	<-1,4	<-1,4	<-0,8	-21,5<	<1%

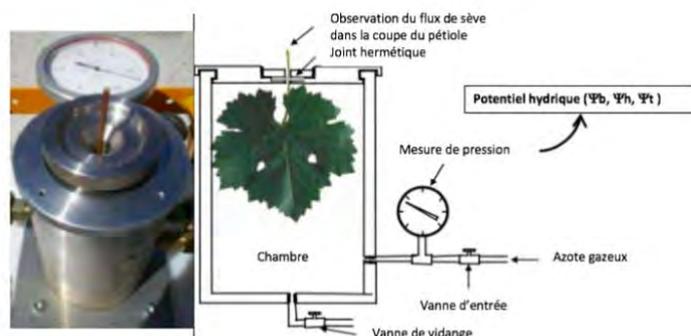


Figure 9 : Chambre à pression à gauche et explication schématique de son utilisation à droite (Ojeda, 2007). On positionne la feuille en faisant ressortir le pétiole dans la chambre hermétique, on fait entrer l'azote sous forme gazeuse dans cette chambre jusqu'à ce que la sève ressorte du pétiole puis on lit la mesure de pression sur le manomètre.

#### 2.1.13.1. Mesure de l'humidité du sol

Afin de mesurer l'humidité du sol, nous avons utilisé des sondes capacitives Spectrum SM100. La sonde est composée de 2 électrodes qui fonctionnent comme un condensateur et la terre comme diélectrique. La méthode électromagnétique mesure la permittivité diélectrique avec une précision de +/- 3 %.

Nous avons positionné 8 sondes (Figure 8) dans la parcelle avec la modalité sol. Les sondes ont été réparties de la manière suivante :

- 2 sondes à 30 cm de profondeur dans la partie traitée et dans la partie témoin. Ce qui équivaut à 4 sondes à cette profondeur (Figure 8).
- 2 sondes à 60 cm de profondeur, positionnées de la même manière que les sondes à 30 cm (Figure 8).

#### 2.1.13.2. Chambre à pression

Le potentiel foliaire est particulièrement facile à mettre en place. Les mesures ont été réalisées dans le but d'évaluer des éventuelles différences parmi les modalités. Les mesures ont été effectuées 2 fois avant août à partir de la floraison et seront répétées jusqu'à la récolte. Les mesures du potentiel de base de feuille ont été réalisées la nuit, toujours avant le lever du soleil. Pour ce faire, les 10 feuilles prélevées étaient situées au niveau du tiers moyen d'un rameau primaire et juste au-dessus de la zone des grappes (Sibille et al., 2007). Ensuite, avant d'introduire la feuille dans la chambre à pression, le pétiole est sectionné nettement d'environ un centimètre. Le temps séparant le prélèvement de la feuille et la mesure a été réalisé en moins de 5 minutes environ afin d'éviter une déshydratation trop importante de la feuille (Choné et al., 2000),(Figure 9).

#### 2.1.14. État sanitaire

La présence de deux maladies cryptogamiques, l'Oïdium (*Erysiphe Necator*) et le Mildiou (*Plasmopara Viticola*) a été estimée visuellement en observant les feuilles de 50 pieds par modalité (Figure 10).

**Fréquence (%)** = [(Nombre de pieds touchés) / (Nombre de pieds comptés)] x 100

#### 2.1.15. Analyse de sol

##### 2.1.15.1. Analyses de sol en laboratoire

Des analyses de sols ont été réalisées avec le laboratoire Aurea. Ces analyses concernent le premier horizon situé entre 0 et 30 cm de profondeur. Les paramètres mesurés sont des caractéristiques physiques (la granulométrie ou le pourcentage d'éléments grossiers) et chimiques (le pH, le calcaire total, la CEC et le taux de saturation).



Figure 10 : Description de reconnaissance du Mildiou de la vigne (Guide de l'observateur, Draaf Nouvelle-Aquitaine)

Tableau 6 : Récapitulatif des analyses en fonction des modalités.

	Foliaire « Bureaux »	Sol « Plantier »	Racines « Complants »
<b>Suivis végétatifs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taux de débourrement</li> <li>- Croissance végétative</li> <li>- Estimation de rendement</li> <li>- Stress hydrique</li> <li>- Pression sanitaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taux de débourrement</li> <li>- Croissance végétative</li> <li>- État hydrique du sol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Croissance végétative</li> </ul>
<b>Analyses physico-chimique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- N Tester</li> <li>- Analyse pétiolaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse de sol et métagénomique</li> <li>- LevaBag</li> <li>- Potentiel hydrique foliaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- N Tester</li> </ul>

### **2.1.15.2. Analyse de sol métagénomique**

Nous avons réalisé une analyse microbiologique sur les bactéries et les champignons du sol de la modalité traitée avec Lifofer et de la modalité non traitée avec la méthode de metabarcoding via le laboratoire Biome Makers (Valladolid, Espagne). Pour cela, des prélèvements de 20 g de sol à 15 cm en surface ont été effectués à l'aide de tubes selon les instructions du fabricant, puis envoyés au laboratoire par voie postale dans un délai de 48 h.

### **2.1.16. Analyses statistiques**

Les analyses statistiques ont été conduites avec le logiciel RStudio (Version 2022.02.2+485). Tout d'abord, la normalité des résidus des données a été vérifiée avec le test de Shapiro Wilk. Dans le cadre d'une loi normale, des analyses de variance ont été réalisées pour comparer les différentes modalités en comparaison avec le témoin.

Dans le cas où les hypothèses n'ont pas été vérifiées, le test de Kruskal-Wallis a été utilisé. Les résultats sont significativement différents pour un seuil de risque de 5 %, et une pvalue inférieure à 5%.

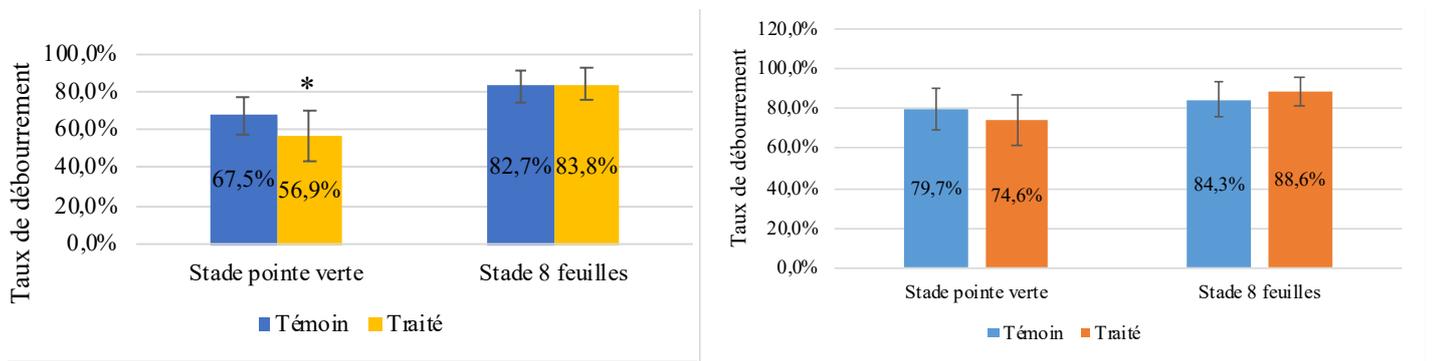


Figure 11 : Taux de débourrement du Rolle (à gauche en jaune et bleu) et du Cinsault (à droite en orange et bleu) N+2 de la parcelle "Bureaux" à la Ferme Saint Georges, comptés à 2 dates (« pointe verte » = mi-avril 2022 et « 8 feuilles » = mi-mai 2022). Les barres représentent les écarts-types. Traité : application foliaire de la Lifofer ; témoin : application avec de l'eau. (\* : p-value < 0,05).

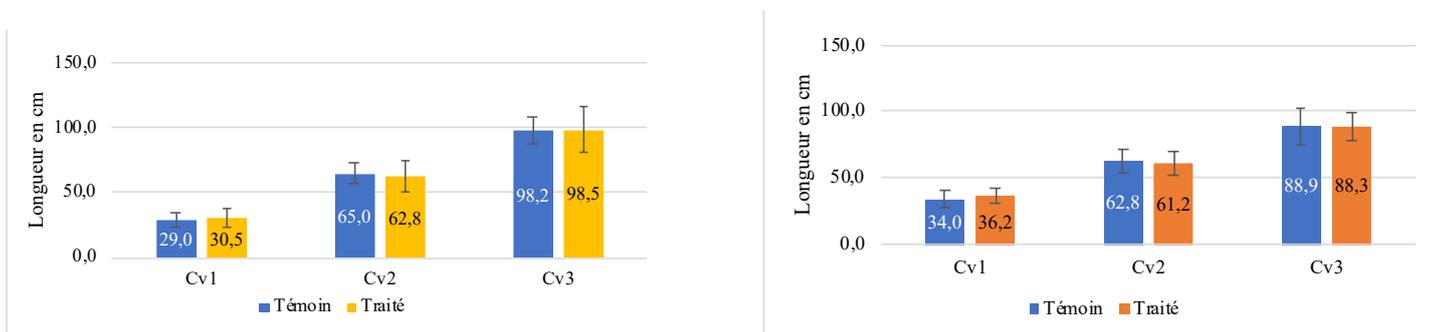


Figure 12 : Croissance végétative année N+2 (2022) sur Rolle à gauche et Cinsault à droite. (Cv1 = croissance végétative relevé 1 ; Cv2 = croissance végétative relevé 2 ; Cv3 = croissance végétative relevé 3). Les barres représentent les écarts-types.

## RESULTATS

Des applications de Lifofer au sol, en foliaire ou sur les complants ont été menées depuis début 2020. Les protocoles d'application sont similaires depuis la première application pour les différentes modalités. Des analyses ont été conduites sur ces parcelles depuis le début de l'expérimentation. Ainsi, nous allons interpréter les résultats des analyses réalisées durant trois années de traitement au total.

### 1. MODALITE FOLIAIRE

#### Impact de la Lifofer sur le développement physiologique de la vigne

##### Taux de débourrement 2022 :

Après plus de deux ans de traitements foliaires sur la parcelle « Bureaux », nous avons mesuré le taux de débourrement sur Rolle et Cinsault lors de cette troisième année, à 2 dates : mi-avril 2022 lors du stade « pointe verte » et mi-mai 2022 lors du stade « 8 feuilles ».

Les graphiques (Figure 11) montrent qu'au stade « pointe verte » à mi-avril, le taux de débourrement du Rolle est significativement supérieur ( $p$ -value = 0,00248) pour la modalité témoin (67,5%) par rapport à celle traitée (56,9%). Au stade « 8 feuilles », cette tendance s'annule sur le Rolle, avec la modalité traitée qui a rattrapé la modalité témoin (82-83%.  $P$ -value > 0,05).

Par contre, il n'y a pas de différence significative pour le Cinsault, malgré une tendance similaire au cépage Rolle, quels que soient les deux stades mesurés.

##### Croissance végétative 2020, 2021 et 2022 :

La croissance végétative est mesurée depuis la première année de traitement. Seul le nombre d'individus de l'année  $N+2$  est suffisant pour les soumettre à l'analyse statistique contrairement aux deux années précédentes. Les graphiques des deux premières années (Annexe 7) montrent que la croissance végétative soumise à la modalité traitée semble être inférieure à la modalité témoin sur la quasi-totalité des dates de relevés que ce soit sur Cinsault ou sur Rolle. Néanmoins, le nombre d'individus mesurés lors de ces deux premières années sont insuffisants pour valider cette tendance. Lors de la troisième année de traitement (Figure 10), les différences entre la modalité témoin et celle traitée sur les deux cépages ne sont pas significatives ( $p$ -value Cinsault :  $Cv1 = 0,243$  ;  $Cv2 = 0,539$  ;  $Cv3 = 0,887$  /  $p$ -value Rolle :  $Cv1 = 0,38$  ;  $Cv2 = 0,444$  ;  $Cv3 = 0,942$ ). Les traitements de Lifofer en application foliaire ne permettent donc pas d'améliorer la croissance végétative.

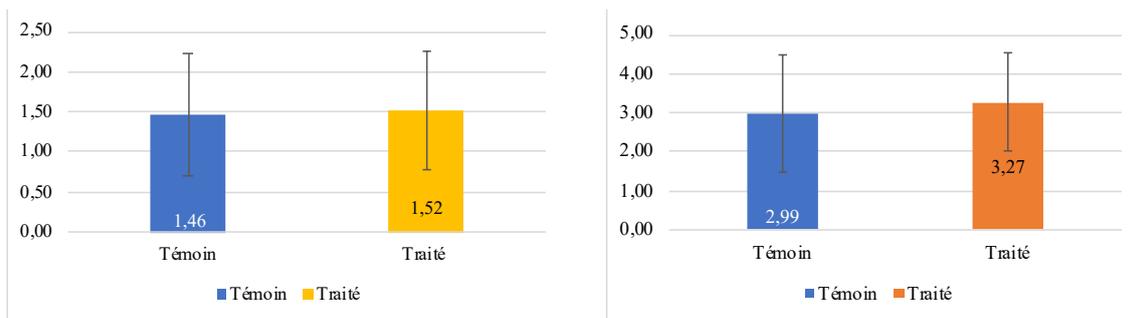


Figure 13 : Estimation de rendement en raisins (kg/cep) sur Rolle à gauche et Cinsault à droite, modalité foliaire à N+2, parcelle "Bureaux". Les barres représentent les écarts types. Traité : application foliaire de la Lifofer et témoin : application avec de l'eau.

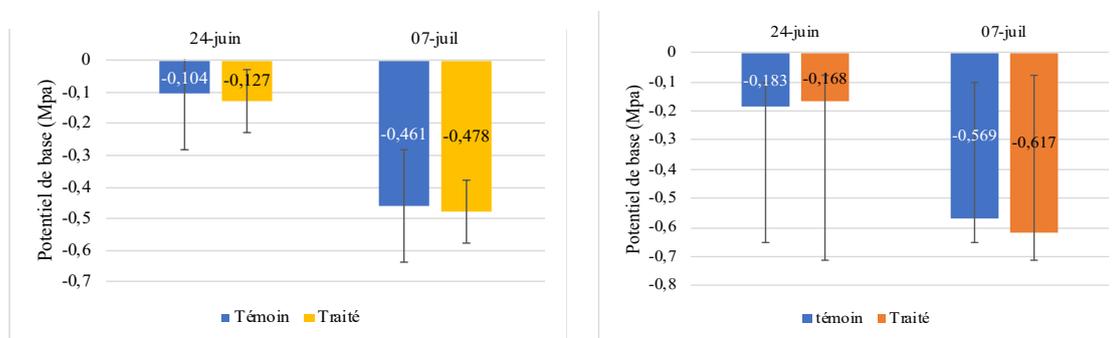


Figure 14 : Potentiel hydrique de base (MPa) pour la mesure du stress hydrique de la plante sur Rolle à gauche et Cinsault à droite, parcelle "Bureaux" de la Ferme Saint Georges en N+2. Traité : application foliaire de la Lifofer et témoin : application avec de l'eau.

Tableau 7 : Analyses pétiole effectuées en 2020 et 2021 sur Cinsault et Rolle pour la modalité foliaire (données du Laboratoire SRDV).

Cinsault 2020	Azote (mg)	Phosphore (mg)	Potassium (mg)	Magnésium (mg)	Calcium (mg)	Fer (µg)	Manganèse (10µg)	Bore (µg)	Zinc (µg)
Traité	85,4	84	112	283	350	336	390,6	371	714
Témoin	80	67	134	206	375	302	550,7	324	549

Cinsault 2021	Azote (mg)	Phosphore (mg)	Potassium (mg)	Magnésium (mg)	Calcium (mg)	Fer (µg)	Manganèse (10µg)	Bore (µg)	Zinc (µg)
Traité	67	78	156	241	340	221	532,4	449	538
Témoin	57	85	203	169	352	183	491,1	414	514

Rolle 2020	Azote (mg)	Phosphore (mg)	Potassium (mg)	Magnésium (mg)	Calcium (mg)	Fer (µg)	Manganèse (10µg)	Bore (µg)	Zinc (µg)
Traité	111	101	263	344	620	415	1216,7	490	920
Témoin	99	104	344	252	581	458	850,1	444	880

Rolle 2021	Azote (mg)	Phosphore (mg)	Potassium (mg)	Magnésium (mg)	Calcium (mg)	Fer (µg)	Manganèse (10µg)	Bore (µg)	Zinc (µg)
Traité	98	96	328	297	679	405	1102,1	737	866
Témoin	104	120	363	261	636	329	785,4	738	817

## Estimation de rendement 2022 :

Nous observons (Figure 13) une estimation de rendement pour le cépage Rolle quasi-similaire entre la modalité témoin (1,46 kg/cep) et la modalité traitée (1,52 kg/cep) comme pour le Cinsault : les valeurs ne montrent pas de différence entre les deux modalités, pour le Rolle (p-value = 0,48) et le Cinsault (p-value = 0,79).

## Effets sur le statut hydrique de la vigne

### - Résultats des mesures de potentiel hydrique de base - Stress hydrique 2020, 2021, 2022 :

Le potentiel hydrique de base a été mesuré sur les trois années d'expérimentation de la modalité foliaire (Annexe 8 et Figure 14).

Les moyennes sur les graphiques (Annexe 8) montrent une faible différence ( $< -0,10$  MPa) entre les témoins et les traités pour les deux cépages en année N et N+1. Ces observations sont confirmées en année N+2 (Rolle au 24 juin 2022 : traité =  $-0,127$  MPa ; témoin =  $-0,104$  MPa et au 7 juillet : traité =  $0,478$  MPa ; témoin =  $0,461$  MPa. Cinsault au 24 juin 2022 : traité =  $-0,168$  MPa ; témoin =  $-0,183$  MPa et au 7 juillet : traité =  $0,617$  MPa ; témoin =  $0,569$  MPa). Il n'y a pas de différence significative entre les témoins et les modalités sur Rolle et Cinsault (p-value  $> 0,05$ ).

## Effets sur le statut minéral de la vigne

### - Analyses pétiolaires des années 2020 et 2021 :

Étant donné que ces analyses réalisées en laboratoire ont été faites sans répétition, on ne peut pas tester de signification statistique, nous allons donc évoquer les tendances que les graphiques suivent.

Au niveau de l'azote, nous pouvons observer une légère tendance en faveur de la modalité traitée que ce soit pour le Cinsault et le Rolle en année N (Tableau 7). Lors de la deuxième année (N+1), cette tendance est toujours visible sur le Cinsault (+15%) mais elle s'est inversée pour le Rolle, les valeurs restent relativement proches (-5,8%) (Tableau 7).

Concernant le phosphore, son niveau est légèrement plus important sur les témoins Rolle N et N+1 et pour le Cinsault en N+1. Néanmoins, sur la première année de traitement sur le Cinsault, la quantité de phosphore présente est inférieure sur le témoin. Sur les deux années de traitement à la Lifofer, les modalités traitées présentent des niveaux un peu plus bas en potassium (Rolle : N = 263 mg ; N+1 = 328 mg et Cinsault : N = 112 mg ; N+1 = 156 mg) que les témoins (Rolle : N = 344 mg ; N+1 = 363 mg et Cinsault : N = 134 mg ; N+1 = 203 mg). Les modalités traitées présentent des valeurs plus hautes sur les deux premières années de traitements pour le magnésium.

L'assimilation en calcium a des tendances contraires sur les deux cépages. Le témoin de Cinsault assimile mieux le calcium sur les deux années alors que c'est le contraire sur le Rolle. Les valeurs restent relativement proches.

Sur les deux cépages, il n'y a pas de différence entre les traités et les témoins à propos du fer.

Tableau 8 : fréquence (%) de la pression de *Plasmodium viticola*, observé pour la modalité foliaire année N+1 et N+2 à deux dates et pour deux cépages (Rolle et Cinsault).

Rolle 2021	Témoin	Traité
28/05/2021	17,5%	20%
07/07/2021	62,5%	57,5%
Cinsault 2021	Témoin	Traité
28/05/2021	27,5%	22,5%
07/07/2021	65%	60%
Rolle 2022	Témoin	Traité
20/07/2022	2%	2,5%
Cinsault 2022	Témoin	Traité
20/07/2022	3%	2,5%

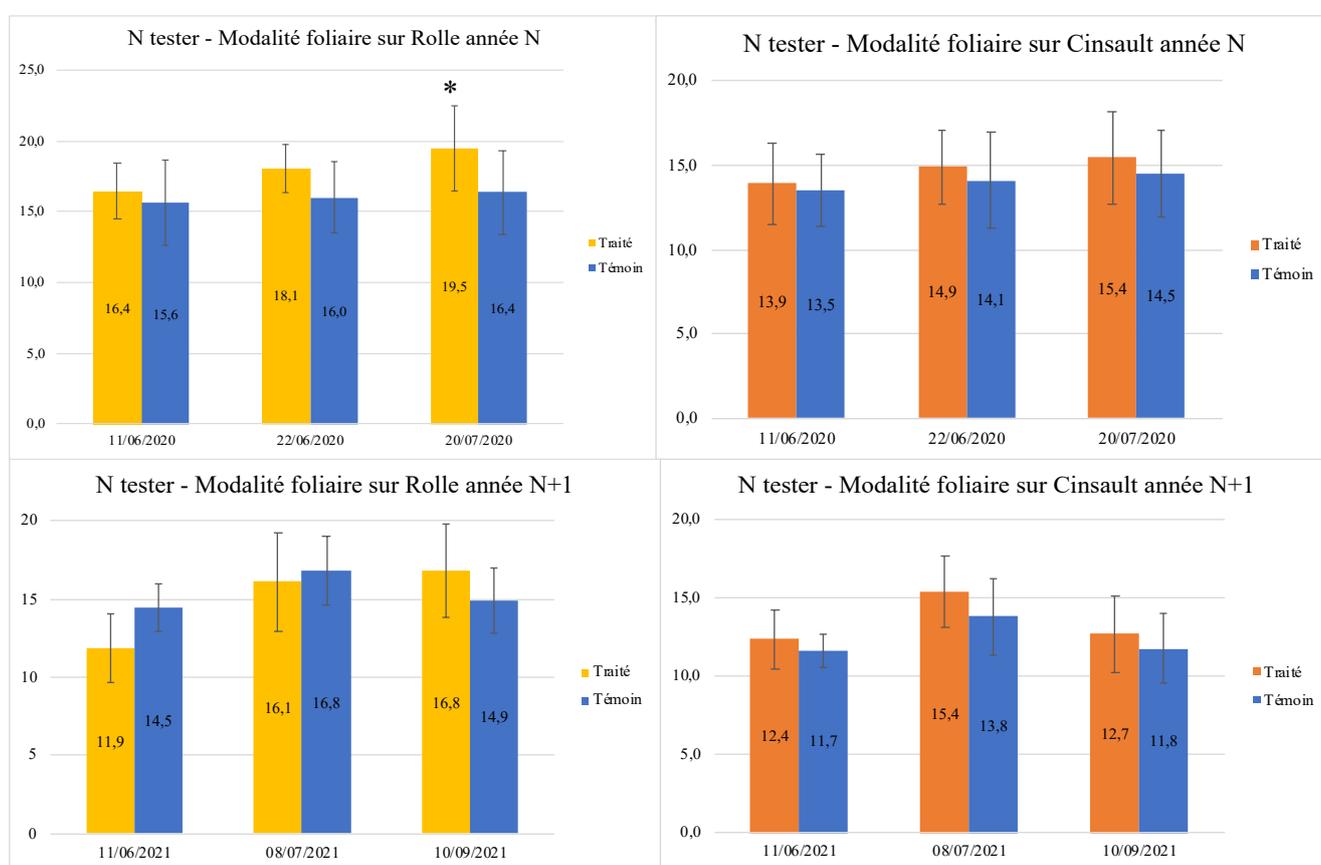


Figure 15 : Indice chlorophyllien (N Tester) sur la modalité foliaire, parcelle "Bureaux" à la Ferme Saint Georges, sur 2020, 2021. A gauche, les valeurs mesurées sur le cépage Rolle en jaune/bleu et à droite, les valeurs de Cinsault en orange/bleu. (\* : p-value < 0,05).

Concernant le manganèse, la différence entre les modalités traitées et témoins se maintient sur le Rolle avec une assimilation plus élevée pour la modalité traitée (Tableau 7). Néanmoins, sur

le Cinsault, le témoin est supérieur sur la première année mais presque similaire la deuxième année (Tableau 7) (Cinsault N : témoin = 550,7 10 $\mu$ g ; traité = 390,6 10 $\mu$ g et N+1, témoin = 491,1 10 $\mu$ g ; traité = 532,4 10 $\mu$ g).

Au niveau de l'assimilation de Bore, il n'y a pas de différence entre les valeurs de chaque modalité. Nous pouvons ainsi supposer que la Lifofer n'agit pas sur cette assimilation.

De même pour le Zinc, les assimilations sont du même ordre de grandeur pour les 2 cépages sur les deux années N+1 et N+2 consécutives.

- Effets sur le statut azoté des feuilles de vigne (N-Tester) :

Résultats des mesures de N-tester en 2020

En 2020, la modalité témoin est inférieure sur les trois dates de relevés par rapport à la modalité traitée sur le cépage Rolle (de - 5 à - 15,9%), (Figure 15). Les résultats statistiques révèlent des moyennes significativement différentes (p-value = 0,004), sur la 3<sup>ème</sup> date uniquement (20/07/2020). Néanmoins, il y a aussi une différence significative lorsque l'ensemble des dates est analysé entre les témoins et les traités (p-value = 6,37 x 10<sup>-5</sup>).

Sur cette année 2020, le Cinsault a tendance à avoir une activité photosynthétique plus importante sur la modalité traitée que témoin, mais la différence n'est pas significative.

o Résultats des mesures de N-tester en 2021

En 2021, la tendance en faveur de la modalité témoin est visible sur les deux premières dates pour le Rolle. A la troisième date (septembre), la modalité traitée est de nouveau supérieure au témoin (Figure 15). Il n'y a pas de différence statistique sur ces trois dates concernant ce cépage. De même que la première année de traitement à la Lifofer, le graphique de l'activité photosynthétique du Cinsault (Figure 15), montre une tendance supérieure pour la modalité traitée par rapport au témoin. Date par date, ces valeurs ne permettent pas d'obtenir des moyennes significativement différentes. Néanmoins, les moyennes des indices chlorophylliens sont significativement différentes entre témoins et traités lorsque l'ensemble des trois dates est analysé sur le Cinsault (p-value = 0,007).

o Résultats des mesures de N-tester en 2022

En 2022, les mesures ne montrent pas une meilleure activité photosynthétique pour les 2 cépages (Annexe 9) sur Cinsault et Rolle lors de la date de relevé du 08/06/2022. Ces observations sont confirmées par le fait qu'il n'y a pas de différence significative (p-value Rolle = 0,855 et p-value Cinsault = 0,857).

Influence sur la fréquence du mildiou :

Lors de l'année N+1, l'objectif était de voir l'impact de la Lifofer quant à la protection face aux pathogènes de la vigne. Nous n'avons donc pas traité la vigne au soufre et au cuivre au début de la saison végétative. Cependant, la pression fût telle, que nous avons été contraints de procéder à des traitements contre ces pathogènes et nous n'avons pas mesuré la fréquence du

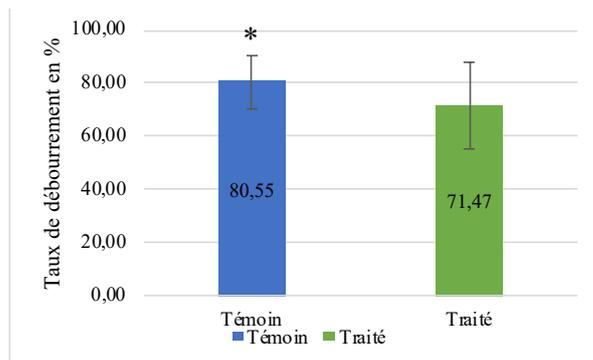


Figure 16 : Taux de débourrement (%) modalité sol sur Cinsault en N+2, parcelle "Plantier" au Domaine de la Carboneille. Témoin : aspersion d'eau au sol ; traité : aspersion de Lifofer au sol. (\* : p-value < 0,05).

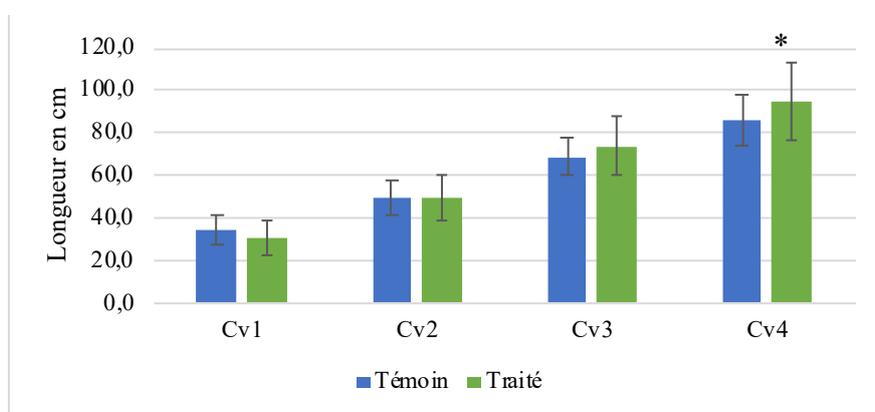


Figure 17 : Croissance végétative (Cv) en cm sur Cinsault N+2, modalité sol, parcelle "Plantier" au Domaine de La Carboneille mesurée sur 4 dates consécutives. Témoin : aspersion d'eau au sol ; traité : aspersion de Lifofer au sol. (\* : p-value < 0,05).

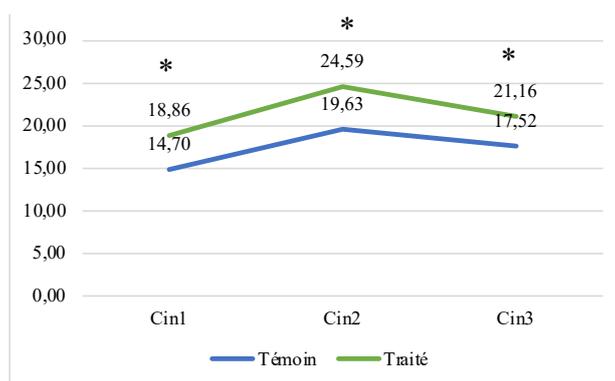


Figure 18 : Cinétique de croissance sur Cinsault (cm) en N+2, modalité sol, parcelle "Plantier" au Domaine de La Carboneille (Cin1 = cinétique 1 ; Cin2 = cinétique ; Cin3 = cinétique 3). Témoin : aspersion d'eau au sol ; traité : aspersion de Lifofer au sol. (\* : p-value < 0,05).

mildiou la première année. La pression sanitaire a donc été mesurée à partir de la deuxième année (N+2). Au cours de la deuxième année, les relevés de la fréquence en maladie ont été faits à deux dates, fin mai et début juillet. Cela permet d'encadrer la période la pression est généralement la plus importante.

- Pression sanitaire 2021 :

L'analyse de l'infection par *Plasmopara viticola* ne montre pas de différence entre la modalité témoin et traitée sur les deux cépages (ANOVA, p-value > 0,05).

- Pression sanitaire 2022 :

La pression sanitaire sur de cette troisième année est très faible avec des valeurs inférieures à 5 % de fréquence maladie. Avec des résultats proches pour les modalités témoins et traités, pour les deux cépages : Rolle (2 - 2,5%) et Cinsault (2,5 - 3%), il n'y a pas de différence observée. Les analyses statistiques permettent de démontrer qu'il n'y a aucune différence significative (p-value > 0,05).

## **2. MODALITE SOL**

### **Effets de la Lifofer sur le développement physiologique de la plante**

#### **2.1.1. Taux de débourrement 2022.**

Le taux de débourrement a été mesuré lors de la troisième année de traitement (N+2). La figure 16 indique un taux de débourrement supérieur entre les modalités témoin et traitée avec 9,08% de différence. Le taux de débourrement est donc significativement supérieur (p-value = 0,025) pour la modalité témoin sur l'application de Lifofer au sol.

#### **2.1.2. Croissance végétative.**

La croissance végétative est mesurée depuis la première année d'expérimentation soit en 2020. Le graphique (Annexe 10) de 2020 montre qu'au début de la croissance, la croissance végétative est supérieure pour la modalité témoin. Cependant, à partir de la dixième semaine de mesure, la tendance s'inverse avec la modalité traitée qui devient supérieure. Les données de 2021, sont beaucoup moins nombreuses et montrent une tendance avec une croissance inférieure pour le témoin (Annexe 10).

En 2022, le graphique (Figure 17) suit la même tendance qu'en 2020. Lors de la première mesure, le témoin est supérieur au traité. A partir de la deuxième mesure, la tendance s'inverse et la modalité traitée devient supérieure au témoin. C'est uniquement à partir de la quatrième mesure qu'une différence significative est observée entre les deux modalités (p-value = 0,01). Néanmoins, les cinétiques de croissance sont significativement différentes entre témoin et traité et à toutes les dates des relevés (cinétique 1 : p-value = 0,013 ; cinétique 2 : p-value = 0,004 et cinétique 3 : p-value = 0,004).

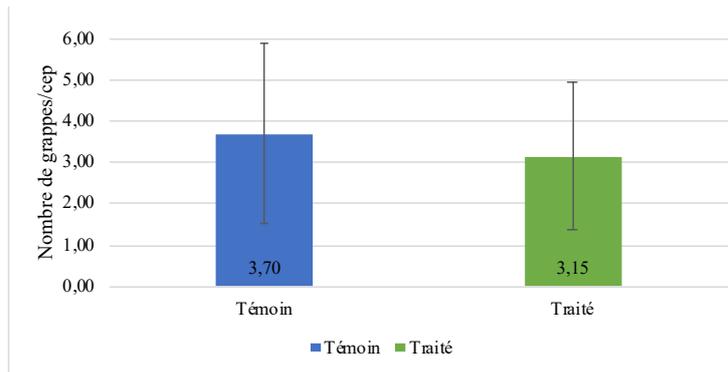


Figure 19 : Nombre moyen de grappes par cep (N+2 ou 2022) sur Cinsault, modalité sol, parcelle "Plantier" au Domaine de La Carbonnelle. Témoïn : aspersion d'eau au sol ; traité : aspersion de Lifofer au sol. Les barres représentent l'écart-type.

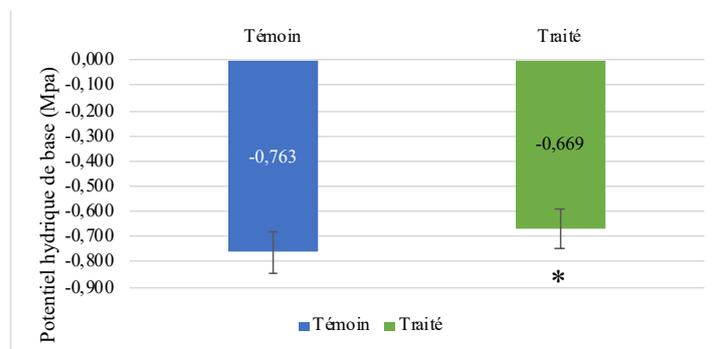


Figure 20 : Potentiel hydrique de base (MPa) sur Cinsault, modalité sol, parcelle "Plantier" au Domaine de La Carbonnelle. Témoïn : aspersion d'eau au sol ; traité : aspersion de Lifofer au sol. Les barres représentent l'écart-type. (\* : p-value < 0,05).

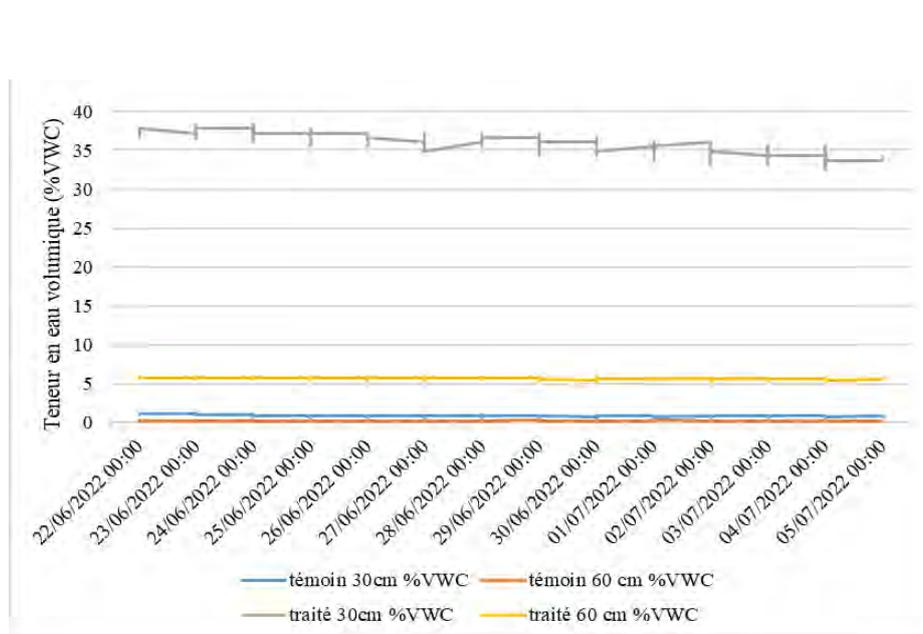


Figure 21 : Teneur en eau volumique (%VWC) sur Cinsault en N+2 avec sondes capacitatives à deux profondeurs (30cm et 60cm), modalité sol, parcelle "Plantier" du Domaine de La Carbonnelle.

### **2.1.3. Estimation de rendement**

L'estimation de rendement a été mesurée lors de la troisième année d'expérimentation 2022. Le graphique (Figure 19) expose des résultats supérieurs pour la modalité témoin avec 0,55 grappe supplémentaire. Néanmoins, cette différence n'est pas significative ( $p$ -value  $> 0,05$ ).

## **Effets de la Lifofer sur le statut hydrique de la vigne et du sol**

### **2.1.1. Statut hydrique de la vigne**

Les moyennes des mesures du potentiel hydrique de base (Figure 20) sont différentes entre la modalité témoin et traitée ( $p$ -value = 0,007). En effet, la modalité témoin est plus stressée avec -7.63 Mpa tandis que la modalité témoin à une valeur moyenne de -6.69 Mpa.

### **2.1.2. Sondes capacitives**

La teneur en eau volumique (%VWC) est mesurée à partir de N+2 avec des sondes capacitives. Les courbes des données (Figure 21) concernant la modalité traitée ont une teneur en eau volumique bien supérieure par rapport aux deux sondes à 30 et 60 cm de la modalité témoin ( $p$ -value  $< 0,05$ ).

## **Effet de la Lifofer sur le statut azoté de la vigne**

Le statut azoté est mesuré avec le N Tester et les moyennes des relevés sont observables sur la figure 22. La modalité traitée au sol à la Lifofer a une moyenne d'indice chlorophyllien 0.51 supérieur à la modalité témoin. Cette différence n'est pas significative au seuil de 5% car la  $p$ -value est égale à 0.351.

## **Analyses du sol**

### **2.1.3. Analyses physico-chimiques du sol, laboratoire AUREA**

Afin d'obtenir des résultats les plus probants possible, nous avons réalisé des analyses de sol sur les deux modalités de la parcelle (Annexes 11 et 12) en 2020.

Au niveau de la constitution du sol, les valeurs sont très proches entre la modalité et le témoin. Concernant les analyses chimiques, seule la valeur en phosphore disponible de la modalité traitée qui est inférieure de 7.7 mg/kg par rapport au témoin mais l'incertitude va de  $\pm 1$  à 4 mg/Kg d'écart. Cela ne nous permet donc pas de dire s'il y a une véritable différence entre les deux. Pour les cations échangeables et les oligos échangeables, il n'y a pas non plus de différence marquante entre les 2 modalités.

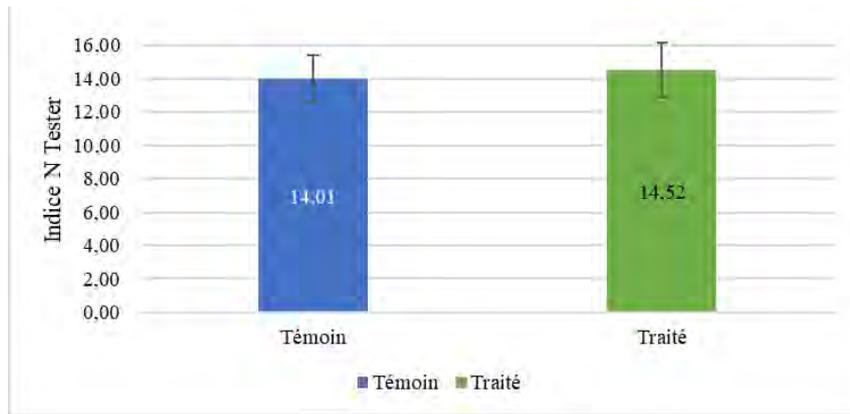


Figure 22 : Statut azoté sur Cinsault en N+2 (N Tester), modalité sol, parcelle "Plantier" au Domaine de La Carbonnelle. Témoin : aspersion d'eau au sol ; traité : aspersion de Lifofer au sol. Les barres représentent l'écart-type.

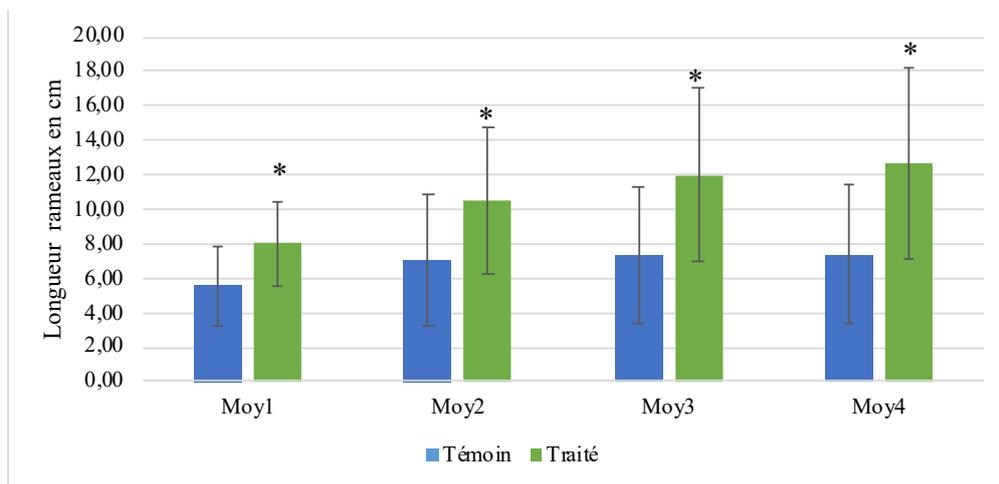


Figure 23 : Croissance végétative des complants, modalité racines année N+2 (Moy1 = moyenne au premier relevé ; Moy2 = moyenne au deuxième relevé ; Moy3 = moyenne au troisième relevé ; Moy4 = moyenne au quatrième relevé). Témoin : complants arrosés avec de l'eau ; traité : arrosage des complants avec de la Lifofer. Les barres représentent l'écart-type. (\* : p-value < 0,05).

#### 2.1.4. Analyse métagénomique

L'analyse métagénomique réalisée par le laboratoire Biome makers permet de connaître les microorganismes présents dans le sol ainsi que leurs fonctionnalités (Annexes 13 et 14).

La modalité témoin contient 680 espèces différentes détectées tandis que la modalité traitée en contient 744.

Il est indiqué sur les analyses qu'il y a un rapport de champignons arbusculaires - Ectomycorhize de 1/64 pour la modalité traité sol alors qu'on ne retrouve que d'Ectomycorhizes pour la modalité témoin.

Proportionnellement, il y a plus de bactéries dans les 2 modalités que de champignons. Néanmoins, le rapport champignon – bactérie est plus faible pour la modalité traitée (1/84,47) que pour la modalité témoin (1/70,36).

Au niveau de la résistance des microorganismes dans le sol, il y a une différence importante entre les 2 modalités. Le sol soumis au traitement par la Lifofer est composé de microorganismes avec une résistance élevée alors que celui de la modalité témoin, montre une résistance très faible.

Les risques relatifs à la santé de la vigne en fonction des agents pathogènes sont très faibles (<20%) quant au pied noir ou encore la maladie de Pétri pour la modalité traitée. Pour la modalité témoin, les risques sont désignés comme « faibles » entre 20 et 40%.

Cependant on retrouve dans les deux analyses (témoin et traitée), du *Botrytis cinerea*, responsable de la pourriture grise.

Les résultats à propos des microorganismes impliqués dans l'action de biocontrôle indiquent que la proportion d'agents nématocides est élevée sur la partie traitée alors qu'elle n'est pas détectée sur la modalité témoin.

Concernant l'état nutritionnel basé sur la mobilisation microbienne de certains composés, les analyses révèlent que les microorganismes qui s'impliquent dans un processus permettant la fixation de CO<sub>2</sub> au sol est élevé pour la modalité traitée. Cela n'est pas le cas pour la modalité témoin où la fixation est dite « moyenne ». Cependant, la perte de C organique est plus importante par le processus de fermentation.

Il n'y a pas de différence notable sur les hormones de production.

Les microorganismes impliqués dans la biosynthèse d'acide abscissique sont très élevés dans la partie traité et uniquement élevé dans la partie témoin.

### 3. MODALITE RACINES

#### Croissance végétative

La figure 23 montre une longueur des rameaux des pieds traités nettement supérieure à la longueur des pieds témoins et ce pour chacune des 4 dates relevées (Moy1 : p-value = 0,004 ; Moy2 : p-value = 0,001 ; Moy3 : p-value = 0,0004 et Moy4 : p-value = 5,92x10<sup>-5</sup>).

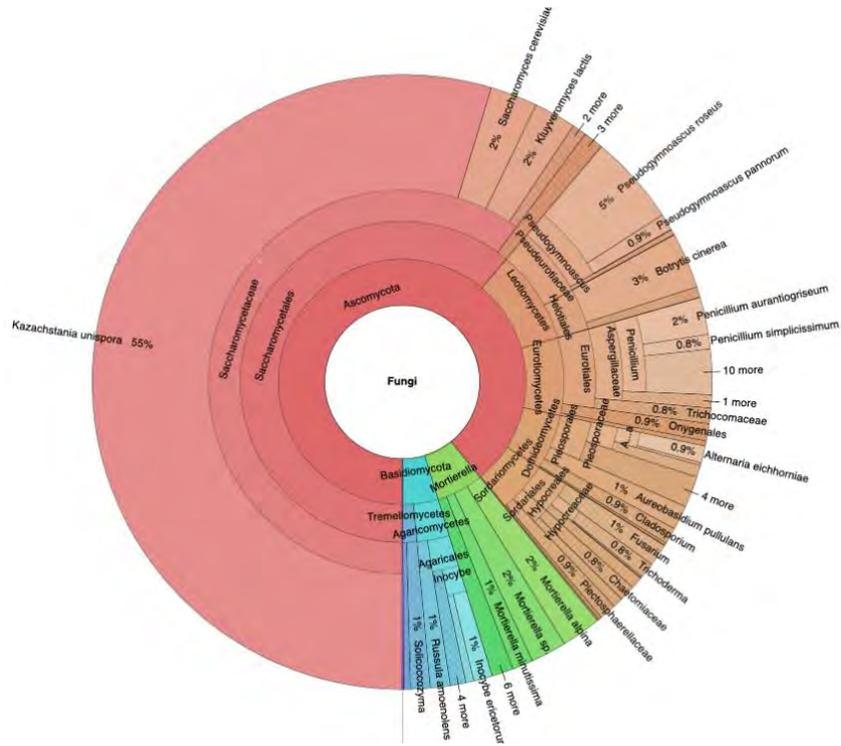


Figure 24 : Visualisation graphique des champignons détectés dans la solution de Lifofer par analyse métagénomique Biome makers (Krona)

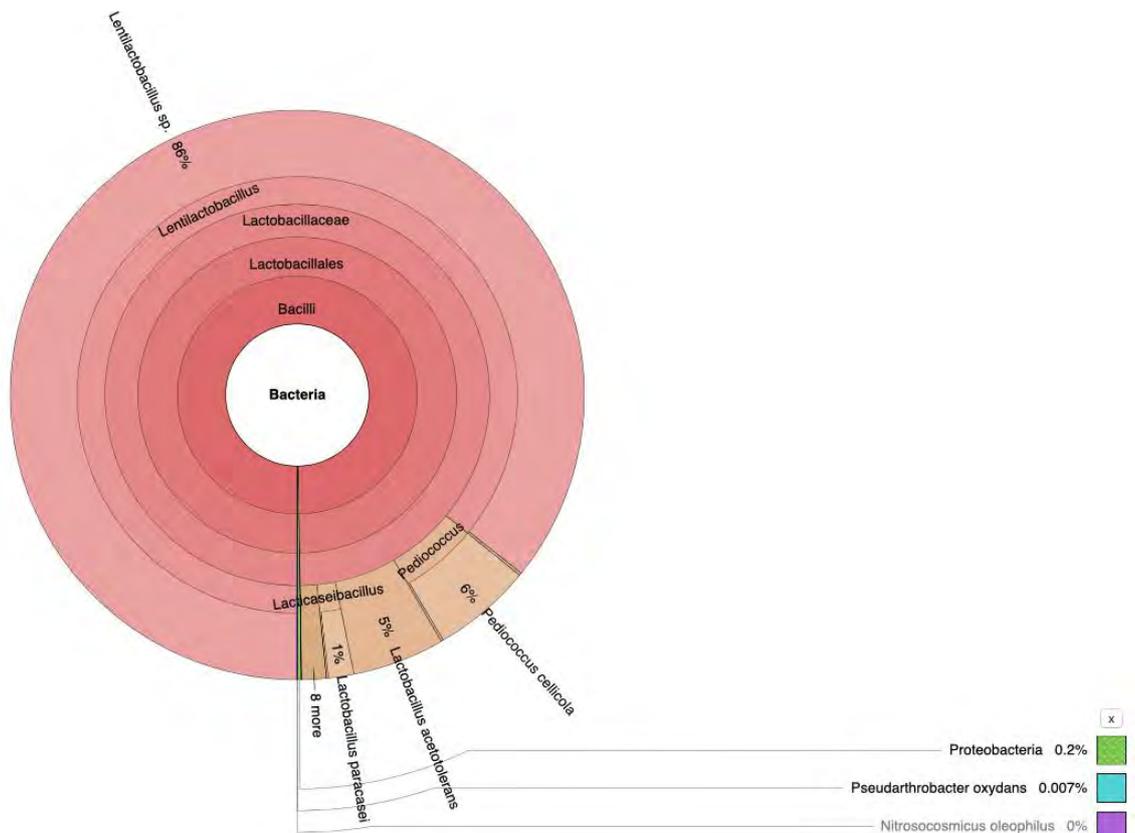


Figure 25 : Visualisation graphique des bactéries détectées dans la solution de Lifofer par analyse métagénomique Biome makers (Krona)

#### **4. LA LIFOFER**

Concernant l'analyse méta génomique de la Lifofer (Annexe 15), le rapport expose l'ensemble des microorganismes présents dans la solution. Les analyses ont détecté 143 espèces différentes dans la solution avec 31 espèces de bactéries et 112 espèces de champignons. Proportionnellement, la quantité de champignons est moins importante que la quantité de bactéries. La majorité des espèces de microorganismes rencontrées dans la Lifofer sont des bactéries appartenant au genre *Lactobacillus*. 80 % de l'ensemble microbien est impliqué dans la fixation de C et 100 % sont impliqués dans des pertes de C via le processus de respiration.



## DISCUSSION ET PERSPECTIVES

### 1. DISCUSSION DES RESULTATS

#### 1.1. Un taux de débourrement plus faible en présence de Lifofer.

Lorsqu'on croise les résultats obtenus du taux de débourrement concernant l'application foliaire (Rolle) et l'application au sol (Cinsault), les résultats suivent la même tendance avec un taux de débourrement significativement supérieur pour les modalités témoin. Ces observations pourraient être justifiées en raison de la présence de l'acide abscissique (ABA) dans des extraits de Lifofer (Christen, 2021). En effet, il existe une corrélation négative entre l'aptitude au débourrement et le taux d'ABA. Cet acide a pour action d'inhiber le débourrement (Koussa, et al., 1994).

Cela nous amène à supposer que la Lifofer, composée en partie d'ABA à une concentration de 50 ng/ml aurait la faculté d'inhiber le débourrement en le retardant.

Ceci pourrait être avantageux notamment lorsque les parcelles sont gélives et limiter ainsi les pertes végétatives. Ces résultats ne sont pas observables pour le Cinsault soumis à l'application foliaire : en effet il s'agit d'un cépage plus précoce et donc le débourrement était déjà trop avancé pour observer une différence lorsque la mesure a été faite. Ce n'est pas le cas pour la modalité sol où la mesure a été réalisé avant. Lors de la prochaine année à venir, il faudra réaliser la mesure sur Cinsault de la modalité foliaire avant celle du Rolle afin d'observer une possible différence. A l'avenir, il pourrait être intéressant de mesurer le temps entre le débourrement de la modalité traitée et témoin.

#### 1.2. Une cinétique de croissance végétative différente.

Au niveau de la modalité sol, les observations sur les graphiques de 2020 et 2021 sont relativement similaires. En 2021, les mesures ont été faites au début de la croissance et n'ont pas été suivis par la suite pour un souci de période scolaire. Après le débourrement, la croissance est supérieure pour les témoins ce qui pourrait être expliqué par un débourrement plus précoce. Par la suite, la tendance s'inverse et la modalité traitée prend le dessus. Cette observation est confirmée lors de la troisième année de traitement en N+2. L'inversion de la tendance pourrait être expliquée par l'action des champignons mycorhizes à arbuscules (CMA) retrouvés dans la modalité sol traitée à travers l'analyse méta génomique. La relation symbiotique formée entre les CMA et la plante va profiter au développement des deux. Les CMA permettent à la plante hôte de bénéficier d'une surface d'échange plus conséquente avec le sol et donc d'assimiler les nutriments (notamment P) de manière plus importante (Smith & Read, 1997).

Néanmoins, au fur et à mesure des années, nous observons que la tendance s'inverse de plus en plus tôt. Cela pourrait être dû à une action de la Lifofer progressivement plus importante.

Les données obtenues quant à l'application de Lifofer lors de l'eau d'arrosage des complants ont permis de démontrer une amélioration de la croissance végétative de manière nettement supérieure. A travers ces résultats, je peux émettre comme hypothèse que les



échanges au niveau du sol sont plus importants notamment grâce aux champignons mycorhiziens (analyse métagénomique).

### **Une estimation du rendement similaire**

Pour cette première année de mesure 2022 du rendement pour les modalités sol et foliaire, les résultats ne sont pas significativement différents. Cependant, il y a une tendance au niveau de la pulvérisation foliaire supérieure pour la modalité foliaire traitée. Ces résultats rentrent en adéquation avec les résultats d'une expérimentation menée sur le pois au Pakistan qui montre que l'application foliaire à court terme n'affecte pas le rendement (Arshad Javaid, 2016).

L'idée est de voir plus sur le long terme s'il y a un impact de la Lifofer au niveau du rendement dans les années à venir.

## **1.3. Le statut minéral**

### **1.3.1. Analyse pétiolaire**

L'analyse pétiolaire permet d'observer l'assimilation des différents éléments minéraux sur la fin du cycle végétal mais aussi d'identifier les besoins des parcelles pour ces éléments. Les tendances observées ici sur l'analyse pétiolaire sont confirmées par les données du N Tester, ce qui va dans le sens de la corrélation déjà écrite entre la teneur en azote mesurée par analyse pétiolaire et l'azote mesurée via le N tester (Van Leeuwen & Friant, 2011). Nous ne pouvons pas exclure l'hypothèse que l'application foliaire de Lifofer améliore le taux d'azote. Le phosphore est favorable au développement racinaire et au fonctionnement énergétique de la plante. Après observation des résultats, les valeurs de la modalité traitée ont tendance à être inférieur à la modalité témoin.

La Lifofer aurait tendance à diminuer le potassium et participerait donc moins à l'amélioration de la photosynthèse et de la croissance de la plante. Cette observation est valable pour le phosphore, la Lifofer aurait tendance à diminuer sa quantité mais de manière peu considérable. Néanmoins, sur le Cinsault, il aura fallu attendre une année de traitement pour observer des résultats similaires au Rolle.

La Lifofer n'influencerait pas l'assimilation de fer, important pour établir un feuillage avec une photosynthèse efficace mais aussi l'assimilation du calcium car les valeurs restent très proches et du zinc.

Le magnésium participe au bon fonctionnement photosynthétique de la plante, il permet de favoriser aussi la mise en réserve. Les valeurs de ce minéral nous amène à supposer que le traitement améliore nettement l'assimilation de magnésium.

Il est difficile d'émettre une hypothèse concernant le manganèse mais nous laissons la possibilité d'expliquer cela par un effet variétal car les deux cépages réagissent différemment.



Les mécanismes d'absorptions foliaires sont peu connus mais on sait que la vigne a la capacité d'absorber de l'eau et des minéraux (Traité de la vigne, 2020). Cependant, il est difficile de trouver des références concernant l'assimilation des minéraux par la feuille étant donné que cela représente une part minime de l'assimilation par rapport aux racines. Pour ce qui est de l'influence des microorganismes concernant l'assimilation de nutriments par la feuille, il n'y a pas encore de résultats à ce niveau.

Globalement, nous pouvons émettre comme hypothèse que la Lifofer augmenterait l'assimilation de l'azote et du magnésium, mais diminuerait l'assimilation de potassium. Ces hypothèses sont à confirmer les années à venir en continuant de faire des analyses pétiolaires.

### **1.3.2. Statut azoté de la vigne plus élevé en fin de cycle végétatif (2020 et 2021) et variable selon le cépage.**

Lors de la première année d'expérimentation, les résultats sont significativement différents à partir de la troisième date de mesure (juillet) pour le Rolle. Ce résultat nous amène à supposer que la Lifofer a agi sur l'activité photosynthétique mais de manière tardive. La tendance suivie sur l'ensemble des dates de mesure pour ce cépage vient confirmer aussi cette supposition.

Pour le Cinsault, aucune différence significative n'a été observée. Il existe une variation de l'activité photosynthétique foliaire en fonction des facteurs intrinsèques cépages (Farineau & Morot-Gaudry, 2018).

Les deux cépages réagissent donc différemment quant à l'application foliaire de Lifofer. Pour le Rolle on pourrait émettre comme hypothèse que la Lifofer a agi tardivement tandis que pour le Cinsault ces observations sont encore à confirmer dans les prochaines années afin d'observer s'il est possible d'obtenir une différence significative sur chaque date. Les résultats obtenus pour l'ensemble des dates sont encourageants pour la suite.

Sachant que dans l'ensemble, 2020 et 2021, nous avons obtenu des différences significatives à certains niveaux que l'on n'a pas observé en 2022. Sur cette troisième année de traitement, nous n'avons qu'un seul relevé pour un souci de disponibilité de l'appareil N Tester de notre prestataire. De plus, un facteur millésime pourrait intervenir étant donné que les facteurs environnementaux influent sur le déroulement de l'activité photosynthétique tel que : la température, l'éclairement et la teneur en CO<sub>2</sub> de l'air (Farineau & Morot-Gaudry, 2018). J'émet donc comme hypothèse que certains facteurs environnementaux ont limité l'assimilation azotée et que c'est pour cela qu'on ne voit pas de différence sur la dernière année.



## **1.4. Conséquence sur l'état hydrique de la vigne et du sol.**

### **1.4.1. Stress hydrique de la vigne**

Les différences quasi inexistantes entre les modalités témoins et traités foliaire, nous amène à penser que l'application foliaire de Lifofer ne semble pas influencer sur le potentiel hydrique de base. La vigne subirait donc un stress similaire qu'elle soit traitée ou non.

Après analyse des résultats concernant la modalité sol, la différence entre témoin et traité permet d'émettre comme hypothèse que l'application au sol de Lifofer permet d'améliorer l'état hydrique de la vigne. De plus, il y a plus d'humidité dans le sol donc la vigne serait moins stressée dans la modalité traitée. Cette hypothèse est confirmée par une étude qui a démontré que l'application de Lifofer apportait une amélioration de la qualité des sols et donc de la rétention en eau dans le sol (Sangakkara & Higa, 2000. Hussain, et al. 2000).

### **1.4.2. État hydrique du sol : sondes capacitives.**

Bien que la teneur en eau volumique ait une différence significative, il est difficile d'émettre une réelle hypothèse. Pour cette analyse, nous avons installé 2 paires de sondes (2 sondes à 30 cm et 2 sondes à 60 cm) par modalité afin de confirmer les résultats. Cependant, sur chaque modalité l'une des paires de sonde ne fonctionnaient pas. Mes résultats s'appuient donc sur une seule paire de sondes par modalité et ne sont pas confirmées par la deuxième paire. L'année prochaine, il sera nécessaire de remédier à ce problème plus rapidement afin de consolider ces observations.

En considérant les analyses métagénomiques pour l'interprétation de la teneur en eau volumique, il y a plus de CMA sur la partie traitée. Étant donné que ces types de champignons interviennent dans les situations de stress et qu'ils diminuent le stress hydrique (Belabed, 2015) et donc favorisent la teneur en eau dans le sol.

## **1.5. Influence sur la pression sanitaire.**

La pression mildiou était tellement importante sur l'année N+1 j'ai réalisé les relevés que l'action souhaité de la Lifofer était inexistante et ça n'a pas permis d'observer de différence lors de la deuxième année de traitement. Lors de la troisième année, la pression sanitaire était quasi-inexistante sur la modalité foliaire. Malgré cela, il a été observé sur la culture de la vigne une diminution de la pression sanitaire par certains auteurs (Robotic et al. 2001). Cette référence pourrait nous amener à penser que la Lifofer agirait aussi sur notre parcelle d'expérimentation. Il serait intéressant, à l'avenir, de réitérer cette analyse une année où la pression reste moyenne et de multiplier cette analyse sur plusieurs parcelles afin d'observer s'il peut y avoir une réelle différence.

## **1.6. Caractéristiques physico-chimiques du sol.**

L'analyse de sol réalisée au laboratoire Aurea pour la modalité sol, nous permet de suivre les différentes modalités étant donné qu'il n'y a pas de réelle différence au



niveau des caractéristiques physico-chimiques du sol. La prise en compte des facteurs biotiques et abiotiques sur les parcelles expérimentales sont primordiaux pour le bon déroulement des expérimentations.

### **1.7. Les analyses métagénomiques de la Lifofer et du sol traité par la Lifofer.**

Le fait de retrouver des CMA au niveau de la modalité sol traitée ne provient pas forcément directement de la solution de Lifofer car nous ne retrouvons pas de ce type de champignons dans sa composition de départ. Cependant, je peux émettre l'hypothèse qu'il y a une meilleure résistance potentielle de la plante due aux microorganismes, et qu'il y a une meilleure stabilité de la vie microbienne dans le sol. Ainsi, cet équilibre pourrait notamment faciliter la présence et la prolifération de CMA dans les racines. La supposition est que la Lifofer permet de créer un environnement plus protecteur pour le développement des CMA dans la modalité traitée par rapport au témoin où la résistance des microorganismes est plus faible.

La différence de rapport champignon – bactérie dans le sol pourrait être expliquée par l'apport de Lifofer étant donné que la solution est composée essentiellement de bactéries.

La variation entre la résistance de la modalité traitée par rapport à la partie témoin nous permet d'émettre l'hypothèse suivante : la Lifofer permettrait d'améliorer la qualité du sol en augmentant sa résistance due aux microorganismes. Cela permettrait donc d'avoir un meilleur équilibre au niveau de la vie du sol notamment dû aux microorganismes.

Les résultats concernant la santé du sol n'insinuent pas qu'il y ait moins de risque de pathogène du côté traité mais que c'est la quantité d'agents pathogènes responsables des maladies qui sont moins nombreux. Concernant les agents pathogènes qui ont été détectés, il faut prendre du recul avec ces résultats. En effet, l'analyse métagénomique mesure l'ADN donc peut prendre en compte des microorganismes morts ou en dormance.

A propos du biocontrôle, les analyses regroupent toutes les espèces de microorganismes qui peuvent intervenir en tant qu'agent de biocontrôle en entrant en compétition sur la même niche écologique ou en tant que prédateurs des pathogènes.

Après avoir croisé les résultats des analyses métagénomique de la solution de Lifofer et des modalités, la totalité des microorganismes présents dans la solution sont impliqués dans la perte de C via le processus de fermentation. Cela pourrait expliquer qu'il y a plus de perte de C lors de la fermentation sur la partie traitée.

L'observation d'acide abscissique (ABA) dans la Lifofer par certains auteurs est intéressante car elle peut permettre la régulation de la croissance végétale. Cependant, nous n'avons pas dosé l'ABA dans la Lifofer mais il y aurait une chance que l'on puisse en trouver étant donné qu'à travers l'analyse d'une autre Lifofer, Christen (2021) a trouvé 50 ng/ml d'ABA dans la solution. Ainsi, il pourrait y avoir un éventuel apport d'ABA avec la Lifofer et un deuxième apport à travers les microorganismes par la biosynthèse d'ABA car le sol traité présente des microorganismes plus fortement impliqués. Ces observations pourraient expliquer le retard de débourrement.



## **2. REPONSE AUX OBJECTIFS**

Ces trois années d'expérimentation permettent dorénavant de voir que la Lifofer a un impact sur la vigne à différents niveaux. Les modalités où les résultats sont les plus importants sont les modalités appliquées au sol et complants. Jusqu'alors, nous n'avons pas réellement vu de résultats quant à la santé de la plante et à la présence de pathogène. Cet objectif n'est donc pas complété. Cependant des effets sur la croissance, le taux de débourrement, l'activité synthétique..., permettent de compléter une partie de l'objectif fixé. Enfin, les expérimentations avec pour objectif sur la diminution de l'eau se verront être appliquées prochainement.

## **3. LIMITES DE L'ETUDE**

Nous avons rencontré diverses difficultés lors des expérimentations. Concernant cette étude, le nombre de parcelle par type d'application (foliaire, sol, complants), n'était pas assez nombreux par manque de temps et de mains d'œuvre, afin d'avoir des répétitions. Cela ne permet pas d'évaluer ces applications sur une diversité de sols et de microclimats. Dans un premier temps il faudrait multiplier ces essais sur des terroirs identiques et dans un second temps, étendre ces essais à des terroirs différents.

La variabilité des environnements est l'un des facteurs limitants les plus importants car nous subissons ce facteur, notamment lié au nombre de parcelles. La variabilité des mesures notamment lorsque les relevés sont réalisés avec plusieurs personnes apportent une possible marge d'erreur malgré que nous ayons réalisé les relevés de la manière la plus aléatoire possible. La courte durée de l'étude et les deux premières années les individus suivis n'étaient pas assez nombreux n'ont pas ou peu permis d'obtenir des différences significatives. Le fait de dépendre de nombreux prestataires pour les analyses, telles que le N Tester, a rendu des relevés parfois non réalisables : soit, ils n'étaient pas disponibles pour intervenir, soit l'appareil était en panne. C'est pour cela que nous n'avons qu'un seul relevé pour la troisième année. Enfin, la principale difficulté était le rythme de l'alternance. Certains mois, je ne pouvais pas me rendre sur les parcelles pour faire les relevés nécessaires lorsqu'il n'y avait pas encore de département R&D au sein de l'entreprise.

## **4. RECOMMANDATIONS POUR LA SUITE DE L'EXPERIMENTATION**

A l'issue de ces trois premières campagnes d'essais sur la Lifofer, des enseignements peuvent être tirés. Tout d'abord, sur les deux premières années d'expérimentation, étudier un nombre d'individus plus importants aurait permis d'obtenir des tendances significatives plus rapidement. De plus, étudier différentes doses de Lifofer sur les modalités permettraient de voir qu'elles sont les doses adéquates avec le plus d'influence sur la vigne. Bien que le conseil de l'entreprise spécialisée Rézomes soit important, ces doses restent à confirmer au cours d'une expérimentation car la vigne ne fait pas partie des cultures habituelles pour ce type d'expérimentation.



Pour la suite de l'expérimentation, je rajouterai une modalité de trempage des plants dans une solution de Lifofer avant la plantation. Je pense que cela pourrait permettre de coloniser les racines et ainsi de favoriser les échanges entre le sol et la plante.

Pour l'année prochaine, je recommanderai de mesurer le taux de débourrement sur le Cinsault avant le Rolle pour obtenir des résultats plus probants étant donné que c'est un cépage plus précoce.

De mon point de vue, j'étendrai les analyses au-delà de la maturité et de la récolte. Je pense qu'il pourrait être intéressant de voir s'il y a aussi une influence au niveau des composés du raisin, du vin et notamment de l'azote assimilable, primordial pour le bon déroulement d'une fermentation alcoolique.



## CONCLUSION

Ces trois années consécutives d'expérimentation menées en conditions réelles sur l'application de solution de Lifofer par aspersion foliaire, au sol et arrosage des complants, ont permis d'obtenir des premiers résultats encourageants pour la suite des essais. Il est encore tôt pour tirer un bilan de l'utilisation de cette solution sur la vigne qui a commencé à être expérimenté en 1996 sur peu de critères. Les résultats exposés dans ce mémoire ne sont que les prémises de plusieurs années d'études afin d'obtenir une vision complète et globale de l'impact de la Lifofer sur la culture de la vigne mais aussi pour confirmer les observations faites.

Les premiers résultats permettent de répondre en partie à la problématique exposée dans ce mémoire sur l'impact de l'innovation de la technologie artisanale des microorganismes endogènes (Lifofer) sur l'amélioration des caractéristiques du sol et du développement de la vigne dans le cadre de la transition vers l'agro-écologie en climat méditerranéen.

Les données obtenues sur l'amélioration des caractéristiques du sol sont encore à confirmer lors de la reconduction de l'essai. J'inclue notamment les analyses métagénomiques et l'état hydrique du sol qui sont à affirmer. Concernant la physiologie de la vigne, les effets observés permettent de générer des différences entre les modalités notamment au niveau de la croissance végétative de la modalité (sol et racines) et le taux de débourrement (sol et foliaire). Au niveau de l'état hydrique de la vigne, l'effet est plus visible sur la modalité sol. Pour ce qui est du statut azoté, les deux premières années émettent un effet visible entre les modalités sur l'expérimentation foliaire mais pas sur la dernière année. Ces résultats seront à confirmer lors d'une quatrième année en ciblant notamment des analyses particulières. A propos de la pression sanitaire, pas d'effet sont apparus sur les expérimentations.

Ce bilan va permettre de cibler de manière plus précise les analyses en fonction des expérimentations.

Les études menées sur la Lifofer tendent à se répandre. L'ensemble des techniques pour redonner vie au sol et pour favoriser la croissance de la plante suscite un intérêt grandissant chez les viticulteurs soucieux de répondre aux enjeux environnementaux et climatiques. Cela concerne aussi d'autres acteurs comme les cabinets de conseils ou laboratoires. Effectivement, les travaux du sol ont remplacé l'usage de désherbants dans les vignes. Malgré cela, travailler son sol de diverses manières diminue dans tous les cas la faune présente. Apporter des microorganismes endogènes et redonner vie au sol permettrait en partie d'entrer dans cette démarche soucieuse de l'environnement sans compter l'effet positif que cette solution peut avoir sur la vigne.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

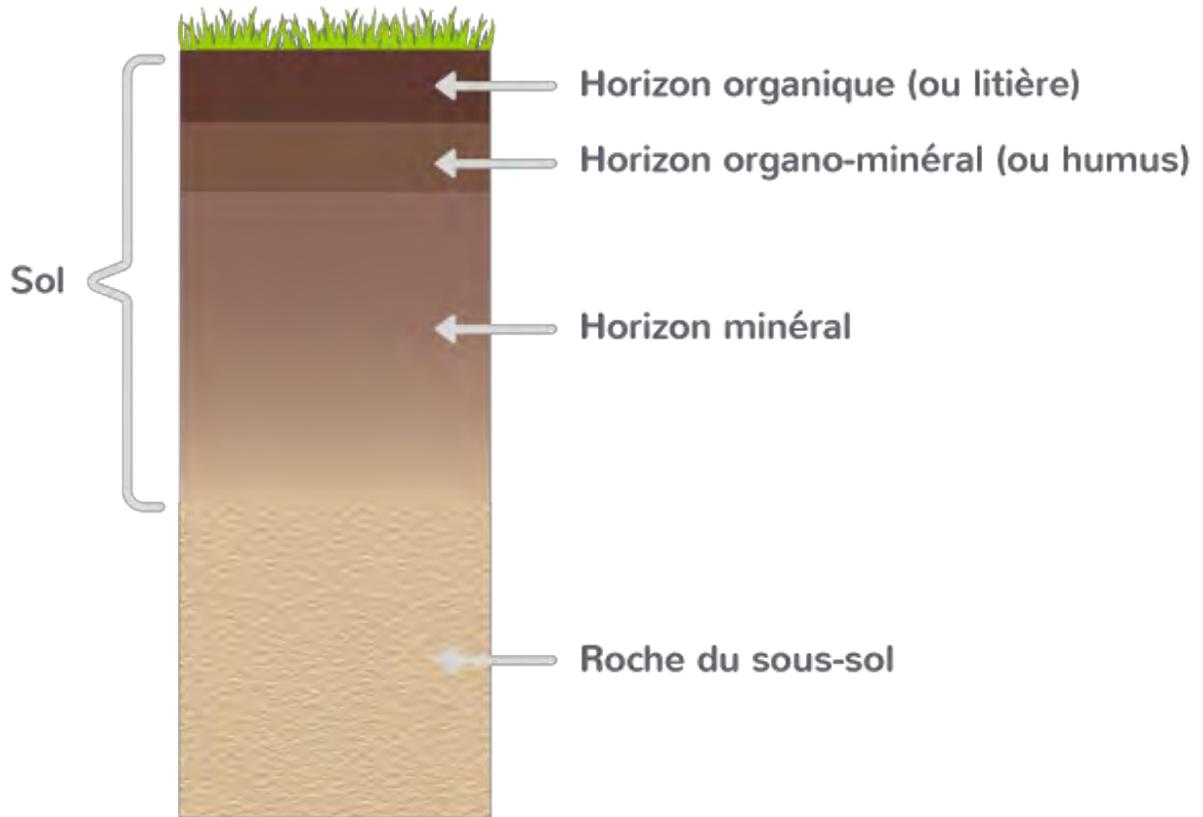
- Banco Interamericano de Desarrollo, et Convenio Fondo Especial de Japon. 2009. « Manual\_Practico\_Usa\_EM\_OISCA\_BID.pdf ».
- Adolphe, Adjanohoun et al. « Utilisation des microorganismes du sol pour accroître la productivité agricole ». p. 78.
- Alvarez, Manuel, Franz Tucta, Evelyn Quispe, et Victor Meza. 2018. « Incidencia de la inoculación de microorganismos benéficos en el cultivo de fresa (*Fragaria* sp.) ». *Scientia Agropecuaria* p. 33-42.
- Arakawa, Y. « Kyusei Nature Farming in Japan ». : 3.
- Auriga, Alicja, Ireneusz Ochmian, Jacek Wróbel, et Jan Oszmianski. 2018. « The Influence of Effective Microorganisms and Number of Buds per Cane in Viticulture on Chemical Composition in Fruits ». *Journal of Applied Botany and Food Quality*: 271-280 Pages.
- Brown, Patrick, et Sebastian Saa. 2015a. « Biostimulants in Agriculture ». *Frontiers in Plant Science* p. 6.
- Campo-Martínez, Andrea Del Pilar, Rosa Lina Acosta-Sanchez, Sandra Morales-Velasco, et Fabio Alonso Prado. 2014. « Evaluation of microorganisms of mountain (mm) in the production of chard on the plateau of popayán ». p. 9.
- CIRAD. 2021. « Connaissez-vous la litière forestière fermentée, ce fertilisant prometteur utilisé en agroécologie ? » *CIRAD*.
- Cóndor\_Golec, Aníbal F., Pablo González Pérez, et Chinmay Lokare. 2013. « Microorganismos Efi Caces: Mito o Realidad? » *Revista Peruana de Biología* p. 315-19.
- Cornelis (Kees) van Leeuwen et Philippe Friant. 2011. « les méthodes d'estimation de l'alimentation azotée de la vigne et des raisins au vignoble.pdf ».
- DEL ROSSO, Benetta. 2019. Évaluation de l'efficacité d'un programme à base de biostimulants contre le stress hydrique sur un vignoble méditerranéen.
- Farineau, Jack et Morot-Gaudry, Jean-François. 2018. *La photosynthèse*. Editions Quae.
- Fawzy, Z. F. et al., 2012 « Influence of Foliar Application by EM "Effective Microorganisms", Amino Acids and Yeast on Growth, Yield and Quality of Two Cultivars of Onion Plants under Newly Reclaimed Soil ».
- Félix, Dorian. 2015. « Compilation de documents et témoignages cubains sur le fonctionnement, la production artisanale et l'usage de microorganismes efficaces en milieu paysan ». p. 42.
- Ferreri, Loric. 2017. Accompagner une démarche d'expérimentation en milieu paysan pour l'appropriation d'une innovation, la technologie des microorganismes endogènes (ME), au sein de fermes-écoles agro-écologiques en zone soudano-sahélienne au Burkina Faso.

- Gobbi, Alex et al. 2022. « A Global Microbiome Survey of Vineyard Soils Highlights the Microbial Dimension of Viticultural Terroirs ». *Communications Biology* 5(1): 241.
- Higa, Dr Teruo. 1994. « Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment ».
- Higa, Dr Teruo, et G. N. Wididana. « The Concept and Theories of Effective Microorganisms ».
- IFV. 2020. Mesure du potentiel hydrique foliaire de tige. Dans : *IFV Occitanie* [En ligne].
- Krzyżaniak, Yuko et al., 2017 « Biostimulation of Grapevine and Wheat: Mode of Action and Possible Agronomic Uses »
- Laurent, Ahmed, Durieu, et Grieu. 2020. « Marine and fungal biostimulants improve grain yield, nitrogen absorption and allocation in durum wheat plants ».
- Ledru, Apolline. 2022. « Nouveau rapport du GIEC 2022 : 7 points clés à retenir ». *OMNEGY*.
- Li, Wei-Joing et al. 1998. « Application of EM Technology for Intensive Organic Recycling, Soil Quality, Crop Yield and Quality, and Environmental Prote... »
- Vens, Arnaud, 2022. Terre & Humanise « Litière forestière fermentée ». *Agroécologie et Permaculture*.
- Malivel, Antoine. 2019. Suivre et évaluer des expérimentations paysannes autour d'un bio-stimulant artisanal, la Litière Forestière Fermentée, à travers un réseau multi-acteur en Auvergne-Rhône-Alpes.
- Mustafa, Ghalia. 2017. « Protection du blé contre l'oïdium par des champignons mycorhiziens à arbuscules: mécanismes et optimisation ». p. 221.
- Parnell, J. Jacob et al. 2016. « From the Lab to the Farm : An Industrial Perspective of Plant Beneficial Microorganisms ». *Frontiers in Plant Science* 7.
- Javaid Arshad, 2006. « Foliar application of effective microorganisms on pea as an alternative fertilizer ». *Agronomy for Sustainable Development* p. 257-62.
- Rios, Gilbert Chavez. 2012. « “evaluación de la aplicación de cinco dosis de microorganismos eficientes, para el control de pythium sp. y fusarium sp. en el cultivo de lechuga (lactuca sativa) variedad great lakes 659 en lamas – san martin” ». p. 65.
- Smith, S.E. & Read D.J. (1997). *Mycorrhizal Symbiosis*, Third Edition. Academic Press. San Diego. Calif. U.S.A.
- Terre & Humanisme. 2019. « Développement participatif d'une technologie agroécologique innovante, alternative aux intrants de synthèse pour une production alimentaire saine et abondante. »

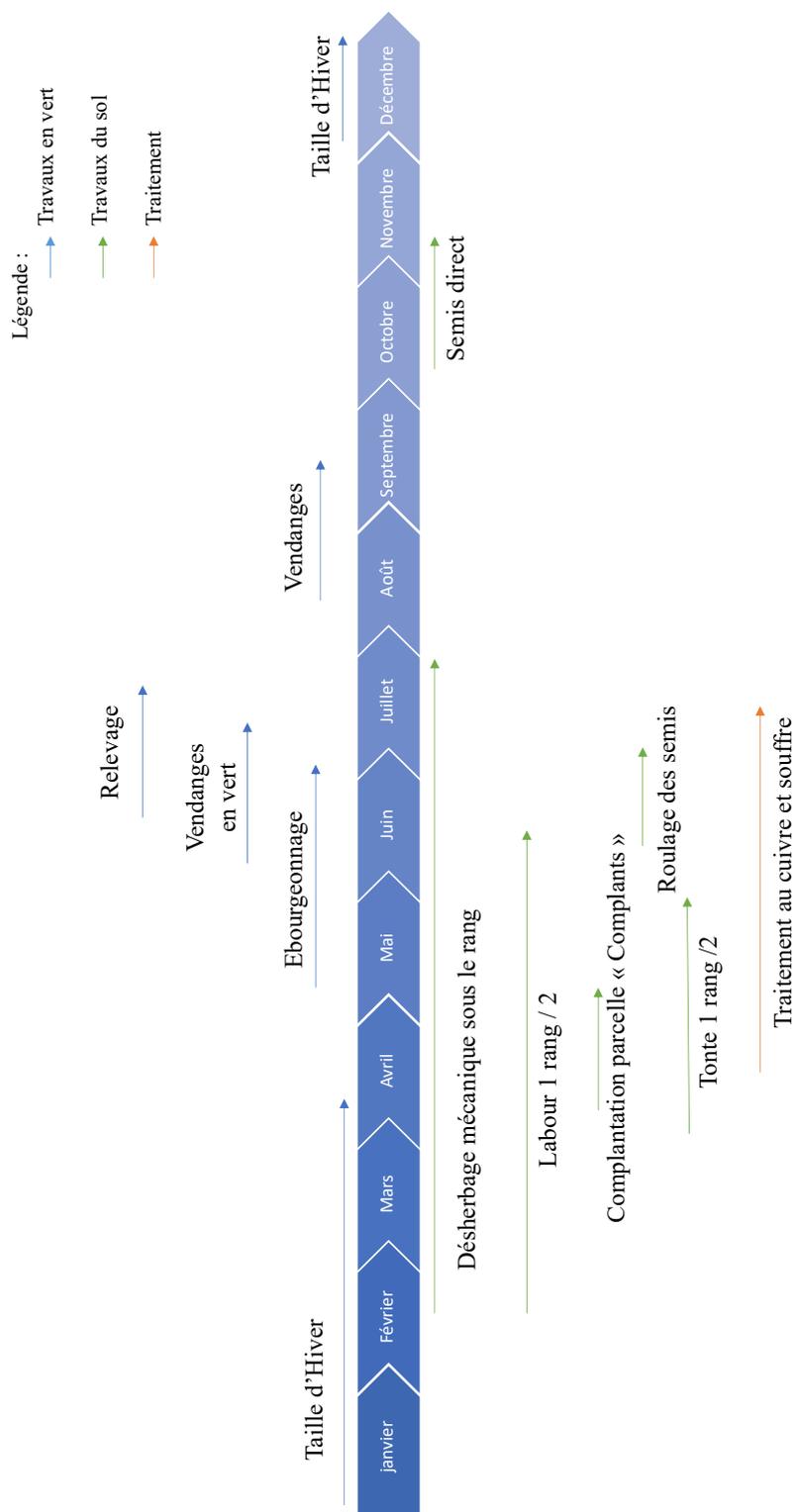


## ANNEXES

*Annexe 1 : Schéma caractéristique du sol (Kartable).*



Annexe 2 : Itinéraire technique des parcelles expérimentales (Picard)



*Annexe 3 : Pulvérisateur foliaire Calvet vigne (Picard)*



# Les stades phénologiques de la vigne

L'Institut Français de la Vigne et du Vin conduit des missions de portée générale pour l'ensemble de la filière vitivinicole, dans les domaines de la sélection végétale, de la viticulture, de la vinification et de la mise en marché des produits. L'IFV est implanté dans l'ensemble des bassins viticoles grâce à ses stations régionales.



<p><b>Stade A ou 01</b> ou 00 Bourgeon d'hiver L'oeil de l'année précédente est presque entièrement recouvert par deux écailles protectrices brunâtres.</p> 	<p><b>Stade B ou 03</b> ou 05 Bourgeon dans le conon L'oeil gonfle, se décale et s'écarte et la bourre est très visible. Ce stade suit les pluies.</p> 	<p><b>Stade C ou 05</b> ou 09 Pomme verte L'oeil commence à gonfler et s'allonger. Il présente une pomme verte constituée par la jeune poussée.</p> 	<p><b>Stade D ou 06</b> ou 11 Sortie des feuilles Des feuilles rudimentaires rassemblees au rosé apparaissent. Leur base est encore protégée par la bourre progressivement rejetée hors des écailles.</p> 	<p><b>Stade E ou 09</b> ou 13 2 à 3 feuilles étalées Les premières feuilles sont totalement dégauffées et présentent les caractères variétaux. Le rameau est nettement visible.</p> 	<p><b>Stade F ou 12</b> ou 33 Grappes visibles des grappes rudimentaire apparaissent au sommet de la pousse. Quatre à six feuilles étalées sont visibles.</p> 	<p><b>Stade G ou 15</b> ou 55 Boutons floraux encore agglomérés Les grappes s'allongent sur la pousse. Les boutons floraux sont encore agglomérés.</p> 	<p><b>Stade H ou 17</b> ou 57 Boutons floraux séparés Les boutons floraux sont nettement isolés. La forme typique de l'inflorescence apparaît.</p> 	<p><b>Stade I ou 23</b> ou 65 Floraison Les capitachons se détachent à la base et tombent. Les étamines et le pistil sont visibles. Après ce stade, vient la nouaison des grains.</p> 	<p><b>Stade J ou 31</b> ou 75 Petit pois Les grains ont la taille d'un petit pois. Les grappes pendent.</p> 	<p><b>Stade L ou 33</b> ou 77 Femelle de la grappe Les baies atteignent une taille suffisante pour se toucher.</p> 	<p><b>Stade M ou 36</b> ou 81 Vérison Les baies s'éclaircissent pour le raisin blanc ou se colorent pour le raisin noir.</p> 	<p><b>Stade N ou 38</b> ou 89 Maturité Les baies sont prêtes pour la récolte car elles ont atteint leur maturité technologique.</p> 	<p><b>Stade O ou 43</b> ou 93 Début de la chute des feuilles.</p> 	<p><b>Stade P ou 47</b> ou 97 Fin de la chute des feuilles: à l'automne.</p> 
---	--	---	--	---	---	--	--	--	---	---	---	--	---	---

Depuis 1994, la notation des stades phénologiques de la vigne s'effectue suivant une échelle numérique s'étalant de 1 à 47, établie par Eichhorn & Loreux. Cette échelle complète celle de Bagagnoli, notée de A à O, surtout au niveau de la floraison. Enfin, il existe une échelle universelle pour toutes les monocotylédones et les dicotylédones, appelée BBCH (Biologische Bundesanstalt für Landbau und Pflanzenzüchtung). Chaque stade est défini par une lettre et deux chiffres dans l'ordre : Bagagnoli, Eichhorn & Loreux et BBCH.

Institut Français de la Vigne et du Vin - Domaine de l'Espignette - 30240 Le Grau du Roi - [www.vignevin.com](http://www.vignevin.com)

© Institut Français de la Vigne et du Vin - A.M. Demare - Photos IFV / P. Mackiewicz, A.M. Demare - Janvier 2009

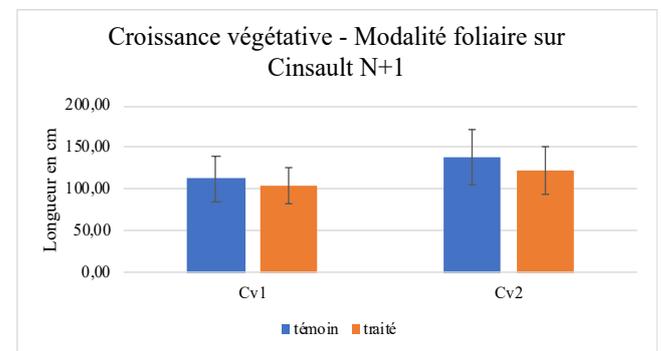
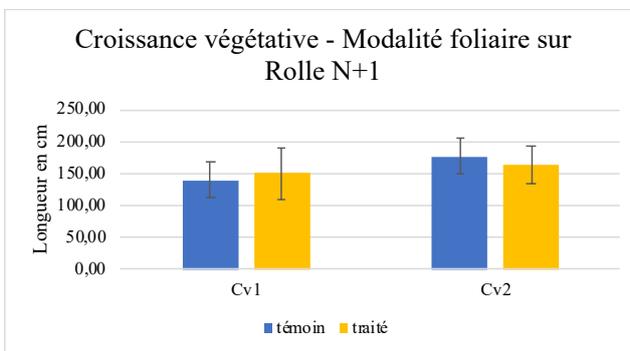
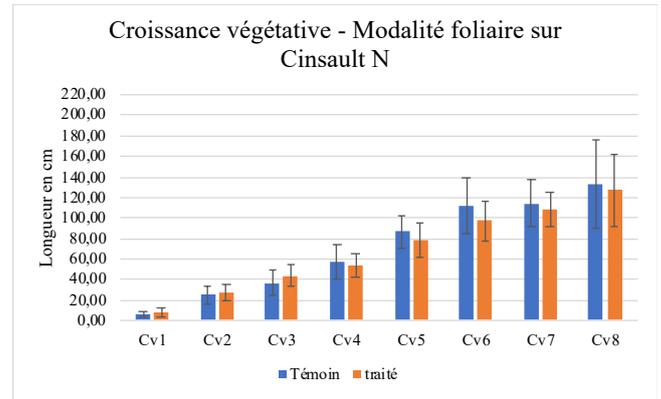
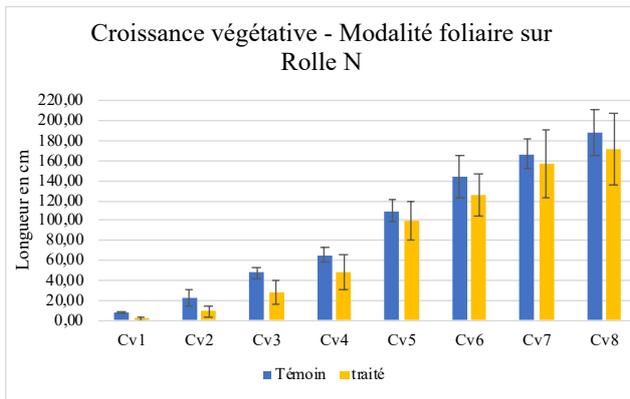
*Annexe 5 : Barre de désherbage Tecnomat pour l'application de Lifofer au sol, parcelle "Plantier", Domaine de La Carbonnelle (Picard).*



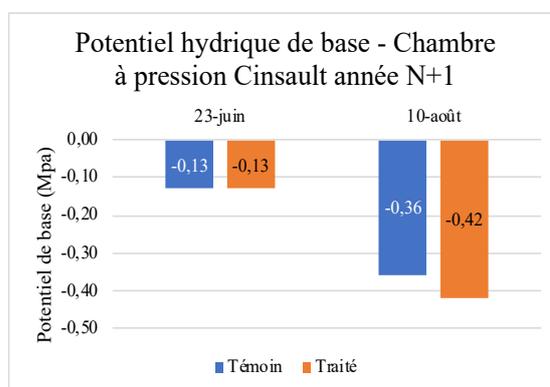
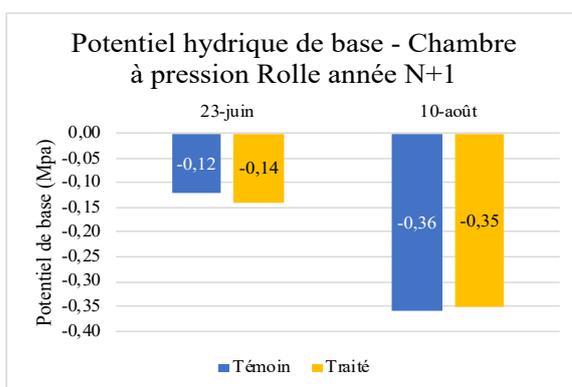
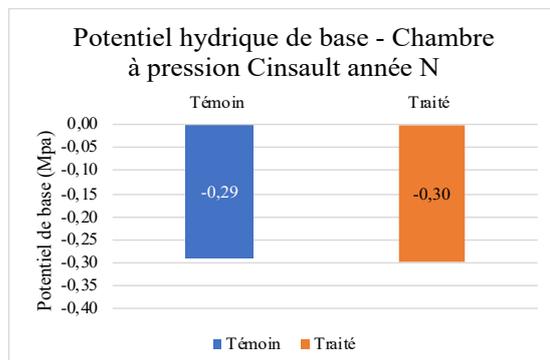
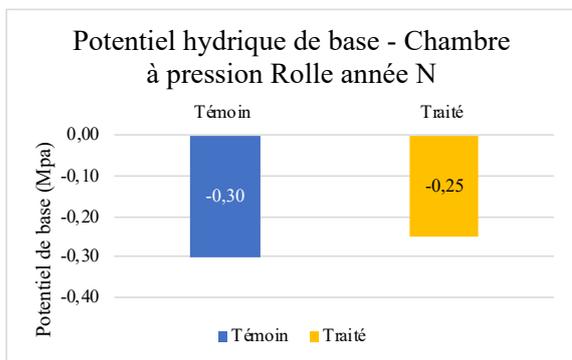
*Annexe 6 : Echantillon de terre pour l'analyse métagénomique au laboratoire Biomemakers (Picard).*



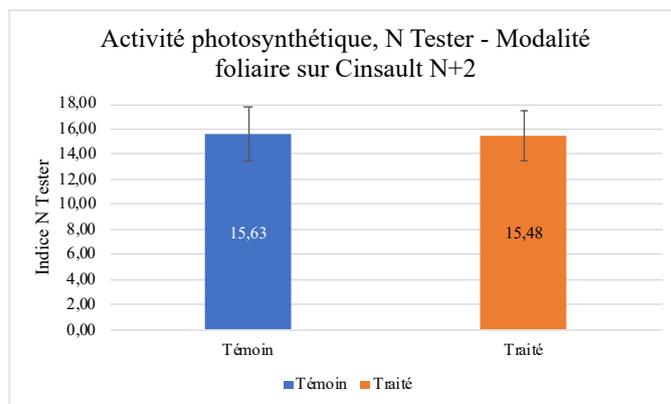
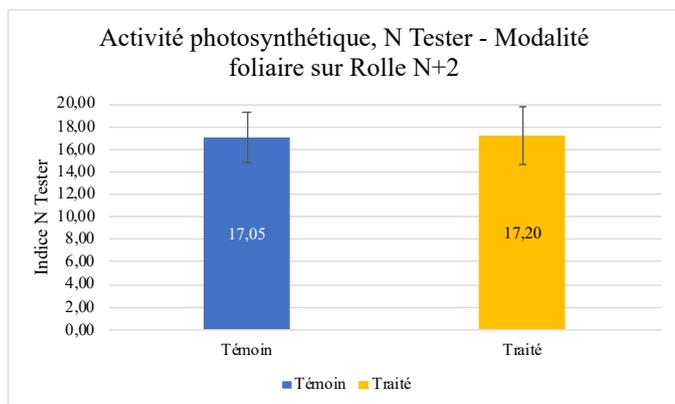
Annexe 7 : Croissance végétative 2020 et 2021 sur Cinsault et Rolle, modalité foliaire (cm).



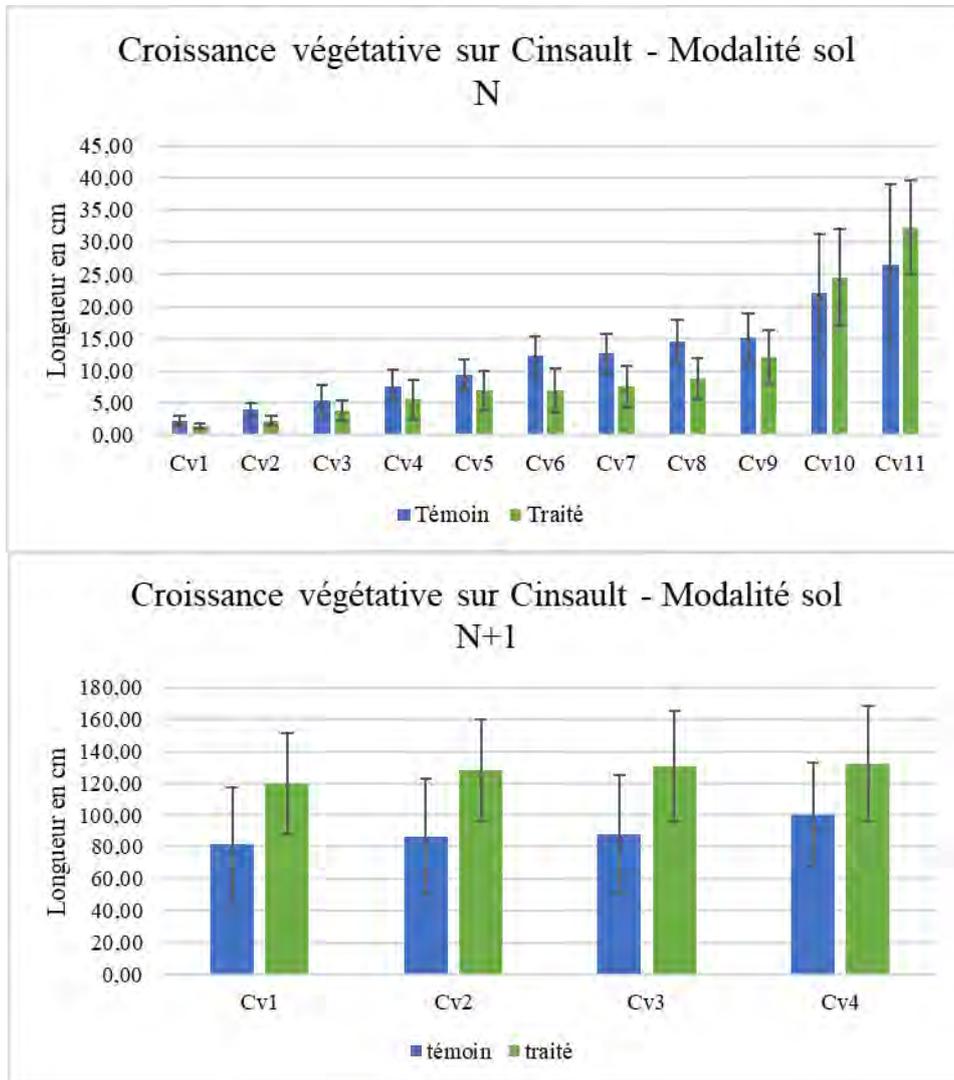
Annexe 8 : Graphique du potentiel hydrique de base sur Rolle et Cinsault en année N et N+1, modalité foliaire sur la parcelle "Bureaux" à la Ferme Saint Georges



Annexe 9 : Activité photosynthétique modalité foliaire sur Cinsault et Rolle en N+2 (N tester)



Annexe 10 : Croissance végétative sur Cinsault N et N+1, modalité sol, parcelle "Plantier" au Domaine de La Carbonnelle.



Annexe 13 : Analyse métagénomique (laboratoire Biome makers), modalité témoin sol, parcelle "Plantier" au Domaine de La Carbonnelle.

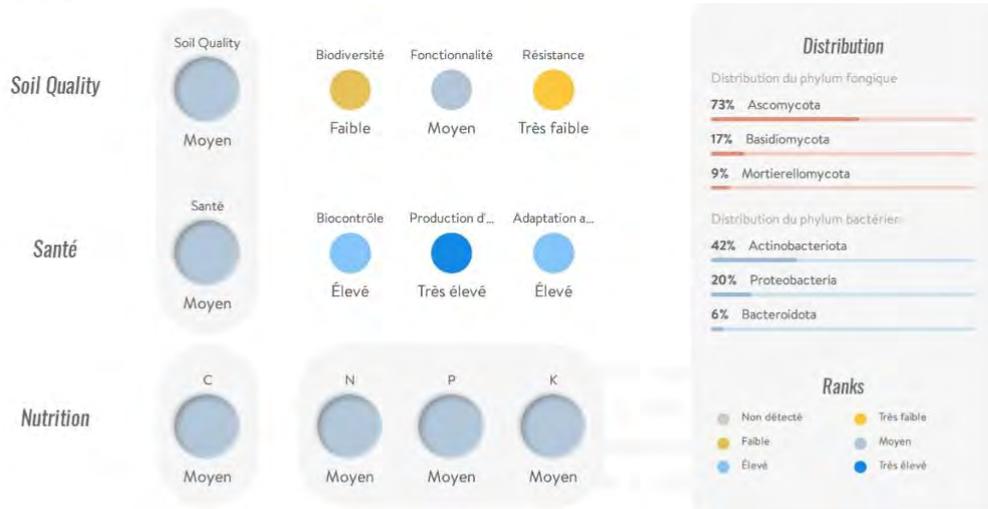
Rapport d'analyse du microbiome



Toutes les informations présentées dans ce rapport microbien sont basées sur la détection de la présence de **680** espèces différentes dont la distribution est



RÉSUMÉ



SOIL QUALITY



## SANTÉ

SANTÉ  
MOYEN

6

Maladie  
Risques trouvés

## Santé des cultures en fonction des agents pathogènes détectés

## Léger Risque Détecté



## MOISSURE GRISE

|||| FAIBLE Niveau de risque



## MALADIE DE PETRI

|||| FAIBLE Niveau de risque



## PIED NOIR

|||| FAIBLE Niveau de risque



## BROUSSIN DE LA VIGNE

|||| FAIBLE Niveau de risque

POURRITURES À ASPERGILLUS • POURRITURE À CLADOSPORIUM

## Non Détecté

OÏDIUM / BLANC DE LA VIGNE • POURRITURES À ALTERNARIA • MILDIOU • ROT BRENNER / ROUGEOT  
 PARASITAIRE • POURRIDÉ AGARIC • L'ESCA DE LA VIGNE • NÉCROSE BACTÉRIENNE DE LA VIGNE •  
 DÉPÉRISSEMENT À BOTRYOSPHAERIA • POURRIDÉ DE LA VIGNE • EUTYPIOSE • FAUX BLACK ROT DE LA  
 VIGNE • POURRITURE DU COLLET • MALADIE DE PIERCE • POURRITURE DE MATURITÉ DES BAIES •  
 EXCORIOSE • RHIZOCTONE DU TEXAS • ANTHRACNOSE MACULÉE • VERTICILLIOSE • ROT BLANC DE LA  
 VIGNE

## Biocontrôle

AGENTS FONGICIDES ÉLEVÉ

AGENTS BACTÉRICIDES NON DÉTECTÉ

AGENTS INSECTICIDES ÉLEVÉ

AGENTS NÉMATOCIDES NON DÉTECTÉ

**HORMONE PRODUCTION**

TRÈS ÉLEVÉ

**3**

Détecté

*Potentiel phytohormonal basé sur les espèces détectées***PRODUCTION D'AUXINE (IAA)**

DIVISION CELLULAIRE

ÉLONGATION DE LA TIGE

ÉLEVÉ

**PRODUCTION DE CYTOKININE (CK)**

PROLIFÉRATION CELLULAIRE

DIFFÉRENCIATION CELLULAIRE

ÉLEVÉ

**PRODUCTION DE GIBBÉRELLINE (GA)**

ÉLONGATION DE LA TIGE

GERMINATION

FLORAISON

TRÈS ÉLEVÉ

**STRESS ADAPTATION**

ÉLEVÉ

**7**

Détecté

*Espèces microbiennes regroupées en fonction de leur relation avec les métabolismes liés à la capacité de résister à des conditions de stress***PRODUCTION D'EXOPOLYSACCHARIDE**

PIÈGE    NUTRIMENTS

PROT. CONTRE LA SALINITÉ

PROT. CONTRE LA S  CH  RESSE

ÉLEVÉ

**ACC DÉSAMINASE (ACC-D)**

PROT. CONTRE LES PATHOGÈNES

PROT. CONTRE LA SALINITÉ

PROT. CONTRE LA S  CH  RESSE

ÉLEVÉ

**SOLUBILISATION DES MÉTAUX LOURDS**

BIOREMÉDIATION

DÉTOXICATION

RÉDUIRE LE STRESS DES MÉTAUX LOURDS

MOYEN

**ACIDE SALICYLIQUE (SA)**

PROT. CONTRE LA S  CH  RESSE

PROT. CONTRE LA SALINITÉ

RÉDUIRE LE STRESS DES MÉTAUX LOURDS

TRÈS ÉLEVÉ

**TOLÉRANCE AU SEL**

PROTECTION CONTRE LA SALINITÉ

PROMOTION DE LA CROISSANCE DES RACINES

ÉLEVÉ

**ACIDE ABSCISSIQUE (ABA)**

RÉGULATION DE LA CROISSANCE

RÉSISTANCE DES PLANTES

AUGMENTATION DES RENDEMENTS

ÉLEVÉ

**PRODUCTION DE SIDÉROPHORES**

DISPONIBILITÉ DU FER

BIOFERTILISANT

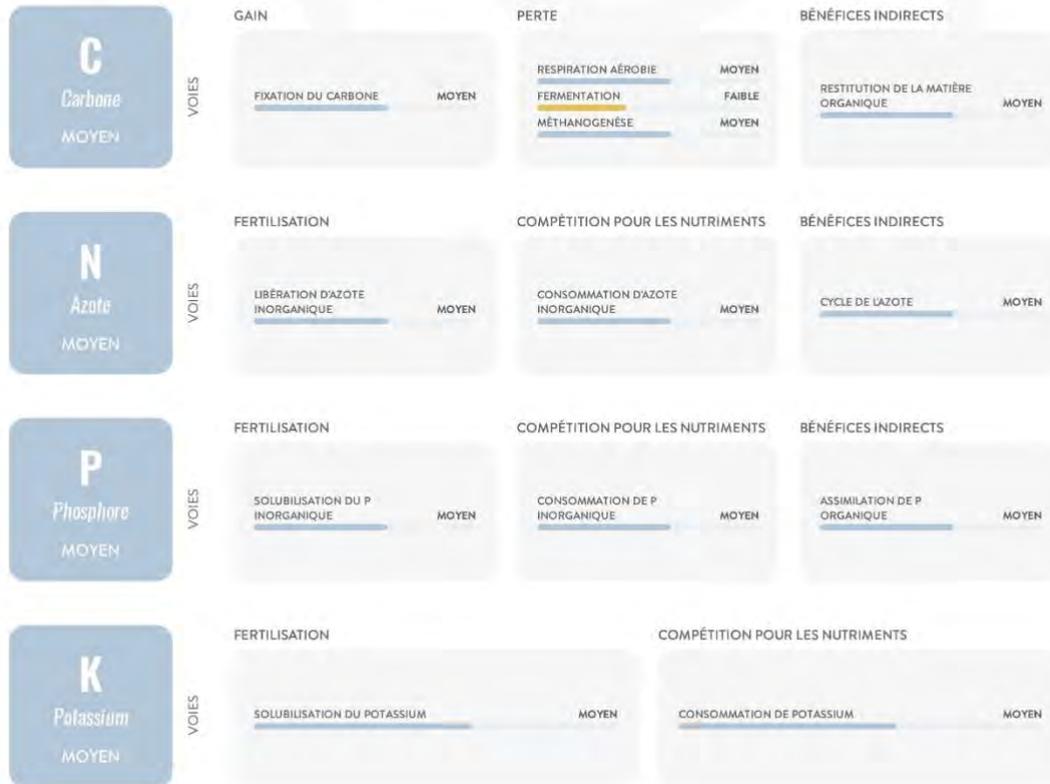
ÉLEVÉ

BC-R-Test-ITS3-16S4-BPP2\_0-2022-06-20-AZ1007-3/4

## NUTRITION

État nutritionnel basé sur la mobilisation microbienne de certains composés

### Principaux Composés



### Composés Mineurs



BC-R-Test-ITS3-16S4-BPP2\_0-2022-06-20-AZ1007-v1/1

Annexe 14 : Analyse métagénomique (laboratoire Biome makers), modalité traitée sol, parcelle "Plantier" au Domaine de La Carbonnelle.

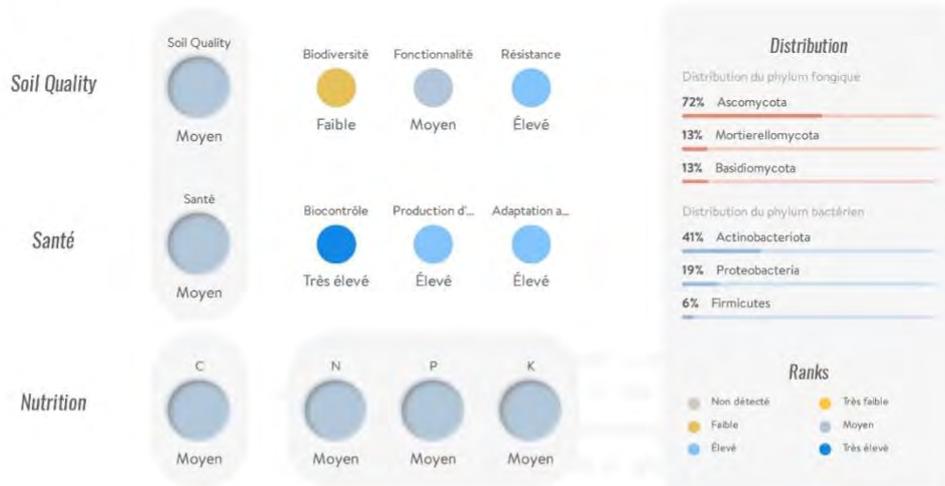
Rapport d'analyse du microbiome



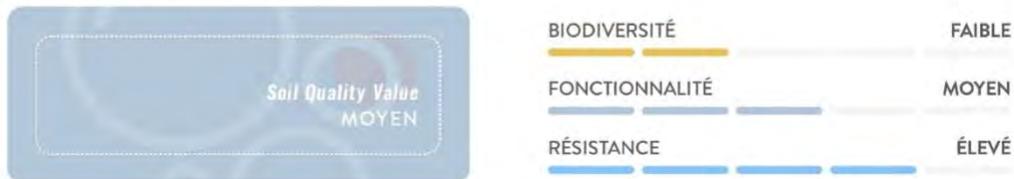
Toutes les informations présentées dans ce rapport microbien sont basées sur la détection de la présence de **744** espèces différentes dont la distribution est



RÉSUMÉ



SOIL QUALITY



## SANTÉ

SANTÉ  
MOYEN

5

Maladie  
Risques trouvés

## Santé des cultures en fonction des agents pathogènes détectés

## Léger Risque Détecté



MOISSURE GRISE

|||| TRÈS FAIBLE Niveau de risque



MALADIE DE PETRI

|||| TRÈS FAIBLE Niveau de risque



PIED NOIR

|||| TRÈS FAIBLE Niveau de risque

POURRITURES À ASPERGILLUS • POURRITURE À CLADOSPORIUM

## Non Détecté

OÏDIUM / BLANC DE LA VIGNE • POURRITURES À ALTERNARIA • MILDIOU • ROT BRENNER / ROUGEOT  
 PARASITAIRE • POURRIDÉ AGARIC • L'ESCA DE LA VIGNE • NÉCROSE BACTÉRIENNE DE LA VIGNE •  
 DÉPÉRISSEMENT À BOTRYOSPHAERIA • POURRIDÉ DE LA VIGNE • EUTYPIOSE • FAUX BLACK ROT DE LA  
 VIGNE • BROUSSIN DE LA VIGNE • POURRITURE DU COLLET • MALADIE DE PIERCE • POURRITURE DE  
 MATURITÉ DES BAIES • EXCORIOSE • RHIZOCTONE DU TEXAS • ANTHRACNOSE MACULÉE • VERTICILLIOSE  
 • ROT BLANC DE LA VIGNE

## Biocontrôle

AGENTS FONGICIDES TRÈS ÉLEVÉ

AGENTS BACTÉRICIDES NON DÉTECTÉ

AGENTS INSECTICIDES ÉLEVÉ

AGENTS NÉMATOCIDES ÉLEVÉ

BC-F-Test-ITS3-16S4-BPP2\_0-2022-06-20-AZ1006-2/4

**HORMONE PRODUCTION**

ÉLEVÉ

**3**

Détecté

*Potentiel phytohormonal basé sur les espèces détectées***PRODUCTION D'AUXINE (IAA)**

DIVISION CELLULAIRE

ÉLONGATION DE LA TIGE

ÉLEVÉ

**PRODUCTION DE CYTOKININE (CK)**

PROLIFÉRATION CELLULAIRE

DIFFÉRENCIATION CELLULAIRE

ÉLEVÉ

**PRODUCTION DE GIBBÉRELLINE (GA)**

ÉLONGATION DE LA TIGE

GERMINATION

FLORAISON

ÉLEVÉ

**STRESS ADAPTATION**

ÉLEVÉ

**7**

Détecté

*Espèces microbiennes regroupées en fonction de leur relation avec les métabolismes liés à la capacité de résister à des conditions de stress***PRODUCTION D'EXOPOLYSACCHARIDE**

PIÈGE À NUTRIMENTS

PROT. CONTRE LA SALINITÉ

PROT. CONTRE LA SÉCHERESSE

MOYEN

**ACC DÉSAMINASE (ACC-D)**

PROT. CONTRE LES PATHOGÈNES

PROT. CONTRE LA SALINITÉ

PROT. CONTRE LA SÉCHERESSE

ÉLEVÉ

**SOLUBILISATION DES MÉTAUX LOURDS**

BIOREMÉDIATION

DÉTOXICATION

RÉDUIRE LE STRESS DES MÉTAUX LOURDS

FAIBLE

**ACIDE SALICYLIQUE (SA)**

PROT. CONTRE LA SÉCHERESSE

PROT. CONTRE LA SALINITÉ

RÉDUIRE LE STRESS DES MÉTAUX LOURDS

ÉLEVÉ

**TOLÉRANCE AU SEL**

PROTECTION CONTRE LA SALINITÉ

PROMOTION DE LA CROISSANCE DES RACINES

ÉLEVÉ

**ACIDE ABSCISSIQUE (ABA)**

RÉGULATION DE LA CROISSANCE

RÉSISTANCE DES PLANTES

AUGMENTATION DES RENDEMENTS

TRÈS ÉLEVÉ

**PRODUCTION DE SIDÉROPHORES**

DISPONIBILITÉ DU FER

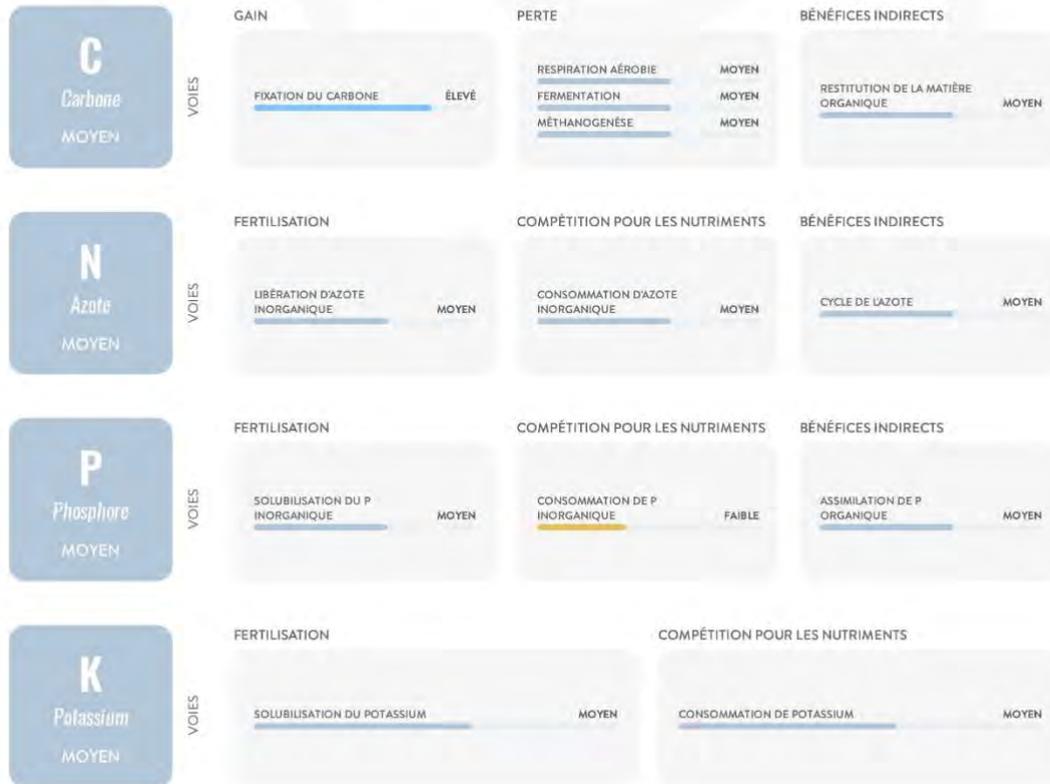
BIOFERTILISANT

ÉLEVÉ

## NUTRITION

État nutritionnel basé sur la mobilisation microbienne de certains composés

### Principaux Composés

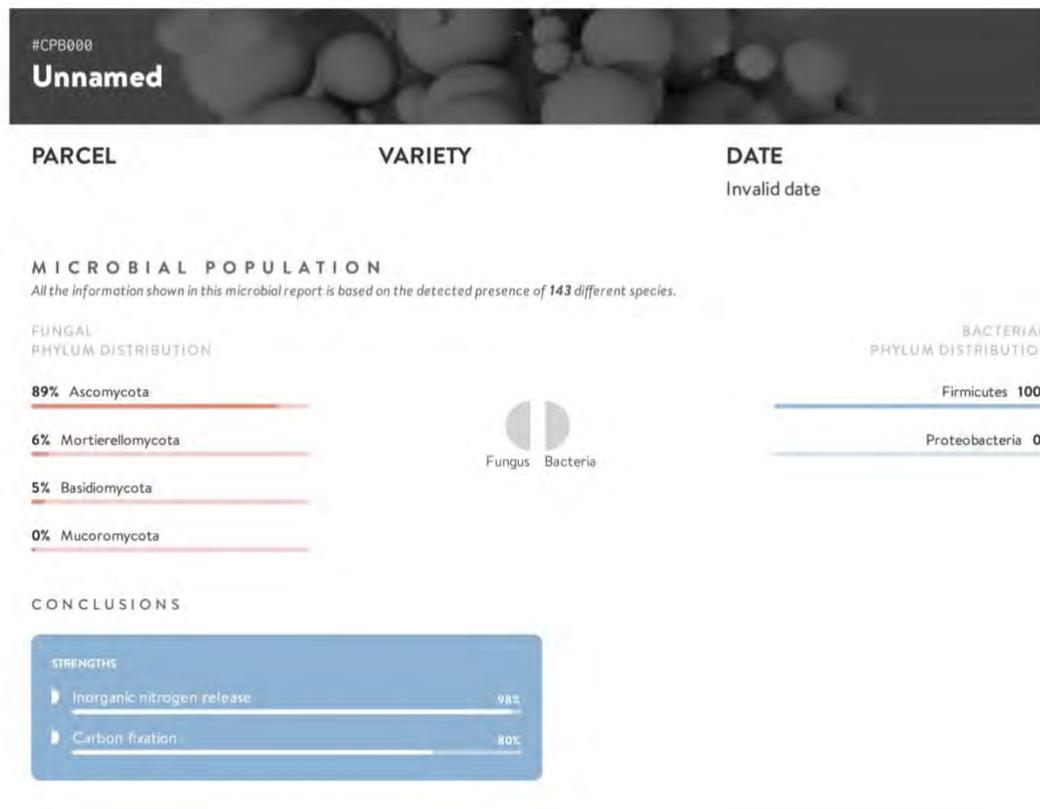


### Composés Mineurs

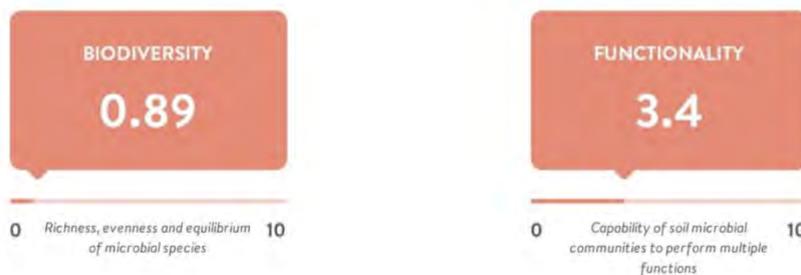


BC-R-Test-ITS3-16S4-BPP2\_0-2022-06-20-AZ1006-4/4

# Annexe 15 : Analyse métagénomique de la solution de Lifofer (Laboratoire Biome makers)



## BIOSUSTAINABILITY



## PLANT HEALTH IMPROVEMENT

Biocontrol agents, plant growth promoting organisms

### BIOCONTROL

\*\*\*

Microbial species grouped according to the type of pest they encounter, capable of preventing pathogenic species from taking hold or proliferation

Fungicide agents

— 4%

Bactericide agents

— NOT DETECTED

Insecticide agents

— 1%

Nematicide agents

— NOT DETECTED

### HORMONE PRODUCTION

\*\*\*

Microbial species grouped according to the type of phytohormone they generate

Auxin production (IAA)

CELL DIVISION STEM ELONGATION

— 1%

Cytokinin production (CK)

CELL PROLIFERATION CELL DIFFERENTIATION

— 1%

Gibberellin production (GA)

STEM ELONGATION GERMINATION FLOWERING

— 1%

### STRESS ADAPTATION

\*\*\*

Microbial species grouped according to their relationship with the metabolisms linked to the capability to withstand stress conditions

Exopolysaccharide production

NUTRIENT TRAP SALINITY PROTECT. DROUGHT PROTECT.

— NOT DETECTED

ACC deaminase (ACC-d)

PATHOGEN PROTECT. SALINITY PROTECT. DROUGHT PROTECT.

— 0%

Heavy metal solubilization

BIOREMEDIATION DETOXIFICATION ALLEVIATE HEAVY METAL STRESS

— NOT DETECTED

Salicylic acid (SA)

DROUGHT PROTECT. SALINITY PROTECT. ALLEVIATE HEAVY METAL STRESS

— NOT DETECTED

Salt tolerance

SALINITY PROTECT. ROOT GROWTH PROMOTION

— 0%

Abscisic acid (ABA)

GROWTH REGULATION PLANT RESISTANCE INCREASE YIELDS

— 1%

Siderophore production

IRON AVAILABILITY BIOPERTILIZER

— 1%

PR-CPB000-2/8

## NUTRITION

Nutritional status based on the microbial mobilization of certain compounds

### MAJOR COMPOUNDS

#### C Carbon



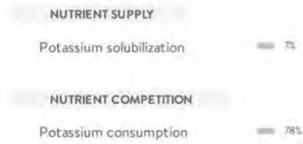
#### N Nitrogen



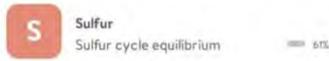
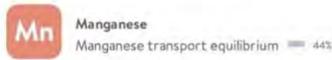
#### P Phosphorus



#### K Potassium



### MINOR COMPOUNDS



PR-CPB000-3/8

# APPENDIX

## BACTERIAL QUANTIFICATION 2.0

### METHODOLOGY

The Next-Gen sequencing in combination with the addition of a known quantity spike-in enables the knowledge of the total microbial load in a sample.

The present analysis relies on the application of a spike-in of our synthetic proprietary DNA sequence in known quantities into crude samples. After the sequencing and data processing, the relative abundance of the exogenous spike-in allows us to extrapolate the original absolute quantity of the 16S copies of the sample species, while knowledge of the number of gene copies per genome in the species allows us to calculate the number of Cells.

Results are expressed in 'cells per gram' or 'cells per milliliter', depending on the sample being a solid or liquid.

1	<i>Lentilactobacillus</i> sp.	5.18e+10	16	<i>Lactocaseibacillus</i> sp.	2.42e+7
2	<i>Lactobacillus acetotolerans</i>	3.92e+9	17	<i>Lactiplantibacillus</i> sp.	1.72e+7
3	<i>Pediococcus cellicola</i>	3.38e+9	18	<i>Lactobacillus perolens</i>	1.52e+7
4	<i>Lactobacillus paracasei</i>	8.68e+8	19	<i>Pediococcus</i> sp.	1.41e+7
5	<i>Lactobacillus nenjiangensis</i>	4.00e+8	20	<i>Lactococcus lactis</i>	1.35e+7
6	<i>Lactobacillus coryniformis</i>	1.17e+8	21	<i>Lactobacillus brevis</i>	1.11e+7
7	<i>Acetobacter fabarum</i>	1.12e+8	22	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	7.58e+6
8	<i>Lactobacillus harbinensis</i>	1.11e+8	23	<i>Lactobacillus parafragginis</i>	7.07e+6
9	<i>Lactobacillus senioris</i>	7.17e+7	24	<i>Lactobacillus buchneri</i>	7.07e+6
10	<i>Pediococcus parvulus</i>	6.06e+7	25	<i>Lactobacillus zeae</i>	6.06e+6
11	<i>Companilactobacillus</i> sp.	5.05e+7	26	<i>Nitrosocosmicus oleophilus</i>	5.05e+6
12	<i>Lactobacillus pentosus</i>	3.43e+7	27	<i>Lactobacillus oligofermentans</i>	5.05e+6
13	<i>Lactobacillus pantheris</i>	3.23e+7	28	<i>Acetobacter</i> sp.	5.05e+6
14	<i>Lactobacillus similis</i>	3.20e+7	29	<i>Proteus mirabilis</i>	5.05e+6
15	<i>Lactobacillus parabrevis</i>	2.83e+7	30	<i>Pseudarthrobacter oxydans</i>	4.04e+6

Results are expressed in 'cells per gram' or 'cells per milliliter', depending on the sample being a solid or liquid.

<b>31</b>	<i>Neobacillus niacini</i>	2.24e+6
-----------	----------------------------	---------

NOTES

Species belonging to a genus present in the CDFA Approved Microorganisms List

Species present in the CDFA Approved Microorganisms List

# APPENDIX

## FUNGI QUANTIFICATION 2.0

The Next-Gen sequencing in combination with the addition of a known quantity spike-in enables the knowledge of the total microbial load in a sample. The present analysis relies on the application of a spike-in of our synthetic proprietary DNA sequence in known quantities into crude samples. After the sequencing and data processing, the relative abundance of the exogenous spike-in allows us to extrapolate the original absolute quantity of the ITS copies of the sample species. NOTE: number of cells cannot be provided for Fungi due to many factors including very limited knowledge of ITS copies per genome, ploidy variations, pluricellularity, etc.

Results are expressed in 'ITS copies per gram' or 'ITS copies per milliliter', depending on the sample being a solid or liquid.

#	Genus & Species	Percentage	Copies	#	Genus & Species	Percentage	Copies
1	<i>Kazachstania unispora</i>	54.6381%	25,367,572	18	<i>Trichoderma spirale</i>	0.6290%	292,044
2	<i>Pseudogymnoascus roseus</i>	4.7357%	2,198,722	19	<i>Plectosphaerella cucumerina</i>	0.5929%	275,261
3	<i>Botrytis cinerea</i>	2.9427%	1,366,228	20	<i>Didymella exigua</i>	0.5206%	241,694
4	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	2.4799%	1,151,394	21	<i>Solicozozyma aerea</i>	0.5206%	241,694
5	<i>Kluyveromyces lactis</i>	2.1980%	1,020,478	22	<i>Mortierella elongata</i>	0.4844%	224,906
6	<i>Mortierella alpina</i>	2.0750%	963,411	23	<i>Penicillium pimentovense</i>	0.4700%	218,194
7	<i>Penicillium aurantiogriseum</i>	1.9666%	913,056	24	<i>Talaromyces marneffeii</i>	0.4555%	211,478
8	<i>Mortierella sp.</i>	1.8726%	869,417	25	<i>Inocybe kriegelsteineri</i>	0.4193%	194,694
9	<i>Aureobasidium pullulans</i>	1.2797%	594,161	26	<i>Penicillium levitum</i>	0.4121%	191,339
10	<i>Mortierella minutissima</i>	1.0845%	503,522	27	<i>Pyrenochaetopsis decipiens</i>	0.4049%	187,983
11	<i>Russula amoenolens</i>	1.0411%	483,383	28	<i>Schizothecium curvisporum</i>	0.3977%	184,628
12	<i>Inocybe ericetorum</i>	0.9761%	453,172	29	<i>Zygosaccharomyces rouxii</i>	0.3615%	167,839
13	<i>Alternaria eichhorniae</i>	0.8965%	416,244	30	<i>Humicola olivacea</i>	0.3543%	164,483
14	<i>Pseudogymnoascus pannorum</i>	0.8893%	412,889	31	<i>Solicozozyma terrea</i>	0.3543%	164,483
15	<i>Pichia kudriavzevii</i>	0.8025%	372,606	32	<i>Fusarium pseudensiforme</i>	0.3470%	161,128
16	<i>Penicillium simplicissimum</i>	0.7664%	355,822	33	<i>Chrysosporium pseudomerarium</i>	0.3326%	154,417
17	<i>Cladosporium herbarum</i>	0.7592%	352,467	34	<i>Aspergillus deflexus</i>	0.3109%	144,344

FR\_CPB000-07/8

RELATIVE FUNGAL ABUNDANCE

Results are expressed in 'ITS copies per gram' or 'ITS copies per milliliter', depending on the sample being a solid or liquid.

#	Genus & Species	Percentage	Copies	#	Genus & Species	Percentage	Copies
35	<i>Fusarium oxysporum</i>	0.3109%	144,344	55	<i>Bionectria</i> sp.	0.1808%	83,922
36	<i>Cortinarius trivialis</i>	0.3109%	144,344	56	<i>Penicillium spinulosum</i>	0.1735%	80,567
37	<i>Chrysosporium merdarium</i>	0.3109%	144,344	57	<i>Arcopilus cupreus</i>	0.1735%	80,567
38	<i>Pseudeurotium hygrophilum</i>	0.3037%	140,989	58	<i>Zygosaccharomyces</i> sp.	0.1735%	80,567
39	<i>Curvularia lunata</i>	0.2820%	130,917	59	<i>Penicillium griseofulvum</i>	0.1663%	77,206
40	<i>Penicillium solitum</i>	0.2747%	127,561	60	<i>Trichoderma pubescens</i>	0.1663%	77,206
41	<i>Phoma</i> sp.	0.2747%	127,561	61	<i>Mortierella rishiksha</i>	0.1591%	73,850
42	<i>Oidiodendron setiferum</i>	0.2747%	127,561	62	<i>Talaromyces</i> sp.	0.1518%	70,494
43	<i>Penicillium polonicum</i>	0.2386%	110,778	63	<i>Solkocozyma terricola</i>	0.1518%	70,494
44	<i>Mortierella hyalina</i>	0.2314%	107,417	64	<i>Conocybe apala</i>	0.1518%	70,494
45	<i>Penicillium</i> sp.	0.2241%	104,061	65	<i>Curvularia spicifera</i>	0.1518%	70,494
46	<i>Fusarium proliferatum</i>	0.2169%	100,706	66	<i>Penicillium melinii</i>	0.1518%	70,494
47	<i>Tetracladium</i> sp.	0.2169%	100,706	67	<i>Schwanniomyces pseudopolymorp...</i>	0.1446%	67,139
48	<i>Humicola nigrescens</i>	0.2097%	97,350	68	<i>Saitozyma podzolica</i>	0.1446%	67,139
49	<i>Thermomyces lanuginosus</i>	0.2097%	97,350	69	<i>Penicillium herquei</i>	0.1374%	63,778
50	<i>Torulasporea delbrueckii</i>	0.2024%	93,989	70	<i>Alternaria</i> sp.	0.1374%	63,778
51	<i>Pyrenochaetopsis leptospora</i>	0.2024%	93,989	71	<i>Fusarium equiseti</i>	0.1374%	63,778
52	<i>Gibellulopsis</i> sp.	0.1952%	90,633	72	<i>Acremonium persicinum</i>	0.1374%	63,778
53	<i>Cladophialophora</i> sp.	0.1880%	87,278	73	<i>Penicillium roseopurpureum</i>	0.1301%	60,422
54	<i>Aspergillus ochraceus</i>	0.1880%	87,278	74	<i>Arnium</i> sp.	0.1301%	60,422

FR-CFS000-7/8

RELATIVE FUNGAL ABUNDANCE

Results are expressed in 'ITS copies per gram' or 'ITS copies per milliliter', depending on the sample being a solid or liquid.

#	Genus & Species	Percentage	Copies	#	Genus & Species	Percentage	Copies
75	<i>Haltermanniella takashimae</i>	0.1301%	60,422	95	<i>Geopora clausa</i>	0.0868%	40,283
76	<i>Wickerhamomyces anomalus</i>	0.1157%	53,711	96	<i>Exophiala</i> sp.	0.0795%	36,928
77	<i>Aspergillus rugulosus</i>	0.1085%	50,350	97	<i>Pyrenochaeta</i> sp.	0.0795%	36,928
78	<i>Gymnopus ocior</i>	0.1085%	50,350	98	<i>Gangronella butleri</i>	0.0795%	36,928
79	<i>Gibellulopsis serrae</i>	0.1012%	46,994	99	<i>Tetraplophaeria tetraploa</i>	0.0795%	36,928
80	<i>Monocillium bulbillosum</i>	0.1012%	46,994	100	<i>Aspergillus ruber</i>	0.0795%	36,928
81	<i>Leucothecium emdenii</i>	0.1012%	46,994	101	<i>Scedasporium dehoogii</i>	0.0795%	36,928
82	<i>Cladosporium</i> sp.	0.1012%	46,994	102	<i>Papiliotrema laurentii</i>	0.0723%	33,567
83	<i>Curvularia penniseti</i>	0.1012%	46,994	103	<i>Gymnopus luxurians</i>	0.0723%	33,567
84	<i>Spiromastix</i> sp.	0.0940%	43,639	104	<i>Oidiodendron chlamydosporicum</i>	0.0723%	33,567
85	<i>Curvularia geniculata</i>	0.0940%	43,639	105	<i>Neoscytalidium dimidiatum</i>	0.0723%	33,567
86	<i>Sarocladium strictum</i>	0.0940%	43,639	106	<i>Metarhizium anisopliae</i>	0.0723%	33,567
87	<i>Mortierella sarnyensis</i>	0.0940%	43,639	107	<i>Titaea maxilliformis</i>	0.0723%	33,567
88	<i>Hirsutella minnesotensis</i>	0.0868%	40,283	108	<i>Acremonium fusidioides</i>	0.0723%	33,567
89	<i>Mortierella capitata</i>	0.0868%	40,283	109	<i>Leptosphaeria biglobosa</i>	0.0723%	33,567
90	<i>Gymnopus dryophilus</i>	0.0868%	40,283	110	<i>Arachnomyces pilosus</i>	0.0723%	33,567
91	<i>Myrmecridium</i> sp.	0.0868%	40,283	111	<i>Coprinellus verrucispermus</i>	0.0723%	33,567
92	<i>Chaetomium</i> sp.	0.0868%	40,283	112	<i>Mortierella exigua</i>	0.0723%	33,567
93	<i>Fusarium tricinctum</i>	0.0868%	40,283				
94	<i>Fusarium solani</i>	0.0868%	40,283				

FR-CF3999-1/2