



**Programme de mycorhization sur l'exploitation de Mickael Sansoni**  
**Evaluation de l'inoculation de plantes avec un biostimulant mycorhizien sur l'intensité de mycorhization, la croissance et la nutrition en phosphore de plants d'avocats et d'agrumes dans le cadre de la mise en place d'un système agroforestier**

**Dr. Thomas Crossay (SARL Aura Pacifica)**

**07/2023**



Le projet régional océanien des territoires pour la gestion durable des écosystèmes, PROTEGE, est un projet intégré qui vise à réduire la vulnérabilité des écosystèmes face aux impacts du changement climatique en accroissant les capacités d'adaptation et la résilience. Il cible des activités de gestion, de conservation et d'utilisation durables de la diversité biologique et de ses éléments en y associant la ressource en eau. Il est financé par le 11<sup>ème</sup> Fonds européen de développement (FED) au bénéfice des territoires de la Nouvelle-Calédonie, de la Polynésie française, de Pitcairn et de Wallis et Futuna.

L'objectif général du projet est de construire un développement durable et résilient des économies des pays et territoires d'Outre-mer (PTOM) face au changement climatique en s'appuyant sur la biodiversité et les ressources naturelles renouvelables.

Le premier objectif spécifique vise à renforcer la durabilité, l'adaptation au changement climatique et l'autonomie des principales filières du secteur primaire. Il est décliné en deux thèmes :

- Thème 1 : la transition agro-écologique est opérée pour une agriculture, notamment biologique, adaptée au changement climatique et respectueuse de la biodiversité ; les ressources forestières sont gérées de manière intégrée et durable.
  - Thème 2 : les ressources récifo-lagonaires et l'aquaculture sont gérées de manière durable, intégrée et adaptée aux économies insulaires et au changement climatique.  
Le second objectif spécifique veut renforcer la sécurité des services écosystémiques en préservant la ressource en eau et la biodiversité. Il se décline également en 2 thèmes :
    - Thème 3 : l'eau est gérée de manière intégrée et adaptée au changement climatique
    - Thème 4 : les espèces exotiques envahissantes sont gérées pour renforcer la protection, la résilience et la restauration des services écosystémiques et de la biodiversité terrestre.

La gestion du projet a été confiée à la Communauté du Pacifique (CPS) pour les thèmes 1, 2 et 3 et au programme régional océanien pour l'environnement (PROE) pour le thème 4, par le biais d'une convention de délégation signée le 26 octobre 2018 entre l'Union européenne, la CPS et le PROE. La mise en œuvre du projet est prévue sur 4 ans.

Ce rapport est cité comme suit :

Thomas Crossay, 2023, Programme de mycorhization sur l'exploitation de Mickael Sansoni : Evaluation de l'inoculation de plantes avec un biostimulant mycorhizien sur l'intensité de mycorhization, la croissance et la nutrition en phosphore de plants d'avocats et d'agrumes dans le cadre de la mise en place d'un système agroforestier, 27 pages

*Cette publication a été produite avec le soutien financier de l'Union européenne. Son contenu relève de la seule responsabilité du Dr Thomas Crossay et ne reflète pas nécessairement les opinions de l'Union européenne.*

## Partenaires

Cette étude a été réalisée par la SARL Aura Pacifica.

Cette étude a été conduite en collaboration avec la Chambre d'agriculture et de la Pêche de Nouvelle-Calédonie (CAP-NC).

## Remerciements

Nous tenons à remercier Mickael Sansoni pour le temps qu'il nous a accordé et pour les échanges constructifs que nous avons eus avec lui et son équipe. Nous tenons également à remercier la CAP-NC pour leur soutien et leur contribution au projet.

## Table des matières

<b>1. Introduction .....</b>	<b>6</b>
1.1. Contexte et objectifs de l'étude .....	6
1.2. Délimitation de la zone d'étude et méthodologie .....	6
a. Design de l'expérimentation .....	6
b. Prélèvements des échantillons de sols.....	9
c. Intensité de mycorhization.....	9
d. Dosage de la glomaline.....	9
e. Suivi : relevés de croissance des plants d'avocats et d'agrumes .....	9
f. Prélèvement de feuilles et dosage des métaux et du phosphore dans les parties aériennes .....	10
<b>2. Résultats .....</b>	<b>10</b>
2.1. Evaluation de l'intensité de mycorhization des plantes d'intérêts (agrumes, avocats) sur les trois types de sols (argile limon, minier, silice calcaire) de la parcelle de fruitiers .....	10
2.2. Dosage de la glomaline dans la rhizosphère des plantes d'intérêts (agrumes, avocat) sur les trois types de sols (argile limon, minier, silice calcaire) de la parcelle de fruitiers .....	14
2.1. Relevés de croissance des plants d'avocats .....	15
2.2. Relevés de croissance des plants d'agrumes.....	17
2.3. Dosage du phosphore dans les feuilles des agrumes et des avocats.....	22
<b>3. Bilan du rapport et points à retenir .....</b>	<b>24</b>
<b>4. Conclusion .....</b>	<b>26</b>
<b>5. Perspectives .....</b>	<b>26</b>

## Résumé exécutif

Titre de l'étude	Programme de mycorhization sur l'exploitation de Mickael Sansoni : Evaluation de l'inoculation de plantes avec un biostimulant mycorhizien sur l'intensité de mycorhization, la croissance et la nutrition en phosphore de plants d'avocats et d'agrumes dans le cadre de la mise en place d'un système agroforestier
Auteur	Dr Thomas Crossay
Collaborateurs	Julie Ferrand (CAP-NC), Chloé Fontfreyde (OpaO/CAP-NC), Nicolas Hugot (CAP-NC), Mickaël Sansoni (SCA Calgaé)
Editeurs	-
Année d'édition du rapport	2023

Objectif	Ce projet expérimental a pour objectif d'analyser l'effet de l'inoculation de plantes supports et de plants d'agrumes avec des champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) commercialisés par la société Aura Pacifica sur le développement des plants d'avocats et d'agrumes en agroforesterie dans le cadre du projet « PROTEGE » sur une durée d'un an et huit mois.		
Contexte	Un biostimulant mycorhizien local a été développé récemment par l'Université de la Nouvelle-Calédonie et l'entreprise Aura Pacifica afin d'améliorer la croissance des plantes pour la restauration écologique des sites miniers de la Nouvelle-Calédonie. Il s'agit ici d'évaluer l'effet de ce biostimulant mycorhizien sur les plantes dans le cadre de la mise en place d'un système agroforestier.		
Méthodologie	Plusieurs paramètres sont comparés entre des lignes de culture « mycorhizées et non mycorhizées ». Les différents paramètres comparés sont : i) l'intensité de mycorhization des plantes, ii) la structuration et l'aération des sols (dosage de la glomaline), iii) la croissance des plantes iv) la nutrition en phosphore des plants et v) la concentration en métaux des parties foliaires (Ni, Cr, Co, Fe, Mn).		
Résultats et conclusions	Les résultats obtenus dans ce projet nous permettent de prouver l'intérêt d'utiliser un biostimulant mycorhizien (produit par Aura Pacifica) lors de la mise en place d'un système agroforestier, en effet l'apport de CMA a permis de favoriser et d'augmenter la colonisation des plantes par les CMA, d'augmenter le taux de glomaline dans le sol et d'améliorer la structuration et l'aération du sol et donc la fertilité du sol. Cet apport de microorganismes biostimulants (CMA) a également permis d'améliorer la croissance des plantes (dans la plupart des cas) et leurs nutriments minéraux en phosphore et a permis de diminuer les teneurs en chrome dans les tissus foliaires au stade juvénile ainsi que le nickel pour les agrumes. Le nickel et le chrome étant toxiques cela prouve l'intérêt d'utiliser ces microorganismes pour obtenir des plantes qui accumulent moins de métaux lourds ce qui permet de diminuer la mortalité due à la phytotoxicité métallique et d'obtenir des plantes de meilleures qualités.		
Evolutions	Numéro de version : 4	Date de la version	12/07/2023

## 1. Introduction

---

### 1.1. Contexte et objectifs de l'étude

Ce projet expérimental a été mis en œuvre dans le cadre du projet « PROTEGE » sur une durée d'un an et huit mois. Il a été réalisé sur l'exploitation de la société agricole Calgaé gérée par Mickael Sansoni. Cette exploitation agricole est située en Nouvelle-Calédonie à Dumbéa au 94 Voie Privée Couvelée Parc.

Ce projet avait initialement pour objectifs d'analyser l'effet de l'inoculation avec des champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) commercialisés par la société Aura Pacifica sur : 1/ le développement de plantes supports et de plants d'avocats et d'agrumes en agroforesterie, et 2/ une parcelle de maraîchage déjà en place.

Les espèces de mycorhizes apportées par Aurapacifica sont *Claroideoglossum etunicatum*, *Acaulospora sacata*, *Pervetustus simplex*, *Rhizophagus neocaledonicus* et *Acaulospora fragilissima*. Elles ont été découvertes et nommées en Nouvelle-Calédonie.

Ce projet expérimental a fait l'objet d'un premier rapport dans lequel le potentiel mycorhizien des trois types de sols présents sur la future parcelle de fruitiers – argile limon, minier, silice calcaire – a été présenté ainsi que celui de la parcelle de maraîchage déjà en place. La campagne d'analyses de sol de la parcelle de fruitiers a montré que sur les trois types de sols (zones 1, 2 et 3) :

- Le nombre de spores de mycorhizes initial était faible : respectivement 170, 150 et 200 de spores pour 80 g de sol
- Les arbuscules des systèmes racinaires étaient peu abondants : respectivement 1.61, 14.8 et 4.75 %
- L'intensité de la mycorhization initiale était faible : respectivement 7.43, 30.13 et 21.4 %
- La diversité des espèces de mycorhizes était faible : *Acaulospora* et *Glomus* sur la zone 1 ; *Denticitata heterogama* sur la zone 2 ; *Glomus* sur la zone 3

Ces résultats ont permis de positionner clairement l'objectif du projet de comparaison d'un système agroforestier avec production d'avocats et d'agrumes naturellement pauvre en CMA avec apport de CMA, et sans apport de CMA.

A noter que l'essai sur la parcelle de maraîchage a été abandonné du fait des difficultés de production rencontrées par l'agriculteur (pluie, escargots).

### 1.2. Délimitation de la zone d'étude et méthodologie

#### a. Design de l'expérimentation

La parcelle expérimentale de fruitiers comporte 3 types de sols : sol argile limon en zone 1 ; sol minier en zone 2 ; sol silice calcaire en zone 3 (Fig. 1).

Les plantations ont été réalisées suivant le protocole suivant : des lignes de 100 m de long sur 1 m de large en alternant une ligne « avocat » puis une ligne « agrume » ont été plantées. Ces lignes sont composées d'une séquence répétée, composée d'un cortège de plantes (Fig. 2). De plus, des embrevades ont été semées sur le côté Est des séquences « agrume » et « avocat » (Fig. 2).

Pour les lignes « avocat », la séquence mesure 6,125 m de long et est répétée 16 fois sur les 100 m (Fig. 2).  
Pour les lignes « agrume », la séquence mesure 3.375 m de long et est 30 fois répétée sur les 100 m (Fig. 2).

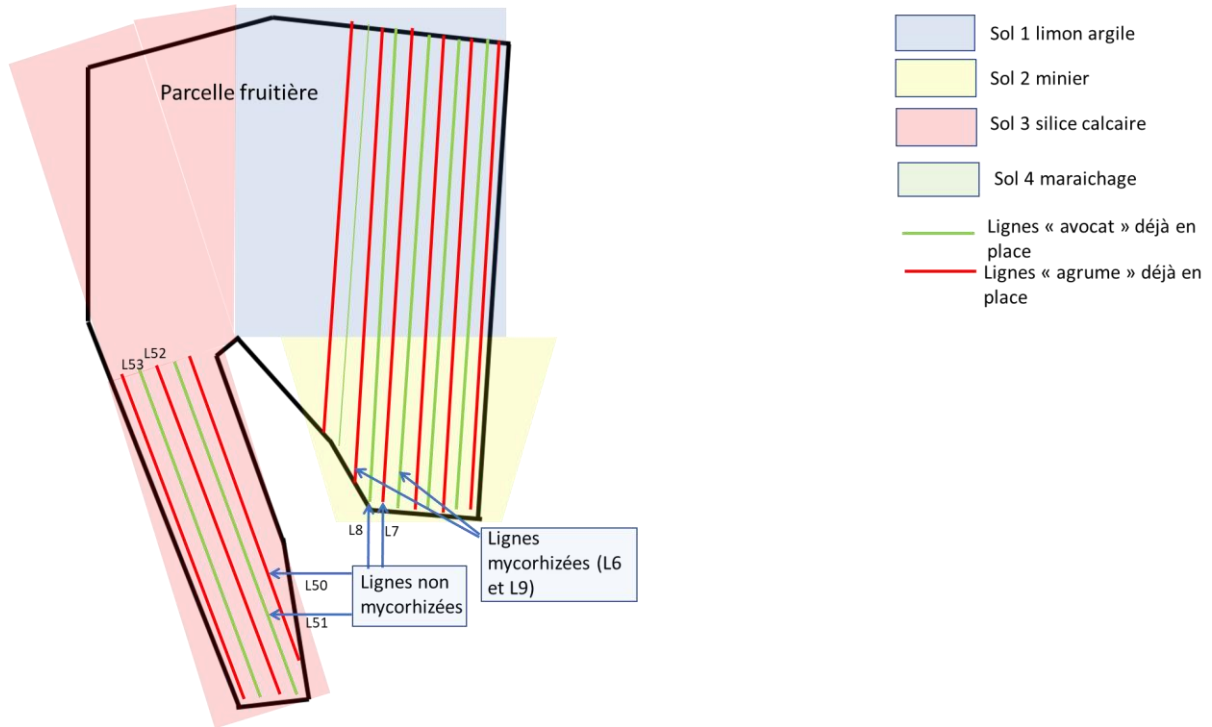
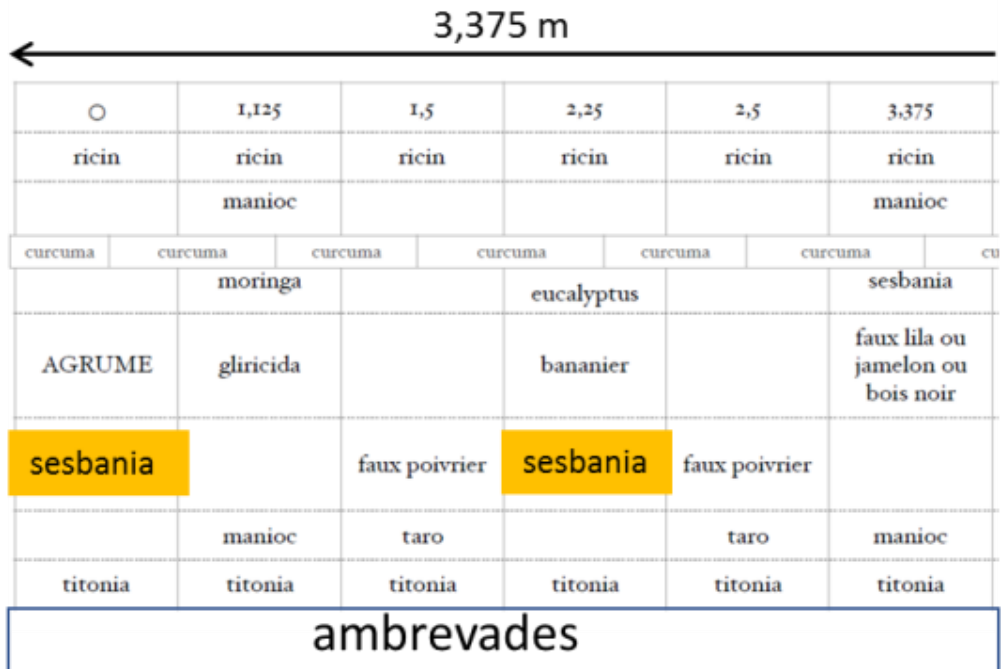


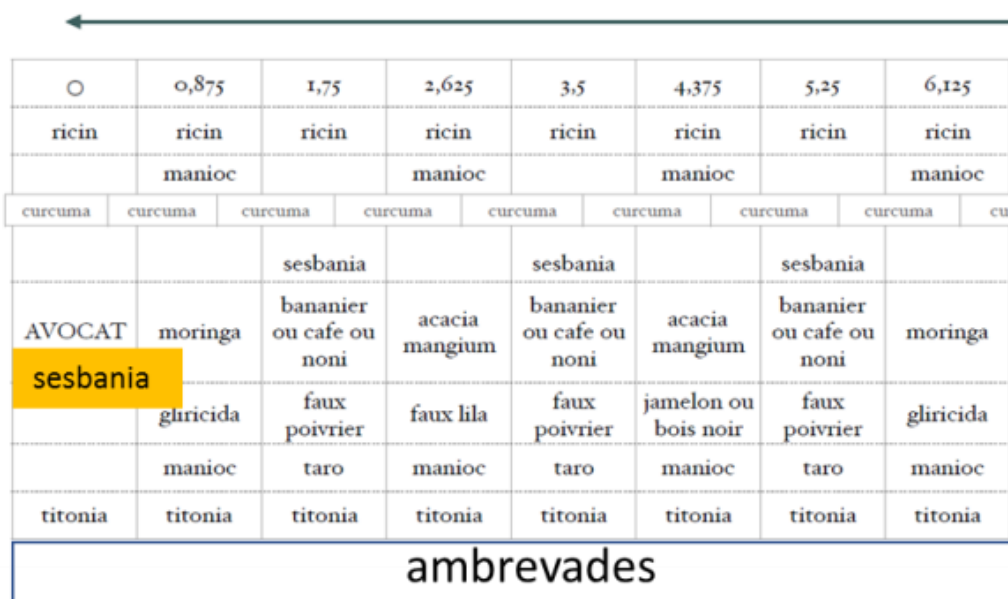
Figure 1. Schéma de la parcelle expérimentale et types de sol

# FRUITIER : AGRUME



# FRUITIER : AVOCAT

6,125 m



○	0,875	1,75	2,625	3,5	4,375	5,25	6,125
ricin	ricin	ricin	ricin	ricin	ricin	ricin	ricin
	manioc		manioc		manioc		manioc
curcuma	curcuma	curcuma	curcuma	curcuma	curcuma	curcuma	curcuma
		sesbania		sesbania		sesbania	
AVOCAT	moringa	bananier ou café ou noni	acacia mangium	bananier ou café ou noni	acacia mangium	bananier ou café ou noni	moringa
sesbania							
	gliricida	faux poivrier	faux lila	faux poivrier	jamelon ou bois noir	faux poivrier	gliricida
	manioc	taro	manioc	taro	manioc	taro	manioc
titonia	titonia	titonia	titonia	titonia	titonia	titonia	titonia
ambrevades							

Figure 2. Séquences "agrume" et "avocat"

Des lignes dites « mycorhizées » ont été mises en place dans le cadre de cette expérimentation (Fig. 1) :

- Lignes 6 (séparée en deux lignes en fonction du type de sol) et 53 pour les séquences « avocat »
- Lignes 52 et 9 (séparée en deux lignes en fonction du type de sol) pour les séquences « agrumes »

Une plante hôte est une plante qui va permettre d'héberger et de disséminer les mycorhizes sur la parcelle. Une plante est dite mycotrophe lorsqu'elle est réceptive aux mycorhizes.

Pour les séquences « avocat » des lignes mycorhizées, les pieds d'avocats devaient être inoculés avec l'inoculum de CMA en pépinière puis plantés à raison de 1 par séquence (Fig. 2). Cependant, ils ont été mis en terre par l'agriculteur trop tôt, avant l'inoculation en pépinière. Le protocole a donc été adapté le Sesbania a été choisi comme plante hôte. Le Sesbania est une légumineuse pérenne à croissance rapide extrêmement mycotrophe. Les Sesbanias ont été inoculés en pépinière puis implantés en juin 2021 au pied de chaque avocatier soit 1 plant par séquence (Fig. 2).

Pour les séquences « agrume » des lignes mycorhizées, le faux poivrier devait être utilisé comme plante hôte mais du fait de l'indisponibilité des semences, le Sesbania a également été retenu pour cette expérimentation. Les plantules de Sesbanias et d'agrumes ont été inoculées avec l'inoculum de CMA en pépinière. Puis, elles ont été plantées à raison de 2 Sesbanias et 4 agrumes par séquence (Fig. 2). Chaque séquence comprenait quatre porte-greffes différents – Mandarine, Poncirus, Citrumelo, C35 – afin de sélectionner les plus adaptés aux conditions pédoclimatiques.

Des données aberrantes ont été obtenues pour les porte-greffes C35 avec une croissance anormalement faible et des mortalités importantes sur l'ensemble des lignes, qu'elles soient mycorhizées ou non mycorhizées. Le porte-greffe C35 ne semblant pas adapté au contexte pédoclimatique, ces données aberrantes ne sont pas présentées dans ce rapport. L'étude porte donc uniquement sur les 3 porte-greffes Mandarine, Poncirus, Citrumelo.



Ces lignes mycorhizées ont été comparées à des lignes témoins (Fig.1) :

- Lignes 51 et 8 (séparée en deux lignes en fonction du type de sol) pour les séquences « avocat »
- Lignes 50 et 7 (séparée en deux lignes en fonction du type de sol) pour les séquences agrumes

Le protocole comprend donc, pour chaque type de production (agrumes ou avocat), une ligne mycorhizée et une ligne témoin pour chaque type de sol, ce qui permet de réaliser une étude comparative.

#### b. Prélèvements des échantillons de sols

Trois campagnes de prélèvements de sols ont été réalisées. Les résultats de la première campagne ont été présentés dans le premier rapport et rappelés en introduction ci-dessus. Les deux campagnes suivantes ont été réalisées en août 2022 et avril 2023, à 8 mois d'intervalle afin de suivre l'évolution dans le temps des paramètres analysés.

Pour chacune des campagnes de prélèvements, 12 échantillons de 500 g de sols contenant des racines ont été prélevés sur chaque type de sol, soit 36 au total. Pour chaque type de sol, les 12 échantillons prélevés étaient répartis de la manière suivante : 3 échantillons sur la ligne d'agrumes mycorhizée, 3 échantillons sur la ligne d'agrumes non mycorhizée (témoin), 3 échantillons sur la ligne d'avocats mycorhizée, 3 échantillons sur la ligne d'avocats non mycorhizée (témoin).

Les prélèvements ont été effectués dans la rhizosphère des plants d'agrumes et avocats. L'analyse de ces échantillons comprenait l'évaluation de l'intensité de mycorhization par la coloration des racines, l'intensité des systèmes racinaires, et la teneur en glomaline. La teneur en glomaline permet de quantifier l'activité des CMA dans le sol car ce sont les seuls microorganismes qui produisent cette glycoprotéine. La glomaline permet d'améliorer l'aération et l'agrégation des particules de sol, de diminuer le lessivage et d'améliorer la fertilité.

#### c. Intensité de mycorhization

La coloration des racines des échantillons de sols a été réalisée afin d'estimer l'intensité de la mycorhization. Cette technique consiste à colorer des fragments de racines avec du bleu Trypan afin de visualiser les structures fongiques et d'estimer l'intensité de mycorhization du système racinaire. Cette intensité reflète l'efficacité de l'activité de la symbiose.

Lien vers le protocole (Phillips et Hayman 1970 ; Trouvelot et al. 1986) :

[https://www2.dijon.inrae.fr/mychintec/Protocole/Workshop\\_Procedures.html#trouvelot](https://www2.dijon.inrae.fr/mychintec/Protocole/Workshop_Procedures.html#trouvelot)

#### d. Dosage de la glomaline

Les échantillons de sols ont été séchés à l'étuve et tamisés à 2 mm. Puis pour chaque échantillon, 1 g de sol a été placé dans un tube de 50 mL en polypropylène Falcon®, auquel 8 mL de tampon citrate 20 mM ont été ajoutés. Les tubes ont ensuite été agités au vortex, placés en autoclave 60 min à 121°C, centrifugés à 9 000 g pendant 20 min. Le surnageant de chaque échantillon a ensuite été dosé au spectrophotomètre selon la technique de Bradford afin d'évaluer la teneur en glomaline de chaque sol.

Lien vers le protocole (Janos et al. 2008) :

[https://www.alfa.com/media/product\\_bulletins/J61522.pdf](https://www.alfa.com/media/product_bulletins/J61522.pdf)

#### e. Suivi : relevés de croissance des plants d'avocats et d'agrumes

Les relevés de croissance consistent à mesurer la hauteur des plantes du collet à l'apex et le diamètre des troncs. Les données ont ensuite été analysées par ligne et par type de sol.

## f. Prélèvement de feuilles et dosage des métaux et du phosphore dans les parties aériennes

Pour chacune des deux campagnes de prélèvements, réalisées en août 2022 et avril 2023, 20 échantillons de feuilles d'avocats et d'agrumes ont été prélevés par type de sol soit 60 au total. Pour chaque type de sol, les 20 échantillons prélevés étaient répartis de la manière suivante : 5 échantillons sur la ligne d'agrumes mycorhizée, 5 échantillons sur la ligne d'agrumes non mycorhizée (témoin), 5 échantillons sur la ligne d'avocats mycorhizée, 5 échantillons sur la ligne d'avocats non mycorhizée (témoin).

Les échantillons ont été séchés à l'étuve puis broyés et minéralisés. Le dosage des métaux a été réalisé par ICP-OES au LAMA (IRD Nouméa) selon le protocole décrit dans Crossay et al. 2019. Les concentrations en Cobalt (Co), Chrome (Cr), Fer (Fe), Manganèse (Mn) et Nickel (Ni) ont été mesurées afin d'évaluer l'impact de la mycorhization sur l'accumulation des métaux dans les feuilles des plantes. Etant donné la sensibilité du sujet, la teneur des discussions et les perspectives d'études complémentaires qui restent nombreuses, les résultats du dosage de métaux sont présentés dans une annexe confidentielle à ce rapport, disponible sur demande à la CAP-NC.

Le stress hydrique devait être étudié mais les conditions météorologiques en période de Niña n'ont pas permis d'étudier ce paramètre.

Il a été substitué par l'étude de la teneur en phosphore dans les feuilles des agrumes et d'avocats. Les dosages de phosphore ont été réalisés selon le même protocole que celui des métaux. L'objectif était de vérifier que la mycorhization améliore la teneur en phosphore dans les tissus foliaires et donc la nutrition des plantes.

## 2. Résultats

---

### 2.1. Evaluation de l'intensité de mycorhization des plantes d'intérêts (agrumes, avocats) sur les trois types de sols (argile limon, minier, silice calcaire) de la parcelle de fruitiers

Les résultats de l'intensité de mycorhization sont présentés en figure 3 ci-dessous, par type de sol ou zones, par année et par type de production : agrume ou avocat.

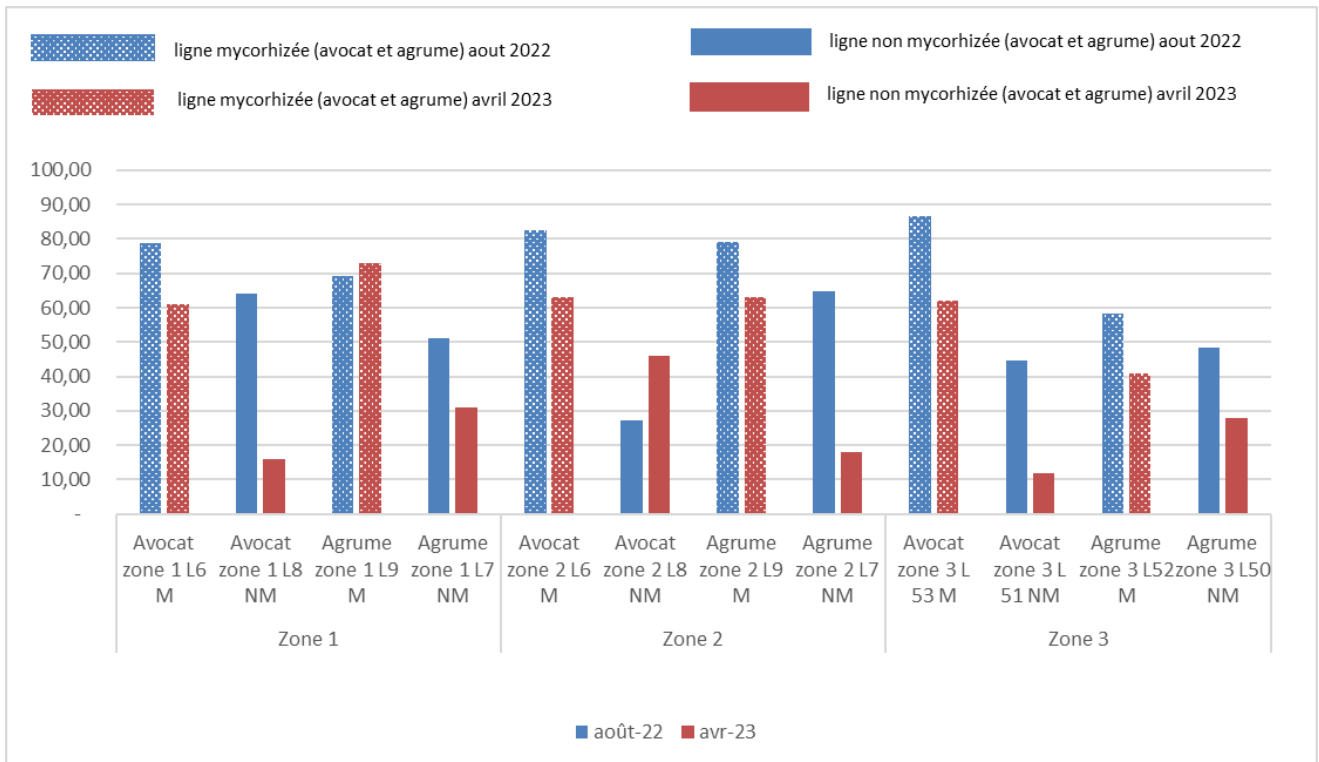


Figure 3. Intensité (en %) de mycorhization dans les systèmes racinaires des plants d'avocats et d'agrumes sur les lignes mycorhizées et non mycorhizées pour les 3 types de sols ou zones, en août 2022 et avril 2023.

Les plantes sont endo-mycorhizées sur toutes les lignes (Fig. 3).

Pour la zone 1 (sol limon argile), en août 2022, l'intensité de mycorhization des systèmes racinaires des plants d'avocats varie de 78 % pour les lignes mycorhizées à 63 % pour les lignes non mycorhizées. En avril 2023, elle varie de 60 % pour les lignes mycorhizées à 16 % pour les lignes non mycorhizées.

Pour la zone 2 (sol minier), en août 2022, l'intensité de mycorhization des systèmes racinaires des plants d'avocats varie de 82 % pour les lignes mycorhizées à 26 % pour les lignes non mycorhizées. En avril 2023, elle varie de 62 % pour les lignes mycorhizées à 46 % pour les lignes non mycorhizées.

Pour la zone 3 (sol silice calcaire), en août 2022, l'intensité de mycorhization des systèmes racinaires des plants d'avocats varie de 87 % pour les lignes mycorhizées à 47 % pour les lignes non mycorhizées. En avril 2023, elle varie de 62 % pour les lignes mycorhizées à 12 % pour les lignes non mycorhizées.

Pour la zone 1 (sol limon argile), en août 2022, l'intensité de mycorhization des systèmes racinaires des plants d'agrumes varie de 69 % pour les lignes mycorhizées à 51 % pour les lignes non mycorhizées. En avril 2023, elle varie de 73 % pour les lignes mycorhizées à 31 % pour les lignes non mycorhizées.

Pour la zone 2 (sol minier), en août 2022, l'intensité de mycorhization des systèmes racinaires des plants d'agrumes varie de 79 % pour les lignes mycorhizées à 64 % pour les lignes non mycorhizées. En avril 2023, elle varie de 62 % pour les lignes mycorhizées à 18 % pour les lignes non mycorhizées.

Pour la zone 3 (sol silice calcaire), en août 2022, l'intensité de mycorhization des systèmes racinaires des plants d'agrumes varie de 59 % pour les lignes mycorhizées à 49 % pour les lignes non mycorhizées. En avril 2023, elle varie de 40 % pour les lignes mycorhizées à 28 % pour les lignes non mycorhizées.

Globalement, l'intensité de mycorhization semble plus importante en août 2022 et avril 2023 sur les systèmes racinaires des plants d'avocats et d'agrumes des lignes ayant été mycorhizées. Une diminution de l'intensité de mycorhization des systèmes racinaires est observée entre août 2022 et avril 2023, qui

s'explique par une croissance du système racinaire plus importante que la croissance des CMA, ce qui provoque une diminution de l'intensité de mycorhization du système racinaire global.

Les résultats paraissant homogènes, une comparaison de moyennes est effectuée entre l'intensité de mycorhization des plants des lignes mycorhizées et des lignes non mycorhizées après un an de mise en place, tout autres facteurs confondus : types de sols ou zones, types de productions (agrumes et avocats), années 2022 et 2023.

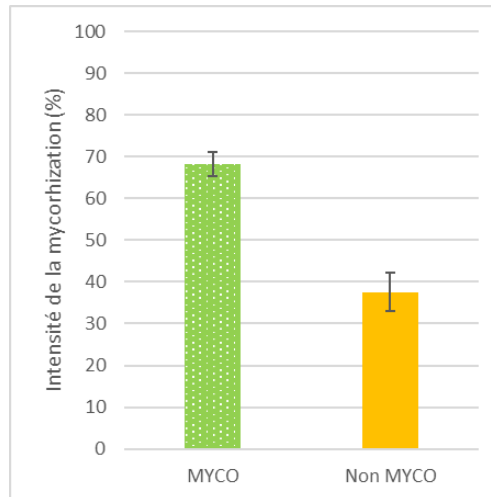


Figure 4 : Intensité de mycorhization (en %) des systèmes racinaires présents sur les lignes mycorhizées ou non pour les trois zones, avocats et agrumes confondus, en 2022/2023. Les colonnes représentent les moyennes, et les barres d'erreur représentent les erreurs standards de la moyenne. D'après le test t de STUDENT bilatéral la différence entre les moyennes est significative ( $p$ -value =  $0.0001 < 0.05$ ).

Après un an de mise en place des systèmes, l'intensité de mycorhization observée est significativement plus élevée de 45 % pour les systèmes racinaires des plants des lignes mycorhizées par rapport aux plants des lignes non mycorhizées.

En complément, les résultats de l'observation des structures racinaires sont présentés ci-dessous.

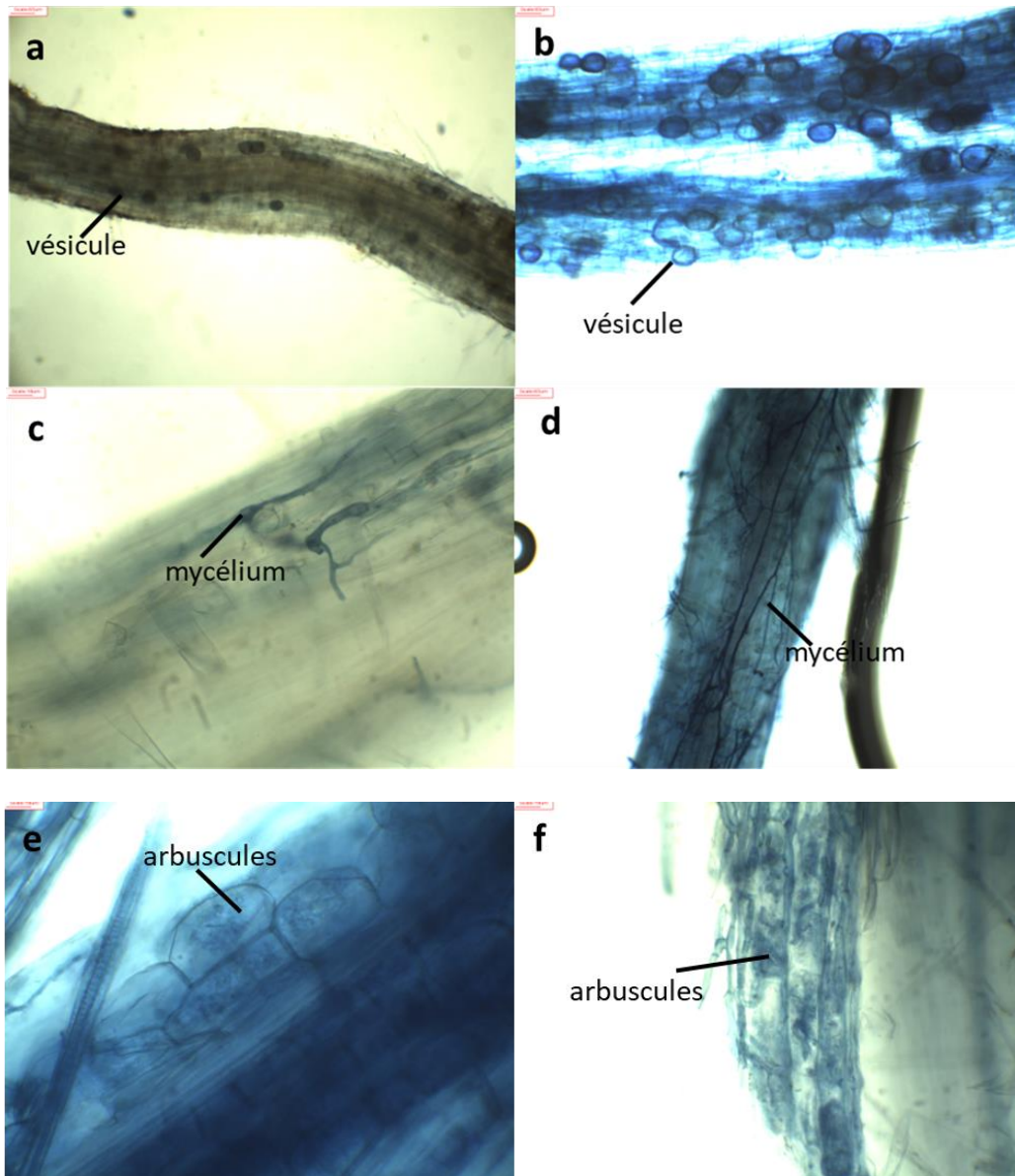


Figure 5. Structures intra-racinaires des CMA dans les racines des plantes présentes sur la parcelle de fruitiers pour chaque type de sol. Les structures fongiques sont colorées avec du bleu Trypan. a, c, e : lignes non mycorhizées ; b, d, f : lignes mycorhizées. Photographies réalisées en avril 2023.

Les résultats présentés en figure 5 confortent les résultats présentés en figures 3 et 4. Une abondance en mycélium mycorhizien est observée de manière plus importante sur les systèmes racinaires des plants des lignes mycorhizées (Fig. 4d) que sur les plants des lignes non mycorhizées (Fig. 4c). Les vésicules et arbuscules, structures mycorhiziennes, sont également observées de manière plus importante sur les plants des lignes mycorhizées (Fig. 4bf) que sur les plants des lignes non mycorhizées (Fig. 4ae).

## 2.2. Dosage de la glomaline dans la rhizosphère des plantes d'intérêts (agrumes, avocat) sur les trois types de sols (argile limon, minier, silice calcaire) de la parcelle de fruitiers

Les résultats du dosage de la glomaline sont présentés en figure 6 ci-dessous par type de sol ou zones, par année et par type de production : agrume ou avocat.

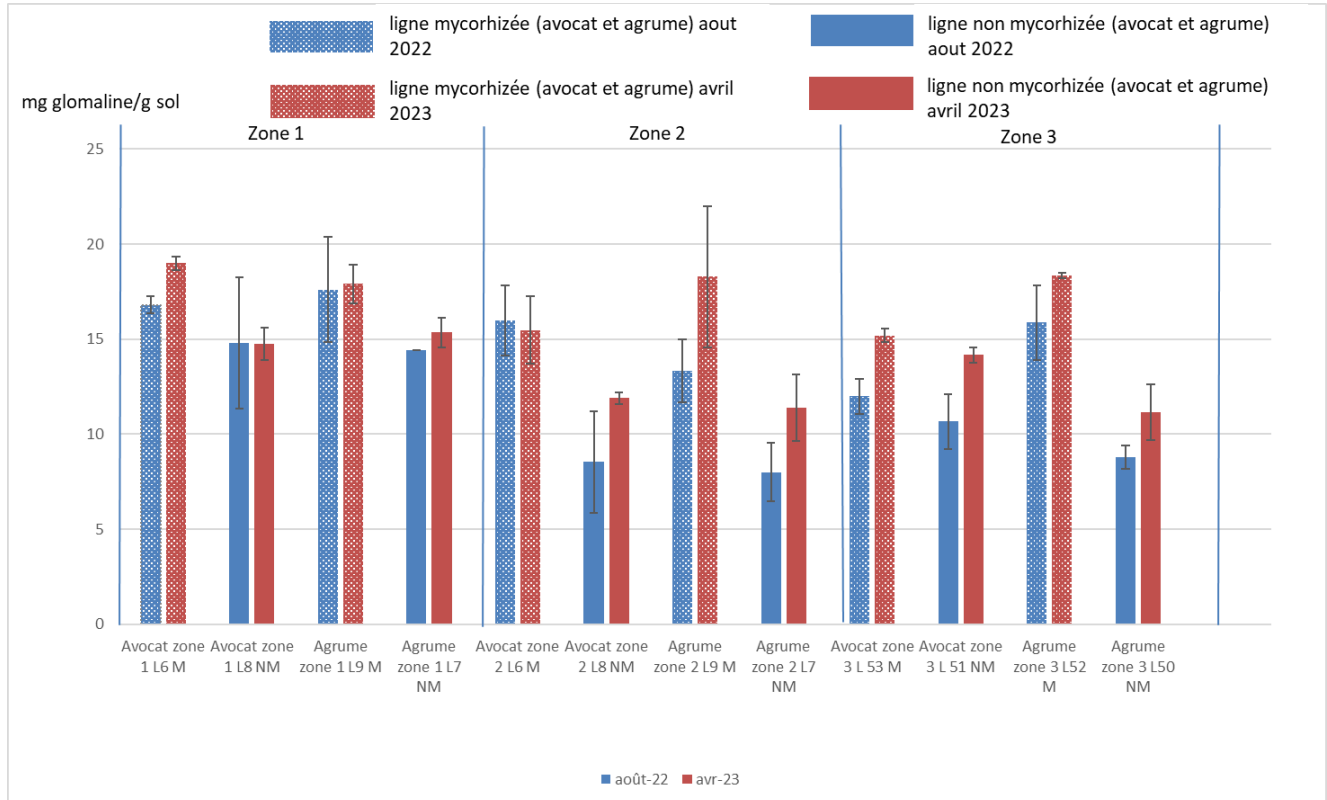


Figure 6. Dosage de la glomaline des sols des trois zones étudiées pour les lignes mycorhizées et non mycorhizées, en août 2022 et avril 2023.

Pour la zone 1 (sol limon argile), en août 2022, les teneurs en glomaline des sols des lignes d'avocat mycorhizées ou non mycorhizées ne semblent pas significativement différentes (respectivement 17 mg/g sol et 14.5 mg/g). En avril 2023, cependant, la teneur en glomaline des sols a augmenté uniquement pour les lignes d'avocat mycorhizées (respectivement 19 mg/g sol et 14,5 mg/g de sol).

Pour la zone 2 (sol minier), en août 2022, la teneur en glomaline des sols des lignes d'avocat mycorhizées est supérieure à celle des sols des lignes d'avocat non mycorhizées (respectivement 16 mg/g sol et 8 mg/g sol). En août 2023, la teneur en glomaline des sols augmente uniquement pour les lignes d'avocat non mycorhizées à 12 mg / g de sol. Cependant, la différence entre les lignes mycorhizées et non mycorhizées semble rester significative.

Pour la zone 3 (sol silice calcaire), en août 2022, les teneurs en glomaline des sols des lignes d'avocat mycorhizées ou non mycorhizées ne semblent pas significativement différentes (respectivement 13 mg/g sol et 11 mg/g sol). En avril 2023, les teneurs en glomaline des sols augmentent pour les lignes mycorhizées et non mycorhizées et la teneur glomaline des sols des lignes d'avocat mycorhizée semble supérieure à celle des sols des lignes d'avocats non mycorhizées.

Pour la zone 1 (sol limon argile), en août 2022, la teneur en glomaline des sols des lignes d'agrumes mycorhizées est supérieure à celle des sols des lignes d'agrumes non mycorhizées (respectivement 17 mg/g sol et 14 mg/g sol). En avril 2023, cette différence semble rester significative.

Pour la zone 2 (sol minier), en août 2022, la teneur en glomaline des sols des lignes d'agrumes mycorhizées est supérieure à celle des sols des lignes d'agrumes non mycorhizées (respectivement 13 mg/g sol et 7 mg/g sol). En avril 2023, la teneur en glomaline des sols semble augmenter de manière significative uniquement pour les lignes d'agrumes mycorhizées et la différence avec les lignes d'agrumes non mycorhizées semble rester significative (respectivement 18 mg/g sol et 11 mg/g de sol).

Pour la zone 3 (sol silice calcaire), en août 2022, la teneur en glomaline des sols des lignes d'agrumes mycorhizées est supérieure à celle des sols des lignes d'agrumes non mycorhizées (respectivement 16 mg/g sol et 9 mg/g sol). En avril 2023, cette différence semble rester significative.

Les résultats paraissant homogènes, une comparaison de moyennes est effectuée entre la teneur en glomaline des sols des lignes mycorhizées à celle des sols des lignes non mycorhizées après 1 an de mise en place des systèmes, tout autres facteurs confondus : types de sols ou zones, types de productions (agrumes et avocats), années 2022 et 2023.

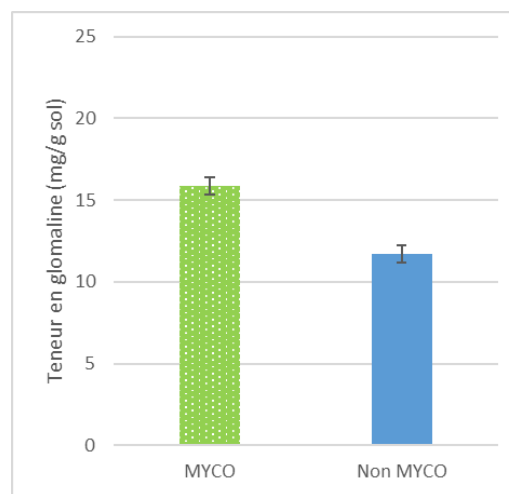


Figure 7 : Teneurs en glomaline (en mg/g sol) des sols des lignes mycorhizées ou non mycorhizées pour les trois zones, agrumes et avocats confondus, en 2022/2023. Les colonnes représentent les moyennes, et les barres d'erreurs représentent les erreurs standards de la moyenne. D'après le test t de STUDENT bilatéral, la différence entre les moyennes est significative ( $p\text{-value} = 0.0001 < 0.05$ ).

Après un an de mise en place des systèmes, la teneur en glomaline est significativement plus élevée de 26 % pour les sols des lignes mycorhizées par rapport aux sols des lignes non mycorhizées.

En complément de cette expérimentation, Aurapacifica a réalisé sur fonds propres une extraction de spores des sols. L'observation morphologique des spores a permis de vérifier que les espèces présentes sont celles apportées via l'inoculum de CMA. Ces résultats ne sont pas présentés dans le cadre du présent rapport PROTEGE.

## 2.1. Relevés de croissance des plants d'avocats

Les relevés de croissance et de diamètre des troncs ont été réalisés par la CAP-NC en septembre 2021, puis par l'agriculteur en août 2022 et avril 2023, en raison d'absence d'animateur du réseau des fermes pendant plusieurs mois. Les relevés de croissance des plants d'avocats ont été réalisés uniquement sur la zone 3 en septembre 2021 par erreur.

Les résultats des relevés de croissance de la hauteur du collet à l'apex des plants d'avocats sont présentés en figure 8 ci-dessous pour chaque type de sol.

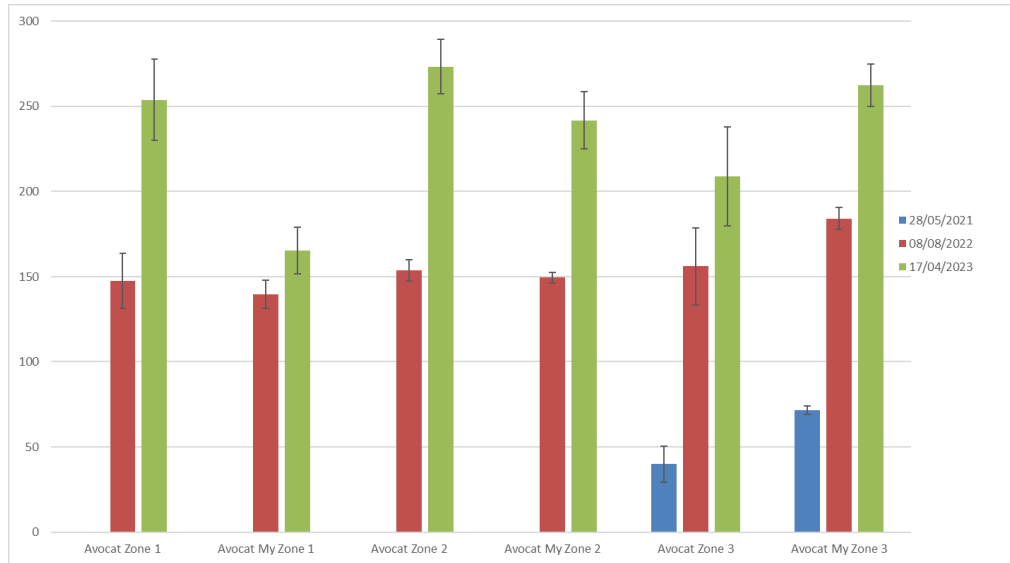


Figure 8 : Hauteurs du collet à l'apex (en cm) des plants d'avocats des lignes mycorhizées et des lignes non mycorhizées pour les 3 types de sols ou zones.

Pour les zones 1, 2 et 3 (tous type de sols), en août 2022 les hauteurs du collet à l'apex des plants d'avocats des lignes mycorhizées ou non mycorhizés ne semblent pas significativement différentes.

Pour la zone 1, en avril 2023, les plants d'avocats des lignes mycorhizées ont une hauteur du collet à l'apex inférieure à celle des plants des lignes non mycorhizées (respectivement 250 cm et 160 cm).

Pour la zone 2, en avril 2023, les hauteurs du collet à l'apex des plants d'avocats des lignes mycorhizées ou non mycorhizés ne semblent pas significativement différentes.

Pour la zone 3, en avril 2023, les plants d'avocats des lignes mycorhizées ont une hauteur du collet à l'apex supérieure à celle des plants des lignes non mycorhizées (respectivement 260 cm et 205 cm).

Les résultats des relevés de croissance des troncs des plants d'avocats sont présentés en figure 9 ci-dessous pour chaque type de sol.

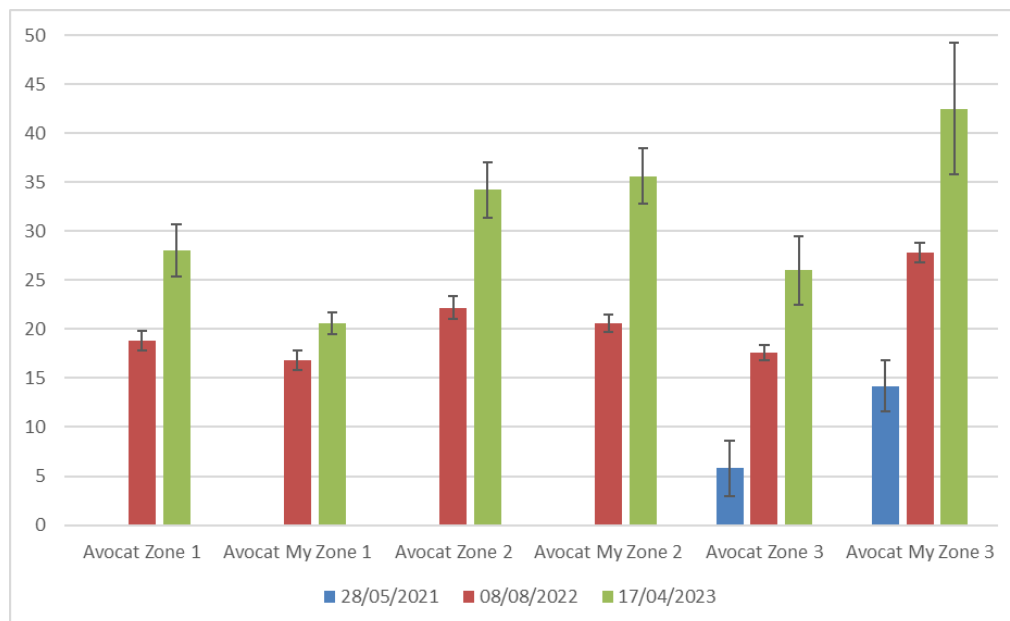


Figure 9. Diamètres des troncs (en mm) des plants d'avocats des lignes mycorhizées et des lignes non mycorhizées pour les 3 types de sols ou zones.



Pour la zone 1, en août 2022, les diamètres des troncs des plants d'avocats des lignes mycorhizées ou non mycorhizées ne semblent pas significativement différents. En avril 2023, les plants d'avocats des lignes mycorhizées ont un diamètre de leurs troncs inférieur à celui des plants des lignes non mycorhizées (respectivement 21 mm et 29 mm).

Pour la zone 2, en août 2022 et avril 2023, les diamètres des troncs des plants d'avocats des lignes mycorhizées ou non mycorhizées ne semblent pas significativement différents.

Pour la zone 3, en août 2022, les plants d'avocats des lignes mycorhizées ont un diamètre de leurs troncs supérieur à celui des plants des lignes non mycorhizées. Cette différence se maintient en 2023 (respectivement 43 mm et 25 mm). Cependant, cette différence semblait déjà présente lors de l'implantation de la parcelle en septembre 2021.

Globalement, les résultats des relevés de croissance des plants d'avocat sont hétérogènes et ne permettent pas de réaliser des analyses de données plus poussées.

## 2.2. Relevés de croissance des plants d'agrumes

Les résultats des relevés de croissance de la hauteur du collet à l'apex des plants d'agrumes de la zone 1 sont présentés en figure 10 ci-dessous pour chaque porte-greffe.

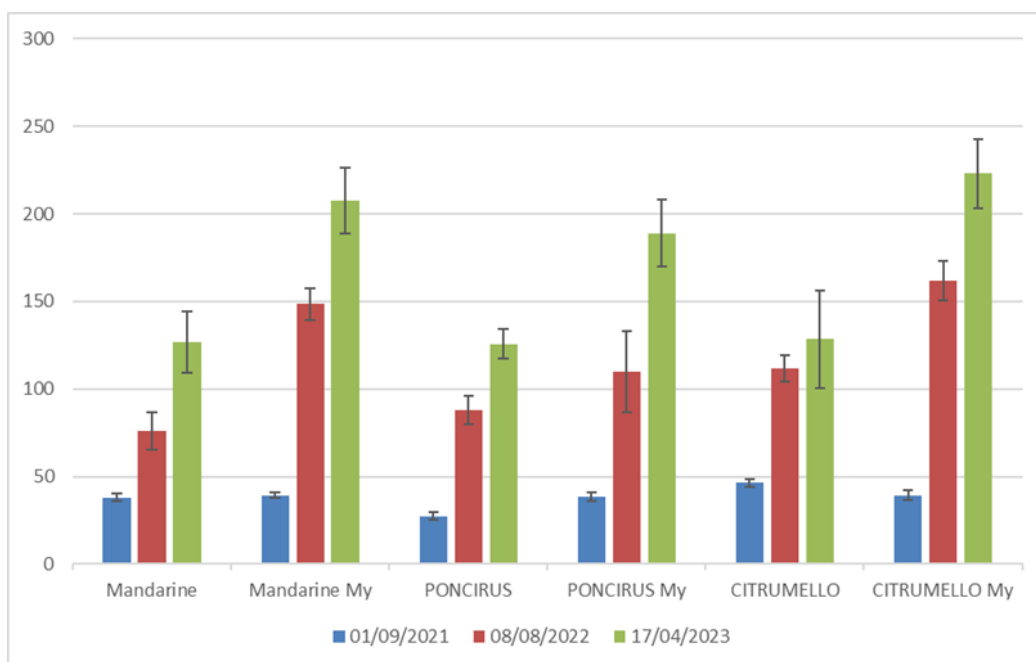


Figure 10. Hauteurs du collet à l'apex (cm) des agrumes pour chaque porte-greffe utilisé sur les lignes mycorhizées ou non mycorhizées pour la zone 1. My : signifie que les plants ont été mycorhizés ; Mortalité : \* correspond à un individu mort.

Pour la zone 1 (sol argile limon), pour les porte-greffes Mandarine, en août 2022, les hauteurs du collet à l'apex des plants d'agrumes des lignes mycorhizées sont supérieures à celle des plants d'agrumes des lignes non mycorhizées. En avril 2023, cette différence se maintient (respectivement 205 cm et 125 cm).

Pour les porte-greffes Poncirus, en août 2022, les hauteurs du collet à l'apex des plants d'agrumes des lignes mycorhizées et non mycorhizées ne semblent pas significativement différentes. En avril 2023, les hauteurs du collet à l'apex des plants d'agrumes des lignes mycorhizées sont supérieures à celle des plants d'agrumes des lignes non mycorhizées (respectivement 190 cm et 125 cm). Pour les lignes non mycorhizées uniquement, une mortalité de 20% des plants d'agrumes est observée ainsi qu'un ralentissement de la croissance entre 2022 et 2023.

Pour les porte-greffes Citrumelo, en août 2022, les hauteurs du collet à l’apex des plants d’agrumes des lignes mycorhizées sont supérieures à celle des plants d’agrumes des lignes non mycorhizées. En avril 2023, cette différence se maintient (respectivement 220 cm et 125 cm). Pour les lignes non mycorhizées uniquement, une mortalité de 20% des plants d’agrumes est observée.

Les résultats des relevés de croissance des troncs des plants d’agrumes de la zone 1 sont présentés en figure 11 ci-dessous pour chaque porte-greffe.

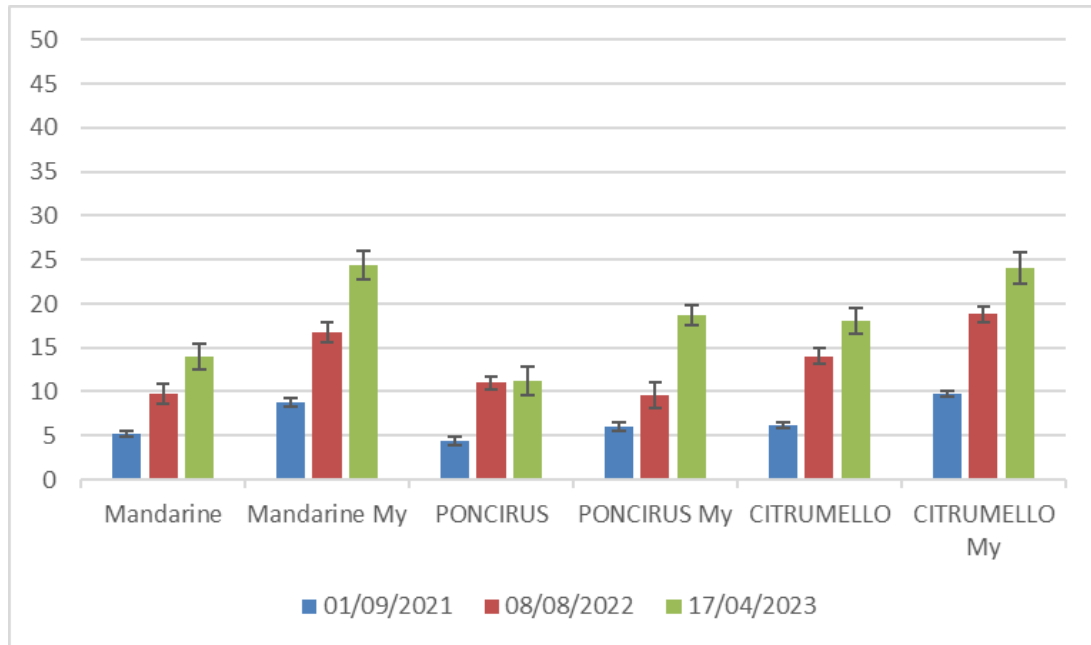


Figure 11. Diamètres (cm) des troncs des plants d’agrumes pour chaque porte-greffe des lignes mycorhizées et des lignes non mycorhizées pour la zone 1. My : signifie que les plants ont été mycorhizés ; Mortalité : \* correspond à un individu mort.

Pour la zone 1 (sol argile limon), pour les porte-greffes Mandarine, en août 2022, les diamètres des troncs des plants d’agrumes des lignes mycorhizées sont supérieurs à ceux des plants d’agrumes des lignes non mycorhizées. En avril 2023, cette différence se maintient (respectivement 24 mm et 14 mm).

Pour les porte-greffes Poncirus, en août 2022, les diamètres des troncs des plants d’agrumes des lignes mycorhizées et non mycorhizées ne semblent pas significativement différents. En avril 2023, les diamètres des troncs des plants d’agrumes des lignes mycorhizées sont supérieurs à ceux des plants d’agrumes des lignes non mycorhizées (respectivement 19 mm et 11 mm).

Pour les porte-greffes Citrumello, en août 2022, les diamètres des troncs des plants d’agrumes des lignes mycorhizées sont supérieurs à ceux des plants d’agrumes des lignes non mycorhizées. En avril 2023, cette différence se maintient (respectivement 24 mm et 17 mm).

Les résultats des relevés de croissance de la hauteur du collet à l’apex des plants d’agrumes de la zone 2 sont présentés en figure 12 ci-dessous pour chaque porte-greffe.

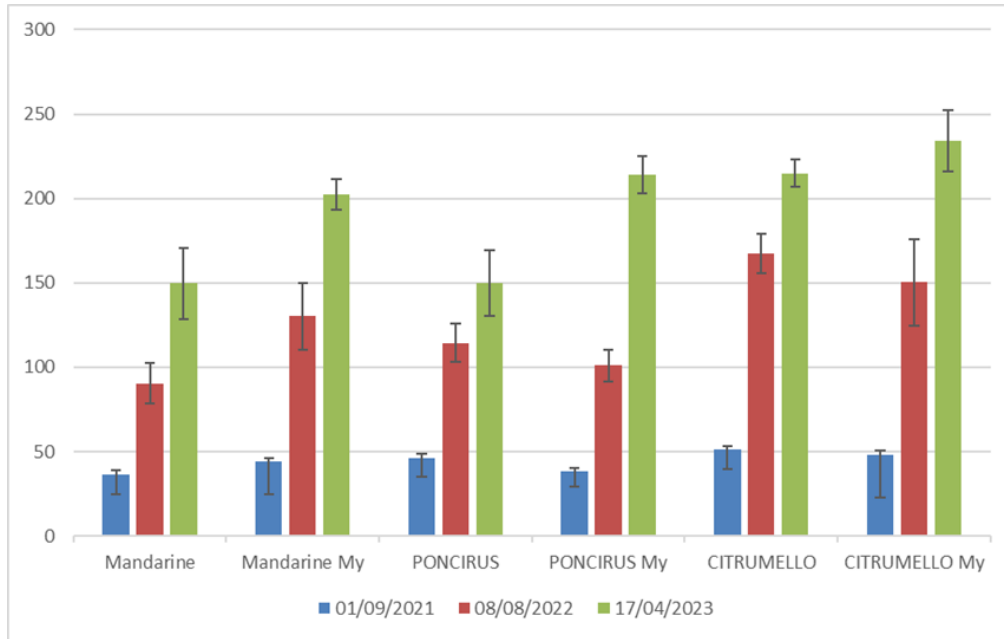


Figure 12. Hauteurs du collet à l'apex (cm) des plants d'agrumes pour chaque porte-greffe des lignes mycorhizées et des lignes non mycorhizées pour la zone 2. My : signifie que les plants ont été mycorhizés ; Mortalité : \* correspond à un individu mort.

Pour la zone 2 (sol minier), pour les porte-greffes Mandarinine, en août 2022, les hauteurs du collet à l'apex des plants d'agrumes des lignes mycorhizées sont supérieures à celle des plants d'agrumes des lignes non mycorhizées. En avril 2023, cette différence se maintient (respectivement 200 cm et 105 cm).

Pour les porte-greffes Poncirus, en août 2022, les hauteurs du collet à l'apex des plants d'agrumes des lignes mycorhizées et non mycorhizées ne semblent pas significativement différentes. En avril 2023, les hauteurs du collet à l'apex des plants d'agrumes des lignes mycorhizées sont supérieures à celle des plants d'agrumes des lignes non mycorhizées (respectivement 210 cm et 150 cm). Pour les lignes non mycorhizées uniquement, une mortalité de 20% des plants d'agrumes est observée.

Pour les porte-greffes Citrumelo, en août 2022 et avril 2023, les hauteurs du collet à l'apex des plants d'agrumes des lignes mycorhizées et non mycorhizées ne semblent pas significativement différentes.

Les résultats des relevés de croissance des troncs des plants d'agrumes de la zone 2 sont présentés en figure 13 ci-dessous pour chaque porte-greffe.

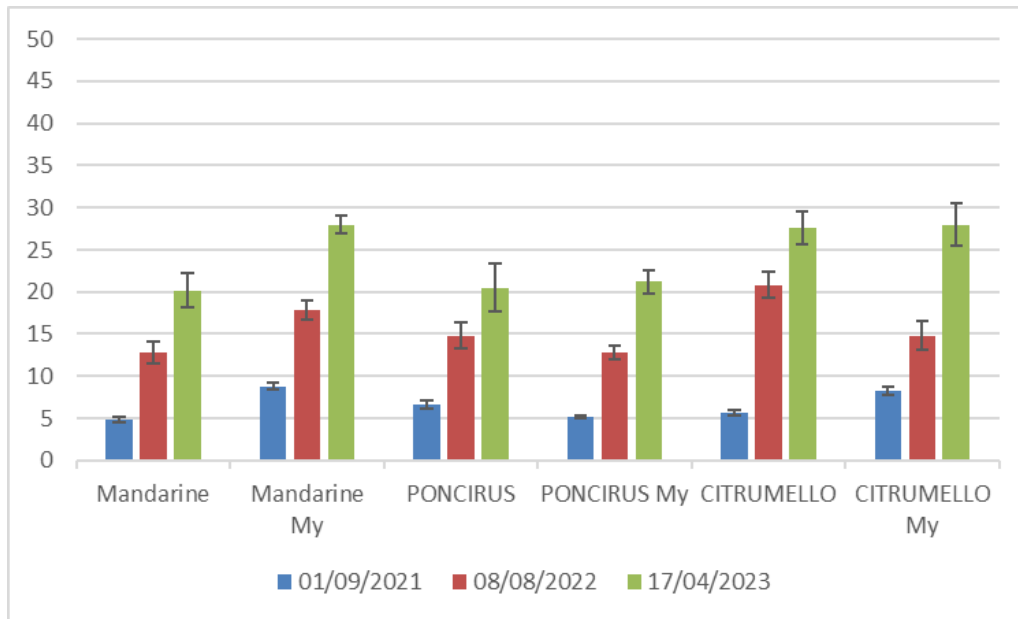


Figure 13. Diamètres des troncs (cm) des plants d'agrumes pour chaque porte-greffe des lignes mycorhizées et des lignes non mycorhizées pour la zone 2 ; Mortalité : \* correspond à un individu mort.

Pour la zone 2 (sol minier), pour les porte-greffes Mandarine, en août 2022, les diamètres des troncs des plants d'agrumes des lignes mycorhizées sont supérieurs à ceux des plants d'agrumes des lignes non mycorhizées. En avril 2023, cette différence se maintient (respectivement 27 mm et 20 mm).

Pour les porte-greffes Poncirus et Cirumello, en août 2022 et avril 2023, les diamètres des troncs des plants d'agrumes des lignes mycorhizées et non mycorhizées ne semblent pas significativement différents.

Les résultats des relevés de croissance de la hauteur du collet à l'apex des plants d'agrumes de la zone 3 sont présentés en figure 14 ci-dessous pour chaque porte-greffe.

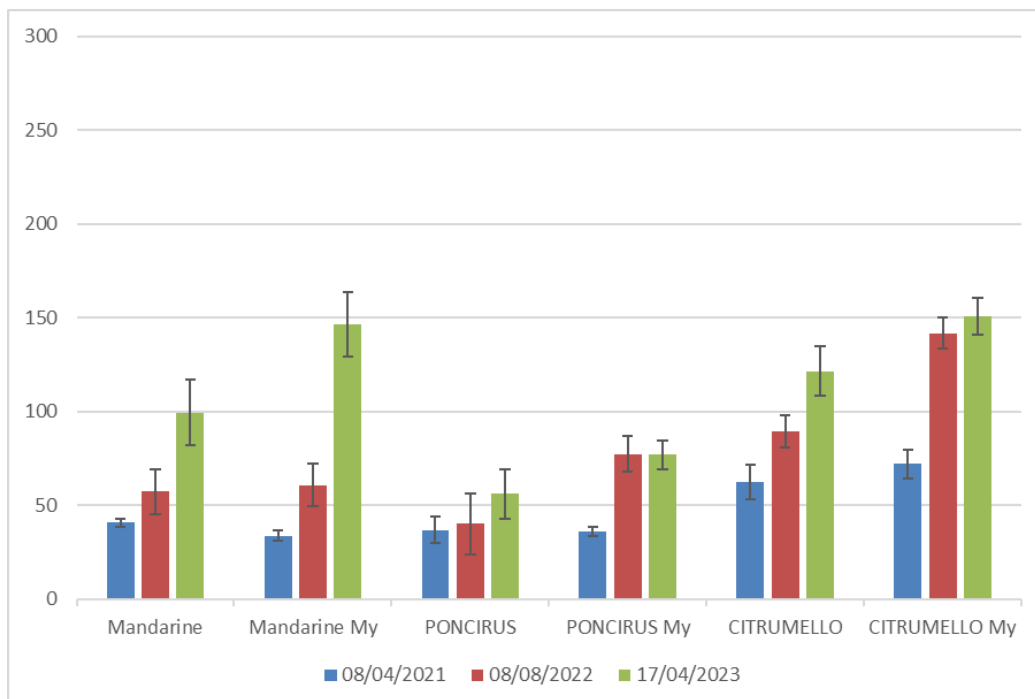


Figure 14. Hauteurs du collet à l'apex (cm) des plants d'agrumes pour chaque porte-greffe des lignes mycorhizées et des lignes non mycorhizées pour la zone 3 ; Mortalité : \* correspond à un individu mort.

Pour la zone 3 (sol silice calcaire), pour les porte-greffes Mandarine, en août 2022, les hauteurs du collet à l'apex des plants d'agrumes des lignes mycorhizées et non mycorhizées ne semblent pas significativement différentes. En avril 2023, les hauteurs du collet à l'apex des plants d'agrumes des lignes mycorhizées sont supérieures à celle des plants d'agrumes des lignes non mycorhizées (respectivement 145 cm et 100 cm). Pour les lignes non mycorhizées uniquement, une mortalité de 20 % des plants d'agrumes est observée.

Pour les porte-greffes Poncirus, en août 2022, les hauteurs du collet à l'apex des plants d'agrumes des lignes mycorhizées sont supérieures à celle des plants d'agrumes des lignes non mycorhizées. En avril 2023, cette différence se maintient (respectivement 75 cm et 55 cm). Pour les lignes non mycorhizées uniquement, une mortalité de 40 % des plants d'agrumes est observée.

Pour les porte-greffes Citrumelo, en août 2022, les hauteurs du collet à l'apex des plants d'agrumes des lignes mycorhizées sont supérieures à celle des plants d'agrumes des lignes non mycorhizées. En avril 2023, cette différence se maintient (respectivement 150 cm et 120 cm).

Les résultats des relevés de croissance des troncs des plants d'agrumes de la zone 3 sont présentés en figure 15 ci-dessous pour chaque porte-greffe.

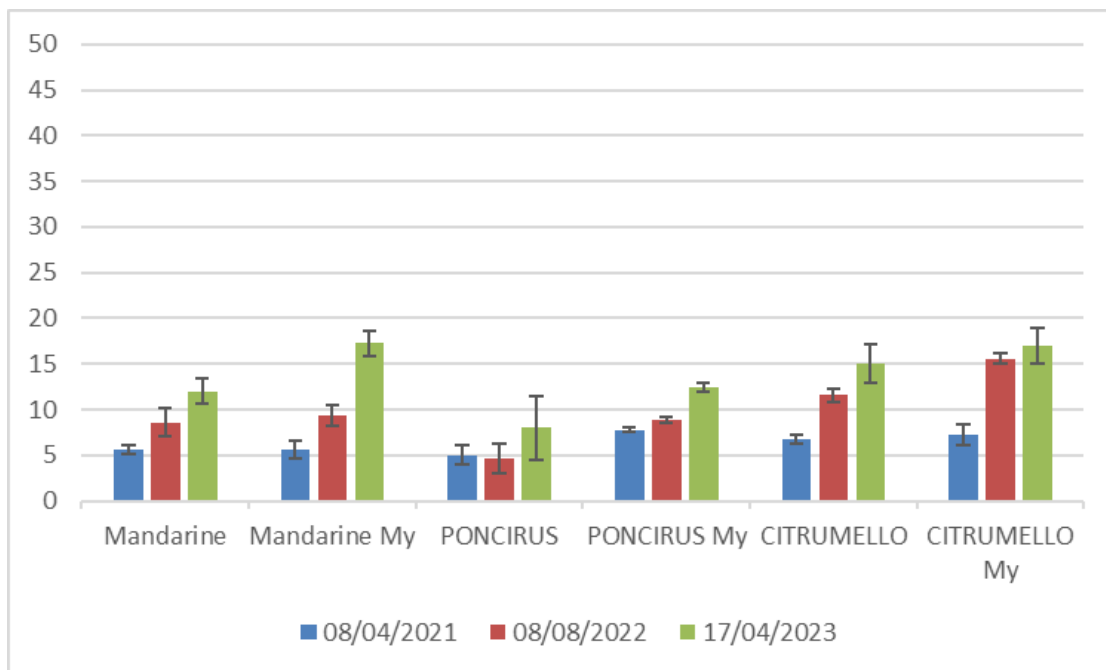


Figure 15. Diamètres des troncs (cm) des plants d'agrumes pour chaque porte-greffe des lignes mycorhizées et des lignes non mycorhizées pour la zone 3. Mortalité : \* correspond à un individu mort.

Pour la zone 3, pour les porte-greffes Mandarine, en août 2022, les diamètres des troncs des plants d'agrumes des lignes mycorhizées sont supérieurs à ceux des plants d'agrumes des lignes non mycorhizées. En avril 2023, cette différence se maintient (respectivement 17 mm et 12 mm).

Pour les porte-greffes Poncirus, en août 2022, les diamètres des troncs des plants d'agrumes des lignes mycorhizées sont supérieurs à ceux des plants d'agrumes des lignes non mycorhizées. En avril 2023, cette différence se maintient (respectivement 12 mm et 8 mm).

Pour les porte-greffes Citrumello, en août 2022 et avril 2023, les diamètres des troncs des plants d'agrumes des lignes mycorhizées et non mycorhizées ne semblent pas significativement différents.

Globalement, les résultats des relevés de croissance des plants d'agrumes semblent fortement influencés par le porte-greffe et le type de sol et ne permettent pas de réaliser des analyses de données plus poussées.

Les résultats paraissant homogènes, une comparaison de moyennes est effectuée entre la hauteur du collet à l'apex mesurée en avril 2023 des plants d'agrumes des lignes mycorhizées à celle des plants d'agrumes des lignes non mycorhizées, tout autres facteurs confondus : types de sols ou zones, porte-greffes.

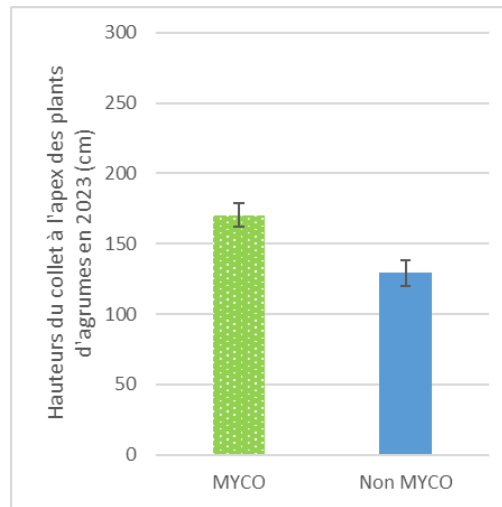


Figure 16 : Hauteurs du collet à l'apex (cm) mesurées en avril 2023 des plants d'agrumes des lignes mycorhizées ou non mycorhizées pour les trois zones et pour les trois portes greffe (Mandarine, Citrumello et Poncirus). Les colonnes représentent les moyennes, et les barres d'erreurs représentent les erreurs standards de la moyenne.

D'après le test t de STUDENT bilatéral les colonnes diffèrent significativement ( $p\text{-value} = 0.007 < 0.05$ ).

En avril 2023, la hauteur du collet à l'apex est significativement plus élevée de 24 % pour les plants des lignes mycorhizées par rapport aux plants des lignes non mycorhizées.

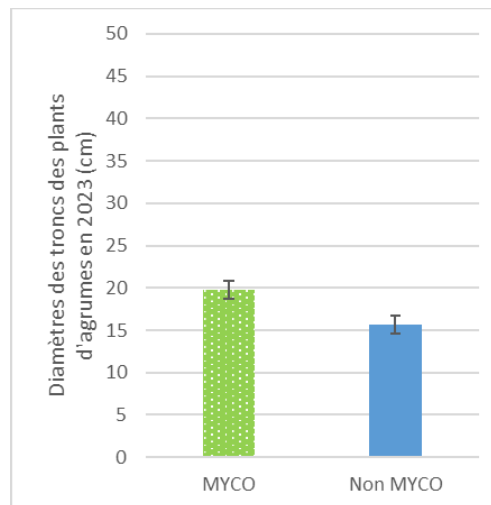


Figure 17 : Diamètres des troncs (cm) mesurés en avril 2023 des plants d'agrumes des lignes mycorhizées ou non mycorhizées pour les trois zones et pour les trois portes greffe (Mandarine, Citrumello et Poncirus). Les colonnes représentent les moyennes, et les barres d'erreurs représentent les erreurs standards de la moyenne. D'après le test t de STUDENT bilatéral les colonnes diffèrent significativement ( $p\text{-value} = 0.023 < 0.05$ ).

En avril 2023, le diamètre des troncs est significativement plus élevé de 21 % pour les plants des lignes mycorhizées par rapport aux plants des lignes non mycorhizées.

### 2.3. Dosage du phosphore dans les feuilles des agrumes et des avocats

Les résultats du dosage de phosphore dans les feuilles sont présentés en figure 16 par type de sol ou zones, par année et par type de production (agrumes ou avocats).

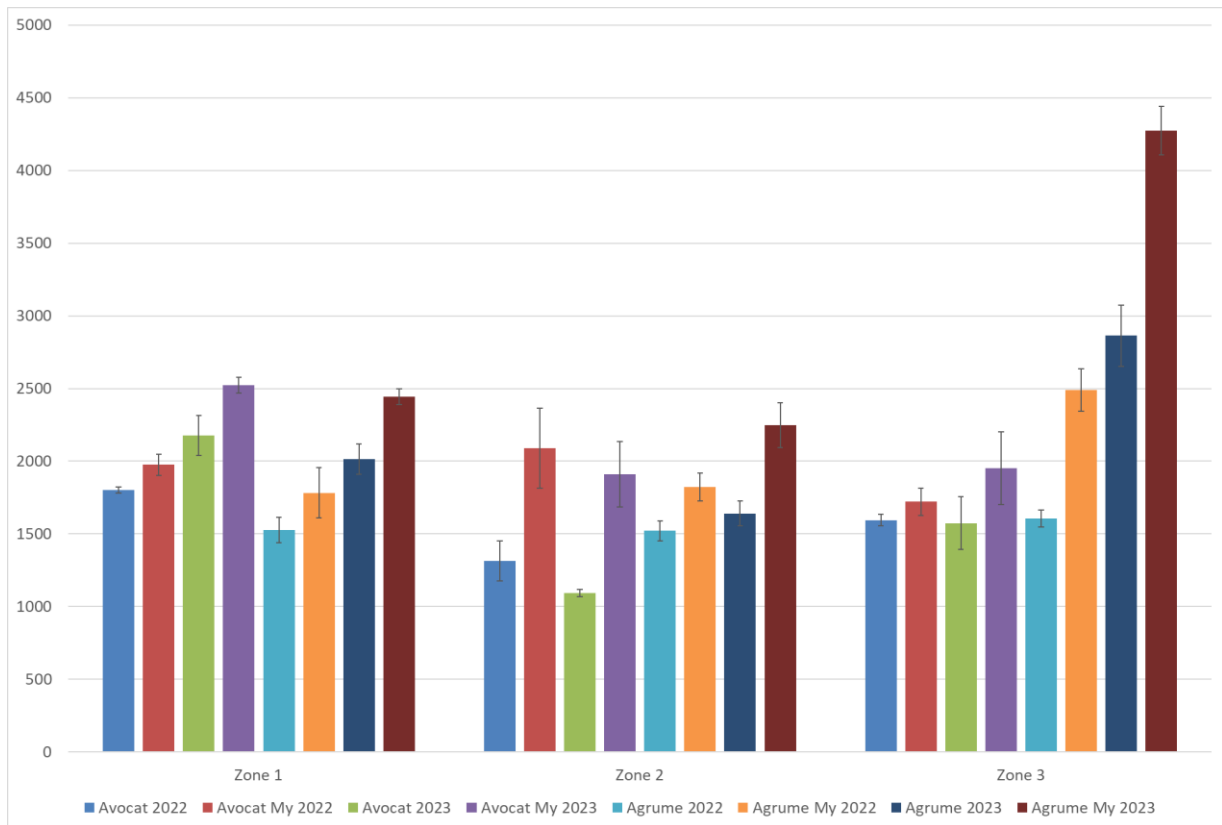


Figure 18. Teneur en phosphore (en mg/kg) des feuilles des plants d'avocats et d'agrumes inoculés ou non pour les trois zones étudiées.

Pour les zones 1, 2 et 3, en août 2022, les concentrations en phosphore des feuilles des plants d'avocats des lignes mycorhizées sont supérieures à celles des feuilles des plants d'avocat des lignes non mycorhizées. En avril 2023, cette différence se maintient et semble plus significative sur la zone 2 (respectivement 1050 mg/kg et 1900 mg/kg), puis la zone 1 (respectivement 2150 mg/kg et 2500 mg/kg), alors qu'elle ne semble pas significative sur la zone 3 (respectivement 1550 mg/kg et 1950 mg/kg).

Pour les zones 1, 2 et 3, en août 2022, les concentrations en phosphore des feuilles des plants d'agrumes des lignes mycorhizées sont supérieures à celles des feuilles des plants d'agrumes des lignes non mycorhizées. En avril 2023, cette différence se maintient et semble plus significative sur la zone 3 (respectivement 2900 mg/kg et 4200 mg/kg) que sur la zone 2 (respectivement 1600 mg/kg et 2250 mg/kg) et la zone 1 (respectivement 2000 mg/kg et 2950 mg/kg).

Les résultats paraissant homogènes, une comparaison de moyennes est effectuée entre la teneur en phosphore des feuilles des plants des lignes mycorhizées et celle des plants des lignes non mycorhizées après un an de mise en place des systèmes, tout autres facteurs confondus : types de sols ou zones, types de productions (agrumes et avocats), années (2022 et 2023).

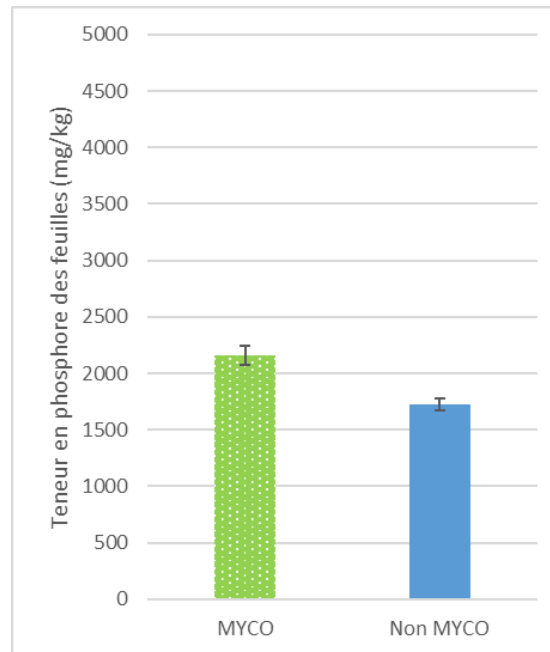


Figure 19 : Teneur en phosphore (en mg/kg) des feuilles d'avocats et d'agrumes des lignes mycorhizées ou non mycorhizées pour les trois zones. Les colonnes représentent les moyennes, et les barres d'erreurs représentent les erreurs standards de la moyenne. D'après le test t de STUDENT bilatéral la différence entre les moyennes est significative ( $p\text{-value} = 0.001 < 0.05$ ).

Après un an de mise en place des systèmes, la teneur en phosphore des feuilles des plants d'avocats et d'agrumes est significativement plus élevée de 20 % pour les lignes mycorhizées par rapport aux lignes non mycorhizées.

### 3. Bilan du rapport et points à retenir

Les résultats marquants de cette étude portent sur l'intensité de mycorhization, la teneur en glomaline des sols et la teneur en phosphore des feuilles.

**Les résultats présentés montrent que l'utilisation du biostimulant mycorhizien lors de la mise en place du système agroforestier a permis, pour les plants d'avocats et d'agrumes et pour tous types de sols :**

- **D'augmenter l'intensité de mycorhization des systèmes racinaires des plants de 45% supplémentaires en moyenne après 2 ans de mise en place des systèmes, ce qui se manifeste par une augmentation du mycélium mycorhizien, des vésicules et arbuscules sur les systèmes racinaires**
- **D'augmenter la teneur en glomaline des sols de 26% supplémentaires en moyenne, la glomaline favorisant l'aération, l'agrégation des particules et la fertilité des sols**
- **D'augmenter la teneur en phosphore des feuilles de 20% supplémentaires et donc la nutrition des plants déjà décrite dans la bibliographie (Berruti et al. 2016)**
- **D'augmenter la croissance des plants d'agrumes**

Remarque : la diminution partielle de l'intensité de mycorhization des systèmes racinaires entre août 2022 et avril 2023 (Fig.3) est un phénomène normal dû au fait que la croissance du système racinaire est plus importante que celle des CMA, ce qui provoque une diminution de l'intensité de mycorhization du système racinaire global.



Par ailleurs, une migration des isolats de CMA inoculés des lignes mycorhizées vers les lignes non mycorhizées a été observée lors de la dernière campagne d'analyse en avril 2023, ce qui suggère que la mycorhization se développe rapidement dans le système agroforestier (résultat non présenté).

Les résultats sur la croissance des plants sont plus mitigés dans le cadre de cette étude. Seuls les résultats des relevés de croissance (hauteurs du collet à l'apex et diamètres des troncs) des agrumes semblent montrer que l'utilisation du biostimulant mycorhizien lors de la mise en place du système agroforestier a permis une croissance des plants plus importante. Les observations visuelles de la zone 1 viennent conforter cette analyse avec une croissance de l'ensemble de la végétation plus importante sur la ligne mycorhizée (Fig. 18). Cependant les mesures n'ont pas été réalisées lors de la plantation en 2021. Par conséquent, l'essai n'a pas permis de quantifier l'effet de l'apport de CMA sur la croissance des plants.



*Figure 20. Observation visuelle des différences de croissance de l'ensemble de la végétation sur la zone 1 (sol argile limon), entre une ligne mycorhizée (à gauche) et une ligne non mycorhizée (à droite)*

Pour les avocats, les résultats ne permettent pas de conclure. Quelques hypothèses peuvent être avancées :

- La stratégie d'utilisation du *Sesbania* comme plante hôte pour disséminer les CMA dans le système racinaire des plants d'avocats n'était peut-être pas adéquate, une inoculation en pépinière permettrait certainement de mieux contrôler l'inoculation et d'obtenir des résultats plus homogènes.
- Les *Sesbanias* ont été remplacés par des *Glyricidias* sur les lignes non mycorhizées (à l'initiative de l'agriculteur), ce qui a pu avoir un impact sur la protection contre les pathogènes et gommer les effets de l'apport de CMA.

- La réserve nutritive des avocats dans le noyau est importante lors de la mise en place des systèmes, il est possible que le pas de temps de cette étude soit trop court pour observer les effets des CMA sur la croissance des plants d'avocats.

#### 4. Conclusion

---

Ce projet a permis de comparer un système agroforestier avec production d'avocats et d'agrumes naturellement pauvre en CMA avec apport de CMA, et sans apport de CMA. Les résultats montrent que l'apport de CMA lors de la mise en place du système permet d'augmenter l'intensité de mycorhization, la structuration et l'aération des sols (teneur en glomaline) et la nutrition minérale des plants d'avocats et d'agrumes (teneur en phosphore des feuilles). Les résultats montrent aussi que l'apport de CMA a un impact positif sur la croissance des plants d'agrumes.

#### 5. Perspectives

---

Afin d'éviter les biais rencontrés sur une exploitation agricole en production, cette étude pourrait être poursuivie chez les agriculteurs avec des moyens supplémentaires permettant aux scientifiques d'être présents lors de l'intégralité de la mise en place des systèmes et de réaliser l'ensemble des relevés ; ou de faire appel à des étudiants de l'Université de la Nouvelle-Calédonie ; ou être reproduite en station expérimentale.

Si cette étude venait à être reproduite, il serait intéressant de mesurer la teneur en glomaline des sols lors de la mise en place des systèmes (T0), ce qui n'a pas été fait ici.

Par ailleurs, les observations visuelles réalisées sur le terrain, particulièrement sur la zone 1 (Fig. 18), suggèrent que l'apport de CMA a des effets sur l'ensemble du système agroforestier. Ces effets mériteraient d'être étudiés via la mesure de la diversité des espèces végétales et de la biomasse produite par l'ensemble du système agroforestier. Le bananier semble notamment réagir favorablement à l'apport de CMA en termes de croissance. Il serait pertinent de reproduire cette étude sur une production de bananes en ajoutant un indicateur de pesée des fruits, ce qui permettrait d'avoir des résultats sur un pas de temps plus court que celui nécessaire aux avocats et agrumes.

Finalement, la prochaine étude pourrait être menée sur une culture de bananiers, avec la mesure simple de trois indicateurs : diversité des espèces végétales du consortium agroforestier, biomasse produite par l'ensemble du système agroforestier, kilos de bananes produites.

## Références

- Berruti A, Lumini E, Balestrini R, Bianciotto V (2015) Arbuscular Mycorrhizal Fungi as Natural Biofertilizers: Let's Benefit from Past Successes. *Front Microbiol* 6:1559. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01559>
- Janos D, Garamszegi S, Beltran B (2008) Glomalin extraction and measurement. *Soil Biology and Biochemistry* 40: 728-739.
- Phillips JM, Hayman DS (1970) Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans Br Mycol Soc* 55:158–161
- Mihali C, Michnea A, Oprea G, Gogoasa I, Pop C, Senila M, Grigor L. (2012). Trace element transfer from soil to vegetables around the lead smelter in Baia Mare, NW Romania. *J Food Agr Environ*. 10(1) :828 – 34
- Trouvelot A, Kough JL Gamp; Gianinazzi-Pearson V (1986) Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. In : *Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae*, V. Gianinazzi-Pearson and S. Gianinazzi (eds.). INRA Press, Paris, pp. 217-221.
- Crossay T, Majorel C, Redecker D, et al (2019) Is a mixture of arbuscular mycorrhizal fungi better for plant growth than single-species inoculants? *Mycorrhiza* 29:325–339. doi: 10.1007/s00572-019-00898-y
- Crossay T, Cavaloc Y, Majorel C, Redecker D, Medevielle V, Amir H (2020) Combinations of different arbuscular mycorrhizal fungi improve fitness and metal tolerance of sorghum in ultramafic soil, Elsevier, *Rhizosphere*, Volume 14
- Amir H, Lagrange A, Hassaïne N, Cavaloc Y (2013) Arbuscular mycorrhizal fungi from New Caledonian ultramafic soils improve tolerance to nickel of endemic plant species, *Mycorrhiza*

## Table des illustrations

- Figure 1. Schéma de la parcelle expérimentale et types de sol 7
- Figure 2. Séquences "agrume" et "avocat" 8
- Figure 3. Intensité (en %) de mycorhization dans les systèmes racinaires des plants d'avocats et d'agrumes sur les lignes mycorhizées et non mycorhizées pour les 3 types de sols ou zones, en août 2022 et avril 2023. 11
- Figure 4 : Intensité de mycorhization (en %) des systèmes racinaires des plants présents sur les lignes mycorhizées ou non pour les trois zones, avocats et agrumes confondus, en 2022/2023. Les colonnes représentent les moyennes, et les barres d'erreur représentent les erreurs standards de la moyenne. D'après le test t de STUDENT la différence entre les moyennes est significative ( $p \leq 0.05$ ). 12
- Figure 5. Structures intra-racinaires des CMA dans les racines des plantes présentes sur la parcelle de fruitiers pour chaque type de sol. Les structures fongiques sont colorées avec du bleu Trypan. a, c, e : lignes non mycorhizées ; b, d, f : lignes mycorhizées. Photographies réalisées en avril 2023. 13
- Figure 6. Dosage de la glomaline des sols des trois zones étudiées pour les lignes mycorhizées et non mycorhizées, en août 2022 et avril 2023. 14
- Figure 7 : Teneurs en glomaline (en mg/g sol) des sols des lignes mycorhizées ou non mycorhizées pour les trois zones, agrumes et avocats confondus, en 2022/2023. Les colonnes représentent les moyennes, et les barres d'erreurs représentent les erreurs standards de la moyenne. D'après le test t de STUDENT, la différence entre les moyennes est significative ( $p \leq 0.05$ ). 15
- Figure 8 : Hauteurs du collet à l'apex (en cm) des plants d'avocats des lignes mycorhizées et des lignes non mycorhizées pour les 3 types de sols ou zones. 16
- Figure 9. Diamètres des troncs (en mm) des plants d'avocats des lignes mycorhizées et des lignes non mycorhizées pour les 3 types de sols ou zones. 16
- Figure 10. Hauteurs du collet à l'apex (cm) des agrumes pour chaque porte-greffe utilisé sur les lignes mycorhizées ou non mycorhizées pour la zone 1. My : signifie que les plants ont été mycorhizés ; Mortalité : \* correspond à un individu mort. 17
- Figure 11. Diamètres (cm) des troncs des plants d'agrumes pour chaque porte-greffe des lignes mycorhizées et des lignes non mycorhizées pour la zone 1. My : signifie que les plants ont été mycorhizés ; Mortalité : \* correspond à un individu mort. 18
- Figure 12. Hauteurs du collet à l'apex (cm) des plants d'agrumes pour chaque porte-greffe des lignes mycorhizées et des lignes non mycorhizées pour la zone 2. My : signifie que les plants ont été mycorhizés ; Mortalité : \* correspond à un individu mort. 19
- Figure 13. Diamètres des troncs (cm) des plants d'agrumes pour chaque porte-greffe des lignes mycorhizées et des lignes non mycorhizées pour la zone 2 ; Mortalité : \* correspond à un individu mort. 20
- Figure 14. Hauteurs du collet à l'apex (cm) des plants d'agrumes pour chaque porte-greffe des lignes mycorhizées et des lignes non mycorhizées pour la zone 3 ; Mortalité : \* correspond à un individu mort. 20
- Figure 15. Diamètres des troncs (cm) des plants d'agrumes pour chaque porte-greffe des lignes mycorhizées et des lignes non mycorhizées pour la zone 3. Mortalité : \* correspond à un individu mort. 21

Figure 16 : Hauteurs du collet à l'apex (cm) mesurées en avril 2023 des plants d'agrumes des lignes mycorhizées ou non mycorhizées pour les trois zones et pour les trois portes greffe (Mandarine, Citrumello et Poncirus). Les colonnes représentent les moyennes, et les barres d'erreurs représentent les erreurs standards de la moyenne. D'après le test t de STUDENT les colonnes diffèrent significativement ( $p \leq 0.05$ ).  
22

Figure 17 : Diamètres des troncs (cm) mesurés en avril 2023 des plants d'agrumes des lignes mycorhizées ou non mycorhizées pour les trois zones et pour les trois portes greffe (Mandarine, Citrumello et Poncirus). Les colonnes représentent les moyennes, et les barres d'erreurs représentent les erreurs standards de la moyenne. D'après le test t de STUDENT les colonnes diffèrent significativement ( $p \leq 0.05$ ). 22

Figure 18. Teneur en phosphore (en mg/kg) des feuilles des plants d'avocats et d'agrumes inoculés ou non pour les trois zones étudiées. 23

Figure 19 : Teneur en phosphore (en mg/kg) des feuilles d'avocats et d'agrumes des lignes mycorhizées ou non mycorhizées pour les trois zones. Les colonnes représentent les moyennes, et les barres d'erreurs représentent les erreurs standards de la moyenne. D'après le test t de STUDENT la différence entre les moyennes est significative. 24

Figure 20. Observation visuelle des différences de croissance de l'ensemble de la végétation sur la zone 1 (sol argile limon), entre une ligne mycorhizée (à gauche) et une ligne non mycorhizée (à droite) 25