

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Saad Dahleb Blida -1-
Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département de biotechnologies



Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de

Master en Biotechnologie Végétale

Spécialité : Biotechnologie et Valorisation des Plantes

Intitulé du mémoire

Evaluation de l'impact d'application de quelque intrants biologique et mycorhiziens sur le bouturage et la croissance de deux espèces de menthe : *mentha pulegium L*, *mentha rotundifolia L* et leur développement sous serre

Présenté et soutenu par :

Mazouzi Meriem

Magri Nour el houda

Devant le jury composé de :

Promotrice : Mme Moumen S	MCA	USDB	DIRECTRICE
Présidente : Mme Ayadi R	MCA	USDB	PRESIDENT
Examineur : Mme Faïdi H	MCA	USPV	EXAMINATRICE

Année universitaire : 2019 / 2020

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, on tient à exprimer notre gratitude et remerciements à :

Avant tout ALLAH tout puissant, de nous avoir guidées toutes les années d'étude qui nous données la volonté, la patience et le courage pour terminer ce travail.

La première personne à qui on souhaite adresser nos chaleureux remerciements, Mme le professeur moumneS, professeur à la Faculté de SNV et la promotrice de notre mémoire d'avoir acceptée de diriger ce travail. Elle nous a guidé tout au long de son élaboration,. C'est grâce à ses suggestions, remarques et critiques que ce travail a pu s'être effectué et sans elle ce travail ne pourra avoir lieu. Merci de nous avoir accordé votre confiance durant cette année.

On tient à adresser nos remerciements les plus sincères aux honorables membres du jury:

Madame Ayadi R professeur à la faculté SNV département de biotechnologie, université Saad Dahleb Blida1, on vous remercie d'avoir accepté d'assurer la présidence de jury de notre mémoire et on tient à remercier aussi. Mme Faidi H professeur à la faculté SNV département de biotechnologie, université Saad Dahleb Blida1, d'avoir accepté d'examiner notre mémoire.

Nos vifs remerciements sont adressés pareillement à tous nos enseignants de l'université Saad Dahleb Blida1, qui nous ont enseigné dès notre rentrée en première année universitaire jusqu'à la fin du cursus.

On remercie profondément les personnes qui ont contribué, par la mise à notre disposition des informations relatives à l'élaboration de ce travail, spécialement : monsieur **Yousef** .

Nos plus chaleurs remerciement s'adressent à monsieur le pépiniériste qui a assuré l'irrigation de nos cultures tout le long de la période de confinement, c'est en grande partie grâce à lui que ce travail a pu s'effectuer.

Dédicaces

Louange à Dieu, le Tout Puissant, qui nous a permis de mener à bien ce modeste travail.

On dit « les mots s'envolent, seuls les écrits restent » c'est pour cela que on vous écrivez ces petits mots.

C'est avec un très grand honneur qu'on dédie ce travail aux personnes les plus chères au monde :

À nos parents que dieu les protège. En témoignage de nos profondes affections. Qu'ils sachent que ce travail est en partie le fruit de leur soutien ; nous leur sommes très reconnaissants. Leur fierté à nos égards aujourd'hui est pour nous la meilleure des récompenses.

À tous nos professeurs

À nos familles

À nos amis qui ont permis d'oublier les moments de stress et de découragement.

À tous nos cher

Résumé

La symbiose mycorhizienne et plus particulièrement celle à arbuscules, concerne plus de 80% des plantes terrestres et la presque totalité des plantes cultivées, conduit à une meilleure croissance et à une meilleure résistance à divers stress biotiques et abiotiques pour le partenaire végétal. Dans la même approche, du côté fongique, le genre *Trichoderma* regroupe un grand nombre d'espèces à activité bénéfique à la croissance de la plante et, à sa protection. Cette présente étude est basée sur l'effet d'utilisation d'un isolat endémique « T12 » de *Trichoderma sp.* et de deux types de sols mycorhizés prélevés séparément à partir de biotopes différents de deux espèces de menthe : *Mentha rotundifolia L.* et *Mentha pulegium L.* cultivées en pots et sous serre pendant 4 mois.

L'inoculant fongique «T12» de *Trichoderma sp.* préparé sous forme de suspension conidienne à une concentration de 3×10^7 Spores /ml a été appliqué individuellement dans un substrat stérilisé pour les deux espèces de menthe. Les jeunes boutures enracinées de chaque espèce ont été séparément cultivées dans chacun des deux substrats mycorhizés.

Les résultats ont montré une variabilité dans la stimulation des paramètres de croissance étudiés, selon la culture de chacune des deux espèces de menthe et l'inoculant fongique étudié. La variabilité a été beaucoup plus importante sur les plantes cultivées de *Mentha rotundifolia L.* sous l'effet du sol mycorhizé prélevé du biotope de la même espèce spontanée. En outre, la stimulation a affecté la hauteur des plantes, le nombre de feuilles, de graines et le poids frais et sec de la partie aérienne et souterraine des plantes cultivées de la même espèce de menthe sous l'effet de l'isolat de *Trichoderma sp.*

Dans ce sens, l'application du substrat mycorhizé provenant de Ouled yaich Blida, et l'isolat de *Trichoderma sp.* ont confirmé leur potentiel biostimulant intéressant pour leurs futures utilisations dans l'agriculture biologique durable.

Mots clés : Biostimulation, *Mentha rotundifolia L.*, *Mentha pulegium L.* , sols mycorhizés, *Trichoderma sp.*

ملخص

التعايش الميكوريزالي ، وبشكل أكثر تحديداً في العشب ، يتعلق بأكثر من 80 ٪ من نباتات الأرض وجميع النباتات المزروعة تقريباً ، مما يؤدي إلى نمو أفضل ومقاومة أفضل لمختلف الضغوط الحيوية وغير الحيوية لشريك النبات. في نفس النهج ، على الجانب الفطري ، يشمل جنس *Trichoderma* عدداً كبيراً من الأنواع ذات النشاط المفيد لنمو النبات وحمائته.

تعتمد هذه الدراسة الحالية على تأثير استخدام عزلة متوطنة "T12" من *Trichoderma sp* ونوعان من أنواع التربة mychorrhizal تم جمعها بشكل منفصل من بيئات حيوية مختلفة لنوعين من النعناع: *Mentha rotundifolia* L. و *Mentha pulegium* L. المزروعة في أصص وفي دفيئة لمدة 4 أشهر *Trichoderma sp* اللقاح الفطري "T12" لـ *Trichoderma sp*. تم تحضيره كعلق كونيدي بتركيز X1073 سبورات / مل بشكل فردي في ركيزة معقمة لنوعي النعناع. تمت زراعة شتلات الجذور الشابة لكل نوع بشكل منفصل في كل من ركيزتي الميكوريزا.

أظهرت النتائج تبايناً في تحفيز متغيرات النمو المدروسة ، اعتماداً على ثقافة كل من نوعي النعناع والمُلقح الفطري المدروس. كان التباين أكبر بكثير في النباتات المزروعة من *Mentha rotundifolia* L. تحت تأثير التربة الفطرية المأخوذة من البيئة الحيوية لنفس الأنواع التلقائية. بالإضافة إلى ذلك ، أثر التحفيز على ارتفاع النباتات ، وعدد الأوراق والبذور والوزن البارد والجاف للنباتات المزروعة فوق الأرض وتحت الأرض من نفس النوع من النعناع تحت تأثير عزلة *Trichoderma sp*.

بهذا المعنى ، فإن تطبيق الركيزة الميكوريزالية من Ouled Yaich Blida ، وعزل *Trichoderma sp*. أكدوا إمكاناتهم المثيرة للاهتمام كمحفزات حيوية لاستخداماتهم المستقبلية في الزراعة العضوية المستدامة.

الكلمات المفتاحية: التحفيز الحيوي ، *Mentha rotundifolia* L. ، *Mentha pulegium* L. ، التربة الفطرية ،

Trichoderma sp.

Abstract

Mycorrhizal symbiosis and more particularly that of arbuscules, concerns more than 80% of land plants and almost all cultivated plants, leads to better growth and to better resistance to various biotic and abiotic stresses for the plant partner. In the same approach, on the fungal side, the genus *Trichoderma* includes a large number of species with beneficial activity for the growth of the plant and for its protection.

This present study is based on the effect of using an endemic isolate "T12" of *Trichoderma sp.* And two types of mycorrhizal soils collected separately from different biotopes of two species of mint: *Mentha rotundifolia L.* and *Mentha pulegium L.* grown in pots and under green house for 4 months.

The fungal inoculant "T12" of *Trichoderma sp.* prepared as a conidial suspension at a concentration of 3×10^7 Spores / ml was applied individually in a sterilized substrate for both species of menth . Young rooted cuttings of each species were separately grown in each of the two mycorrhizal substrates.

The results showed variability in the stimulation of the growth parameters studied, depending on the culture of each of the two mint species and the fungal inoculant studied. The variability was much greater in cultivated plants of *Mentha rotundifolia L.* under the effect of mycorrhizal soil taken from the biotope of the same spontaneous species.

In addition, the stimulation affected the height of the plants, the number of leaves, seeds and the fresh and dry weight of the above-ground and underground part of the cultivated plants of the same species of mint under the influence of *Trichoderma sp.* isolate.

In this sense, the application of the mycorrhizal substrate from Ouledyaich Blida, and the isolate of *Trichoderma sp.* confirmed their interesting biostimulant potential for their future uses in sustainable organic farming.

Key words: Biostimulation, *Mentharotundifolia L.*, *Menthapulegium L.*, mycorrhizal soils, *Trichoderma sp.*

Liste des abréviations

CMA : Champignon Mycorhizien Arbusculaire

PDA : Potato dextrose agar

ANOVA : ANalysis of Variance

RTF : rotundifolia

PLG : pulegium

MA : mychorize arbusculaire

GLM : modèle linéaire généralisé

Table des matières

Introduction	1
Chapitre I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	
I.1. Aperçu sur les espèces d'étudiées	3
I.1.1. Historique	3
I.1.2. Aperçu sur le genre et les espèces de menthes	3
I.1.3. Origine et répartition géographique	4
I.1.4. Description botanique	5
I.1.5. Position systématique	8
I.1.6. Nomenclature des deux espèces	8
I.1.7. Importance économique et utilisations	9
I.1.7.1. Usage médicinal	9
I.1.7.2. Usage interne	9
I.1.7.3. Usage culinaire	9
I.1.7.4. Usage industriel	9
I.1.8. Cycle de végétation de la menthe	10
I.1.8.1. Multiplication végétative	10
I.1.8.2. Phase reproductrice	10
I.1.9. Culture et soins	10
I.1.10. Multiplication et mise en place de la culture	10
I.1.11. Exigences de la culture de la menthe	11
I.1.11.1. Le photopériodisme	11
I.1.11.2. La température :	11
I.1.11.3. Le sol	11
I.1.11.4. L'altitude :	11
I.1.11.5. Fertilisation	11
I.2. Aperçu sur les champignons mycorhiziens et la symbiose mycorhizienne	12
I.2.1. Généralités sur les types de mycorhizes	12
I.2.1.1. Les ectomycorhizes	13
I.2.1.2. Les endomycorhizes	13
I.2.1.3. Les ectendomycorhizes	14
I.2.2. Les champignons mycorhiziens à arbuscules	15
I.2.2.1. Généralités sur les champignons mycorhiziens à arbuscules	15

I.2.2.2. Taxonomie.....	15
I.2.2.3. Cycle biologique	16
I.2.3. Processus de mycorhization	17
I.2.4. Importance de la symbiose mycorhizienne.....	18
I.3. Aperçu sur le champignon du genre Trichoderma	19
I.3.1 .L'origine du champignon du genre trichoderma.....	19
I.3.2 .Taxonomie	20
I.3.3 .Morphologie	21
I.3.4 .Ecologie	22
I.3.5 .Mécanismes d'action des Trichoderma	23
I.3.6. Utilisation de Trichoderma	24

Chapitre II : MATERIEL ET METHODES

II .1. Matériel biologique.....	25
II 1.1. Matériels végétal	25
II .1.2. Inoculant fongiques	27
II .1.2.1. L'isolat de Trichoderma spp.....	27
II .1.2.2 .Les types de sols mycorhizés.....	28
II .2. Méthodes utilisée.....	28
II.2.1.paramètres étudié	28
II .2.1.1. Préparation du substrat de culture.....	28
II .2.1.2. Préparation de la suspension conidienne de Trichoderma spp.	29
II .3. Préparation des boutures.....	29
II .4. Installation de la culture selon les types de sol mycorhizés.....	29
II .5. Description des plants et leur classement visuel	30
II .6. Le taux de mortalité	31
II .7. Paramètres de croissance	31
II .8. Contrôle de la mycorhization chez les plants de deux espèces de menthe cultivés	32
II .8.1 Estimation du taux de colonisation par les champignons MA	34
II .9. analyse statistique	35

Chapitre III: RESULTATS ET DISCUSSION

<i>III.1.</i> Résultats de taux de mortalité des plantes cultivées	36
<i>III.2.</i> Résultats de Paramètres de croissance	37
<i>III.3.</i> Résultats de Classement des plantes cultivées des deux espèces de menthe selon la vigueur visuelle	50
<i>III.4.</i> Résultats de Contrôle de l'aspect morphologique de la culture des deux espèces de menthe.....	55
<i>III.5.</i> résultats d'Estimation des taux de mycorhization racinaire des plantes cultivées des deux espèces de menthe	57
Discussion	62
Conclusion	66
Références bibliographique	68
Annexes	78

Liste de figures

Figure1 : Morphologie des principales espèces du genre mentha.....	4
Figure2 : variété <i>la menthe rotundifolia .L</i> (menthe odorante).....	5
Figure3 : <i>menthe pulegium L</i> (menthe pouliot).....	6
Figure 4 : Morphologie des principaux types de mycorhizes représentée sur une coupe transversale de racine.	12
Figure 5 : Morphologie des différentes ectomycorhizes.....	13
Figure 6 : Classification phylogénétique des champignons CMA	16
Figure7 : Cycle biologique des champignons mycorhiziens à arbuscules.....	17
Figure8 : Processus de mise en place des symbioses mycorhiziennes.....	17
Figure 9 : Sections systématiques de Trichodermaspp. Et quelques agrégées de Rifai	21
Figure 10 : Aspect morphologique d'un conidiophore de Trichoderma longibrachiatum	22
Figure 11 : Plantes cultivées de <i>Mentha rotundifolia L</i> (mentha à feuilles.rondes). au niveau de la serre (1) de la faculté de Saad ahlab Blida 1.....	26
Figure 12 : Plantes cultivées de <i>Mentha puleguim L</i> (menthe pouliot).au niveau de la serre (2) de la faculté de Saad ahlab Blida 1	26
Figure.13 : Culture de l'isolat de Trichodermasp. et ses suspensions conidiennes	28
Figure 14 :Système racinaire d'une plante de <i>Mentha rotundifolia</i> cultivée sous l'effet des CMA.....	33
Figure 15 : les différentes étapes de la mise en évidence et la préparation des lames.	33
Figure 16 : Notation de l'abondance ou l'intensité des arbuscules, des vésicules ou des hyphes dans les fragments racinaires	35
Figure 17 : taux de mortalité des plantes cultivées de <i>Mentha rotundifolia L</i> .et /ou <i>Mentha pulegium L</i> . Selon les traitements considérés.....	36
Figure18 : Analyse de la variance en modèle GLM de la hauteur des plantes cultivées de <i>Mentha rotundifolia</i> et /ou <i>Mentha pulegium</i> selon les traitements considérés.....	37
Figure 19 : hauteur de chaque catégorie des plantes cultivées de <i>Mentharotundifolia</i> et /ou <i>Menthapulegium</i> selon les traitements considérés.....	38
Figure 20 : Analyse de la variance en modèle GLM du Nombre de ramifications de la tige par plante cultivée de <i>Mentha rotundifolia</i> et /ou <i>Mentha pulegium</i> selon les traitements considérés.....	39
Figure 21 : Nombre de ramifications de la tige pour chaque catégorie des plantes cultivées de <i>Mentha rotundifolia</i> et /ou <i>Mentha pulegium</i> selon les traitements considérés.....	40

Figure22: Analyse de la variance en modèle GLM du Nombre de feuilles par plante cultivée de <i>Mentha rotundifolia</i> et /ou <i>Mentha pulegium</i> selon les traitements considérés.....	41
Figure 23: Nombre de feuilles par plante pour chaque catégorie des plantes cultivées de <i>Mentha rotundifolia</i> et /ou <i>Mentha pulegium</i> selon les traitements considérés.....	42
Figure 24 : Analyse de la variance en modèle GLM du Poids frais et du poids sec de la partie aérienne par plante cultivée de <i>Mentha rotundifolia</i> et /ou <i>Mentha pulegium</i> selon les traitements considérés.....	43
Figure 25 : Poids frais et poids sec de la partie aérienne par plante cultivée de <i>Mentha rotundifolia</i> et /ou <i>Mentha pulegium</i> selon les traitements considérés.....	44
Figure26: Analyse de la variance en modèle GLM du Poids frais et du poids sec racinaire par plante cultivée de <i>Mentha rotundifolia</i> et /ou <i>Mentha pulegium</i> selon les traitements considérés.....	45
Figure 27: Le Poids frais et sec de la partie racinaire par plante cultivée de <i>Mentha rotundifolia</i> et /ou <i>Mentha pulegium</i> selon les traitements considérés.....	46
Figure 28: Variabilité du système racinaire des plantes cultivées selon les traitements considérés (4mois après le repiquage).....	47
Figure 29: Analyse de la variance en modèle GLM du Nombre de graines produites par bouquet et par plante cultivée de <i>Mentha rotundifolia</i> et /ou <i>Mentha pulegium</i> selon les traitements considérés.....	48
Figure 30 : Nombre de graines produites par bouquet pour chaque catégorie des plantes cultivées de <i>Mentha rotundifolia</i> et /ou <i>Mentha pulegium</i> selon les traitements considérés.....	49
Figure 31: Variabilité morphologique des plantes cultivées de <i>Mentha rotundifolia</i> L. sous l'effet du substrat mycorhizien.	50
Figure 32 : Variabilité morphologique des plantes cultivées de <i>Mentha puleguim</i> sous l'effet du substrat mycorhizien.....	52
Figure 33 : Variabilité morphologique des plantes cultivées de <i>Mentharotundifolia</i> sous l'effet de l'isolat de <i>Trichoderma</i> sp.....	53
Figure 34 : Variabilité morphologique des plantes cultivées de <i>Mentha puleguim</i> sous l'effet de l'isolat de <i>Trichoderma</i> sp	
Figure 35 : l'aspect morphologique des plantes des deux cultures de menthe sous l'effet de substrat mycorhizéet leurs témoins.....	56
Figure36: Morphologie des plantes cultivées des deux espèces de menthe sous l'effet de l'isolat de <i>Trichoderma</i> sp.....	57

Figure 37: Morphologie des structures mycorhiziennes de colonisation MA des racines des Plantes de menthe (Grossissement X 125).....	58
Figure 38: Variabilité des taux de colonisation mycorhizienne des racines des plantes cultivées de <i>Mentha rotundifolia</i> et <i>Mentha pulegium</i> selon la vigueur des plantes.....	59
Figure 39 : Classes des intensités de mycorhization (m%) développée dans la partie endomycorhizée des racines des 4 catégories de plante de <i>Mentha rotundifolia</i> (MR) (Grossissement X125).....	60
Figure 40 : Classes des intensités de mycorhization (m%) développée dans la partie endomycorhizée des racines des 4 catégories de plante de <i>Mentha pulegium</i> L. (MP) (Grossissement X125).....	61

Liste de tableaux

Tableaux 1 : Caractérisation morphologique des deux espèces de menthes.....	8
Tableaux 2 : Modèle de Jardinière utilisée et modifié par rapport à celui décrit par Horst et al. (1998).....	30
Tableaux 3 : Echelle d'intensité de colonisation du cortex racinaire	34

Introduction

Face aux différents soucis qui concernent la santé, la menthe est la plante médicinale la plus populaire au monde, vu son importance considérable. En effet, en plus de ses multifonctions aux seins de différents domaines, ses huiles essentielles sont commercialisées à l'échelle mondiale.

Sa culture est très prisée, en raison de sa forte demande en industrie en vert et en sec. Elle occupe une aire de répartition très importante en Algérie. C'est la plante la plus utilisée en phytothérapie, grâce à ces propriétés, connues de la tradition et étudiées scientifiquement (**Medine, 2015**).

L'une des techniques de multiplication la plus simple du genre *Mentha*, est la multiplication par bouturage. Par conséquent, si cette technique est bien maîtrisée, elle permettra de rendre un grand service dans le domaine de l'horticulture en diminuant le coût de production, elle se résume par reproduire à l'identique le patrimoine héréditaire génétique du plant mère choisie (ses propriétés, son gout, sa maturité, ses résistances naturelles). En veillant à sélectionner ce type de rameau, la bouture conservera donc ces facultés acquises, ce qui permet de dire que c'est un gage de sécurité et une économie certaine (**Natacha Leroux 2013**).

Cependant, le plus grand inconvénient et qui fait d'ailleurs l'objet de notre étude et caractérise parfaitement notre problématique principale, est que les plantes adultes issues des boutures sont souvent plus faibles, notamment au niveau racinaires.

Par ailleurs, le bouturage rencontre des contraintes secondaires liées essentiellement à deux événements : la production de racines adventives à partir d'un fragment de plante mère et la reconstitution d'une plante entière à partir de ce fragment enraciné.

En outre, le genre *Mentha*, comme 90% des plantes terrestres, est un partenaire symbiotique des champignons mycorhiziens présents naturellement dans les sols ou ajoutés aux cultures, ces derniers sont rapportés très bénéfiques vu leur multitude d'intérêts bénéfiques pour les plantes.

Dans ce sens, au Canada, les résultats des travaux, portant sur l'impact d'application des champignons mycorhiziens à vésicules et à arbuscules sur l'enracinement des boutures et la croissance subséquente de trois plantes ligneuses ornementales, ont confirmé l'augmentation de la croissance des jeunes plants mycorhizés de *Juniperus sibirica* 'Blue Danube' et de *Cornus stolonifera* var *coloradensis* jusqu'à 50% et 25% supérieure à celle des plantes non mycorhizés (**Trépanier, 1998**).

Toujours dans la même approche, du côté fongique, le genre *Trichoderma* est considéré parmi les premiers produits biostimulants sur le marché. Il regroupe un grand nombre d'espèces à activité bénéfique à la croissance de la plante et, à sa protection (Alabouvette et Cordier, 2012, 2013, 2015 in Alabouvette et Cordier, 2018).

C'est dans ce contexte et en tenant compte de la problématique citée au par avant, que nous avons entrepris une étude sur l'impact de l'application de quelques intrants biologiques fongiques et mycorhyziens sur le bouturage de deux espèces de menthe: *Mentha pulegium L.* et *Mentha rotundifolia L.* et leur développement sous serre.

Ainsi notre étude consiste à :

- ✓ Produire des boutures pour les deux espèces de menthe,
- ✓ Déterminer les paramètres de leur croissance,
- ✓ Etudier l'influence d'utilisation de l'isolat de *Trichoderma sp.* (T12) et celle de 2 types de substrat endomycorhizé sur l'enracinement des boutures des deux espèces de menthe étudiées.
- ✓ Evaluation de la colonisation endomycorhizienne des racines des cultures des deux espèces de menthe.

Chapitre I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Aperçu sur les deux espèces de menthe étudiées

I.1.1. Historique

Le genre *Mentha* compte un très grand nombre d'espèces et les hybridations successives entraînent une certaine confusion dans leur identification. Leurs espèces étaient utilisées à des fins thérapeutiques au 16^{ième} et 17^{ième} siècle (**Debbab, 2009**).

Le nom « pouliot » vient du latin *pulegium* qui dérive de *pulex* et qui signifie puce appelée aussi pouliot royal. Cette menthe était utilisée pour chasser les puces et les poux depuis des temps très anciens. Elle figurait parmi les plantes potagères recommandées comme remède au moyen âge.

La *Mentha rotundifolia* est connue sous le nom de la plante à feuilles rondes. C'est une plante médicinale des abords de rivière utilisée dans l'art culinaire Kabylie, particulièrement dans la préparation des pains, Elle a donné naissance à des formes horticoles panachées telles que la menthe ananas. (**M. Benbouali, 2006**).

I.1.2. Aperçu sur le genre et les espèces de menthes

Le genre *Mentha* appartient à la famille des lamiacées. Il comprend 20 espèces répandues dans le monde (**Chalchatet al. 2000**).

Des hybridations interspécifiques naturelles sont observées avec une haute fréquence tant chez les populations cultivées que chez les espèces sauvages de ce genre (**A. Benabdalah, 2017**).

Le genre *Mentha* compte environ 25 espèces réparties dans cinq sections, *Audibertia*, *Eriodontes*, *Pulegium*, *Preslia* et *Mentha* (S.Moja, 2014). La section *Mentha* rassemble le plus grand nombre d'espèces et d'hybrides telles que, les espèces légitimes diploïdes comme, *M. suaveolens* Ehrh., *M. longifolia* L. Huds., des polyploïdes comme, *M. arvensis* L., *M. aquatica* L. et des hybrides dont les plus connus sont *M. spicata* L. et *M. x piperita* L. d'où leur intérêt commerciale. (**Voir figure 1**).



(a)

(b)

(c)



(d)

(e)

Figure1 : Morphologie des principales espèces du genre mentha

a: *Mentha suaveolens* Ehrh., **b:** *Mentha longifolia* (L.) Huds.

c: *Mentha aquatica* L. , **d:** *Mentha arvensis* L., **e:** *Mentha spicata* L.

I.1.3. Origine et répartition géographique

La plupart des menthes sont originaires d'Europe et de l'Asie. Cependant, elles peuvent être présentes sur la quasi-totalité des continents. Ainsi, la liste comprend l'Afrique du Nord, l'Asie et l'Europe mais elle s'est répandue à travers le monde entier (**Medine, 2015**).

La menthe à feuilles rondes ou *M. rotundifolia* croît dans les zones humides près des cours d'eau en basse et moyenne montagne (**El Archet al. 2003**). Elle pousse sous les bioclimats semi-arides et humides à variantes chaudes et tempérées au tour du bassin méditerranéen, en Amérique et en Asie occidentale (**Derwichet al. 2010**). Au Maroc, nous trouvons le littoral (bani Snassen), Secteur oranais Montagnard de Deddou aghar Rouban, Rif oriental et occidental, de la Moulouya à Oued Laou, y compris l'Atlas rifain. Maroc central (partie septentrionale) et Maroc central (partie méridionale) (**Hmamouchi , 1999**).

La menthe pouliot est au départ, originaire du bassin méditerranéen mais aujourd'hui, elle s'est naturalisée en Amérique aux canaries et à l'ouest de l'Asie et prospère en Europe occidentale, sud et centrale, l'Asie, l'Iran, les pays arabes et l'Éthiopie (Bàrbaraet al. 2012). En Algérie, *Mentha pulegium* L est très abondante et pousse spontanément (Quézel et Santa, 1963). Elle se rencontre dans les zones humides et généralement marécageuses, près des routes, et elle est plus abondante dans les pâturages de montagnes (Chalchatet al. 2000).

I.1.4. Description botanique

La menthe est une plante herbacée vivace, dicotylédone et gamétopétale, susceptible de se reproduire par des rhizomes, par marcottage ou par bouturage. Parmi toutes les Lamiacées, les menthes se reconnaissent, en plus de leur odeur spéciale, à leurs fleurs très petites, à leurs corolles presque régulières à quatre lobes presque égaux et leurs quatre étamines également presque égales (Benayad, 2008).

Mentha rotundifolia L est couverte de poils denses et blanchâtres qui la rendent douce au toucher, comme toutes les menthes, elle dégage une forte odeur caractéristique qui chez cette plante rappelle la pomme (voir Figure 2) (Benayad, 2008).



(a)

(b)

Figure 2 : variété *la mentha rotundifolia* L (menthe odorante) (Emerso, 2004)

(a) parties aériennes , **(b)** feuilles.

Mentha pulegium (Linné, 1753) (voir Figure 3) est une plante herbacée vivace, pubescente, couchée, cultivée comme plante condimentaire et une plante mellifère, très visitée par les abeilles pour son nectar, cette menthe est l'espèce la plus exploitée pour ses vertus médicinales et aromatiques (Rana et al. 1997; Cantino, 1998).

Elle est représentée par deux sous espèces: *Mentha pulegium* ssp. *Vulgaris* et *Mentha pulegium* ssp. *Pulegium* (Quézel et Santa., 1962).



Figure 3: *menthe pulegium* L (menthe pouliot) (Duboc, 2008).

Le tableau ci-dessous résume la description morphologique de l'ensemble des parties de plantes de chacune des deux espèces de menthe

Tableau 1: Caractérisation morphologique des deux espèces de menthes

Caractéristiques Morphologique	<i>Mentha rotundifolia L.</i>	<i>Mentha pulegium L.</i>
Plante	La hauteur est de 25 à 80 cm, avec une fleur de 5 mm de long (Benayad, 2008).	Herbacée basse de 10 à 30cm de hauteur, à inflorescence formée de nombreux verticillés denses, feuillés et distants (Quézel et Santa, 1963).
Tige	Quadrangulaire, rameuse, annuelle et très odorante	Dressée, ramifiée, quadrangulaire, grisâtre parfois rougeâtre très feuillée (Benayad, 2008).
Feuilles	opposées, pétiolées, ovales, crénelées, gaufrées, sont luisantes, d'un beau vert foncé sur le dessus plus pâles en dessous, sont distinctement pédonculées, obtuses,	Opposée décussées petites courtement pétiolées, longue de 15 à 25 cm crénelées sur les bords (Bellakhdar, 1984).
Fleurs	coloration blanche ou rose, La floraison est de juillet à septembre (Ferreira et al. 2006) les inflorescences en épis en tête ou bien en verticilles	apparaissent l'été, de mai à fin septembre. Petites hermaphrodite, pédonculées rosées ou violacée
Calice	tubuleux ou en cloche à 5(4) dents subégales	Veinée à 5 sépales inégaux presque bilabiés tubuleux velus, à gorge

		formée par des poils connivents (Belouad, 1998; Vanderet al. 2002).
Corolle	infundibuliforme blanche, rosée ou violet pâle à 4	Tubuleuse avec une lèvre supérieure à 2 dents formée par 2 pétales soudées et une lèvre inférieure à trois dents formée par trois pétales soudés (Abdel,H .2003).

I.1.5. Position systématique

Plusieurs propositions de positions systématiques existent à travers le monde, nous en présentons celle de Bachman (2016) (**Lawrence, 2007**).

- Domaine : Eukaryota
- Sous-domaine : Bikonta
- Règne : Plantae
- Division : Magnoliophyta
- Classe : Magnoliopsida
- Ordre : Lamiales
- Famille : Lamiaceae
- Genre : *Mentha*L. (1753).

I.1.6 .Nomenclature des deux espèces

Les deux espèces de menthe étudiées possèdent plusieurs dénominations :

Mentha rotundifolia L. qui est connue par la population locale « Megneessif » porte différentes dénominations à savoir, « timarsat » en Algérie (**El Moussaouiet al. 2013**). « Timija » ou « la menthe en épi » au Maroc (**El Archet al. 2003**), « Applemint » en anglais (**Vander et al. 2002**). Selon **Delille (2007)** et Ait Youssef(2006) *Mentha pulegium* L. est connue communément sous les noms suivants :

- en anglais (pennyroyal),
- en commun français : herbe aux puces, menthe pouliot, herbe de Saint-Laurent, menthe des prés et en arabe : Fliou.

I.1.7. Importance économique et utilisations

En Algérie, La menthe tout comme d'autres cultures du genre, à l'instar du safran, du persil et des graines de fenugrec qui connaissent une forte demande, est cultivée dans des exploitations familiales. Quelque 5 100 quintaux de menthe verte, réputée pour ses utilisations culinaire et thérapeutique, ont été récoltés à ce jour à travers la wilaya d'Ouargla durant la saison 2017-2018 (**Fatiha Boubekri, 2018**).

Au Maroc, La production nationale de menthe en 2012 a oscilé autour de 905 tones sur une superficie de 405 ha, avec 4515 tones exportées vers l'Europe esentielement, dont 98% sous forme de menthe fraîche, avec une valeur de 93 Milions de dirhams. L'exportation moyene sur les 10 dernières anées estde 5 06 tones (**Jawad, 2013**).

L'huile essentielle de la menthe est produite en grande échelle partout dans le monde, les États-Unis occupent une position dominante puisqu'ils et sont les plus grand producteurs de cette huile, suivis par l'Inde et la Chine. Les menthes sont utilisées en médecine traditionnelle dans les pays producteurs (**Ahmed et al. 1992**).

Cette plante connaît plusieurs usages à savoir :

I.1.7.1. Usage médicinal

Elle est utilisée pour éliminer les vers intestinaux. Elle fait baisser la fièvre, et favorise la sécrétion des muqueuses. La menthe est dotée de propriétés anti-inflammatoires, antiseptiques et expectorantes (**Iserin, 1997**).

I.1.7.2. Usage interne

Elle peut être utilisée sous forme d'infusion, en cas de refroidissement, et de douleur intestinale (**Collin, 2007**) ou en décocté dans les cas de gastralgie et ou des diarrhées (**Ait Youssef, 2006**).

Par ailleurs, les feuilles fraîches appliquées en cataplasme arrêtent la sécrétion lactée. (**Collin, 2007**). Elle est considérée comme la plante par excellence des maladies de l'hiver (**Teuscheretal., 2005**).

I.1.7.3. Usage culinaire

Au même titre que la Menthe verte, *Mentha pulegium* est, surtout employée pour agrémenter les farces et les pates relevées (**Teuscher et al. 2005**), est aussi utilisée en complément ou en remplacement de la menthe douce, dans la préparation du thé (**Collin, 2007**).

I.1.7.4. Usage industriel

Mentha pulegium et *Mentha rotundifolia* sont importantes en utilisation industrielle comme aromatisant aussi bien pour les produits médicamenteux et de l'hygiène. L'industrie agro-alimentaire est le principal consommateur: liquoristerie (liqueur, sodas, sirops à diluer),

confiserie (bonbon, chocolat), et l'industrie de tabacs et la parfumerie (**Hammami et Abdesselem, 2005**). *Mentha rotundifolia* est une plante aromatique très utilisée dans la médecine, dans les préparations culinaires, les confiseries, en cosmétique et en parfumerie (**Bineau, 2002**)

I.1.8. Cycle de végétation de la menthe

I.1.8.1 Multiplication végétative

Le cycle commence par la germination, les feuilles trifoliées apparaissent ensuite. Ainsi une nouvelle tige se développe et les premiers nœuds commencent à se former (**Melvyn, 1980**).

I.1.8.2. Phase reproductrice

La production de menthe est relativement facile, il suffit de diviser les pieds, ce qui aboutira à la production des stolons est une tige rampante, dont l'extrémité produit un bourgeon s'enracinant, qui donne à son tour naissance à un autre pied de menthe.

I.1.9. Culture et soins

La menthe fait l'objet d'une grande culture, la plantation se fait en mars- avril en pépinière, le repiquage se fait sur place en mai. Et la division de souche se réalise au printemps, s'accommode de la culture en pots sur un balcon, se récolte au fur et à mesure des besoins. Séchage des feuilles puis conservation au sol (**Nessman ,1994**).

La menthe est très active, son arôme intense et sa saveur piquante, laissent une sensation de froid, sont assez révélateurs (**Baba aissa, 1999**).

Le séchage est réalisé dans des appareils spéciaux à 45°C, le rendement à l'hectare de la culture peut atteindre 2,5 à 3 T de plante entière. A la distillation, il est possible d'obtenir 80 à 100 kg d'essence par hectare. La récolte mécanisée a lieu au début de la période de floraison (**Bruneton ,1999**).

I.1.10. Multiplication et mise en place de la culture

Comme les semences ne donnent pas toujours de bons résultats, nous propageons habituellement les menthes par voie végétative (division des racines ou des plants, plantation de rhizomes). La division des pieds de menthe et la plantation s'opèrent en général au printemps (mois de Mars). L'opération de plantation commence par l'extraction des racines puis par leurs divisions en tronçons de 5 à 10 cm, qu'on enfuit sous terre dans les billons confectionnés (**Medine, 2015**).

La plantation se fait de deux façons, soit on repique des plantes de 10à15cm de haut, soit on enfuit sous une faible profondeur les boutures de tiges souterraines (rhizomes) appelées aussi "filets" qui se forment lors de la végétation autour de chaque pied (**Patrick, 1985**).

I.1.11. Exigences de la culture de la menthe

Mentha pulegium apprécie les situations fraîches, moyennement éclairées, les sols riches en éléments nutritifs, affectionnant un pH plutôt neutre (Ahmed et al. 1992; Al-Qudah et al. 2017). *Mentha rotundifolia* pousse dans les fosses, les lieux humides et au bord des chemins (Benayad, 2008). La culture des menthes dépend des plusieurs facteurs comme :

I.1.11.1. Le photopériodisme

Le photopériodisme modifie la morphologie et la production de la matière sèche. Les durées d'éclairement croissantes provoquent un allongement des feuilles au détriment de leurs largeurs (Guy, 1971 in Hnatyszyn et Guais, 1989). La menthe exige une journée longue de l'ordre de 16 heures pour fleurir. Sa croissance végétative est diminuée en période froide (photopériode inférieure à 10 heures et température inférieure à 10 à 25°C, respectivement pour le minimum et pour le maximum) (Mader, 2001).

I.1.11.2. La température

Le thermopériodisme qu'il soit saisonnier ou journalier est l'un des moteurs du développement des végétaux, des températures trop faibles peuvent abaisser le niveau de photosynthèse (Hnatyszyn et Guais, 1989).

I.1.11.3. Le sol

La sensibilité de la menthe à la température est accentuée par le caractère vivace de la plante. Elle entre en repos végétative pendant l'hiver. Il est possible qu'elle ait besoin de froid. La température maximale est de l'ordre de 30°C pour une croissance optimale (Mader, 2001).

Le système racinaire de la menthe est peu profond. Il exige un sol peu compacte, perméable et légèrement argileux. Sa culture réussit particulièrement bien dans le sol bien drainés à pH allant de 5,5 à 8 (Patrick, 1985).

I.1.11.4. L'altitude

Les menthes peuvent être cultivées en climat montagnard, tempéré, humide jusqu'à 900-1000m d'altitude et en climat montagnard méditerranéen, à condition de les arroser pendant la sécheresse d'été (Guilly, 1989).

I.1.11.5. Fertilisation

Le sol doit être riche en matière organique, les apports en engrais doivent être apportés pour favoriser un bon redressement de la culture de la menthe, il faut y avoir l'importance des trois grands éléments nutritifs : l'azote, le phosphore et le potassium (Mader, 2001).

I.2. Aperçu sur les champignons mycorhiziens et la symbiose mycorhizienne

I.2.1 Généralités sur les types de mycorhizes

Les mycorhizes sont des champignons qui prélèvent la matière organique sur un organisme vivant avec bénéfice réciproque pour l'hôte, qui devient un « partenaire ». Le mot mycorhize a une origine gréco-latine, dérivé de « myco » (champignon) et de « rhiza » (racine) (Sarasin, 2011). La symbiose mycorhizienne est indispensable à la vie des végétaux terrestre: **80%** des plantes supérieures doivent obligatoirement être mycorhizées pour leur alimentation en eau et en sels minéraux. Toutefois, les champignons ne sont pas tous des champignons mycorhiziens. La presque totalité des plantes vertes terrestres vivent en symbiose mycorhizienne. Seuls des membres de quelques familles en sont quelques fois dépourvus, par exemple, les crucifères et les chénopodiacées (Fortinet Plenchette, 2008). Le pouvoir de développement des mycorhizes n'est pas le même pour chaque plante (0% pour les crucifères à 100% pour les alliées) (Bâet al, 2001).

Il existerait sept types principaux de mycorhizes : les ectomycorhizes, les mycorhizes arbusculaires, les mycorhizes éricoïdes, les mycorhizes arbutoïdes, les mycorhizes des orchidaceae, les ectendomycorhizes et les mycorhizes sebacinoïdes (Sarasin, 2011; Fortin et Plenchette, 2008). Quel que soit le type mycorhizien, le champignon reste confiné dans le cortex racinaire et ne franchit jamais la barrière endodermique. (Voir Figure 4) (Selosse et Le Tacon 1998).

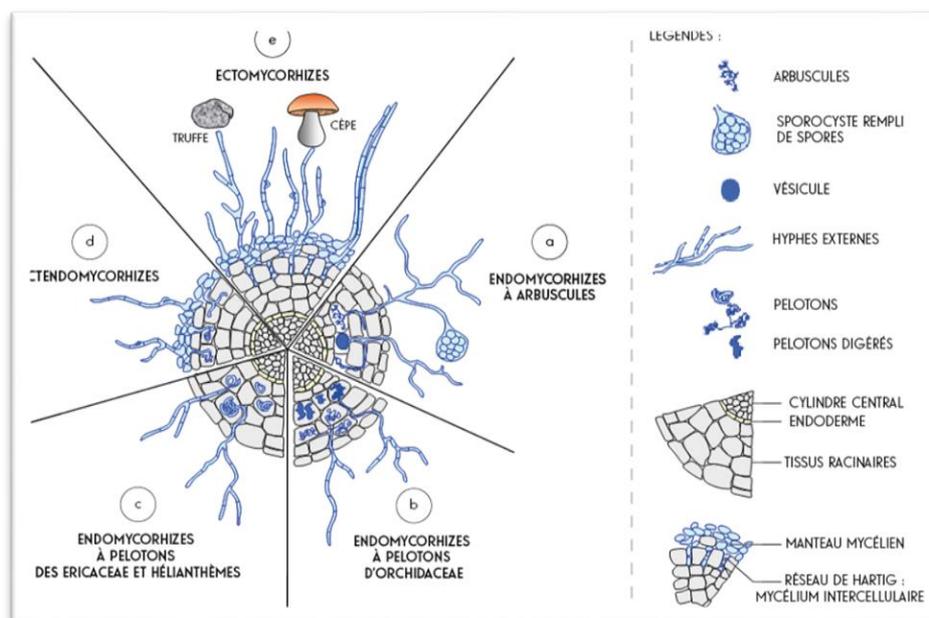


Figure 4 : Morphologie des principaux types de mycorhizes représentée sur une coupe transversale de racine. (Selosse et Le Tacon, 1998).

- a : endomycorhizes à arbuscules ; b : endomycorhizes à pelotons d'Orchidaceae ; c ; endomycorhizes à pelotons des Ericaceae et Hélianthèmes ; d : ectendomycorhizes ; e : ectomycorhizes

I.2.1.1. Les ectomycorhizes

La symbiose de ce type de mycorhizes se traduit par une colonisation superficielle des racines, en les revêtant d'un manteau fongique. Les hyphes pénètrent la racine, en formant dans le cortex un système intercellulaire complexe, appelé réseau de « hartig », avec peu ou pas de pénétration cellulaire (**Cruyppenninck, 2013**). La morphologie des racines est modifiée par l'infection ectomycorhizienne: les ectomycorhizes ont des formes simples, dichotomes, coralloïdes, pyramidales ou nodulaires (**voir Figure 5**) (**Selosse, 2000**). A partir du manteau fongique part un réseau extramatriciel d'hyphes qui explorent un grand volume de sol allant au-delà de la rhizosphère et déterminant la mycorrhizosphère. Le réseau extra-matriciel d'hyphes est relié aux sporophores (**Bâet al. 2001**).

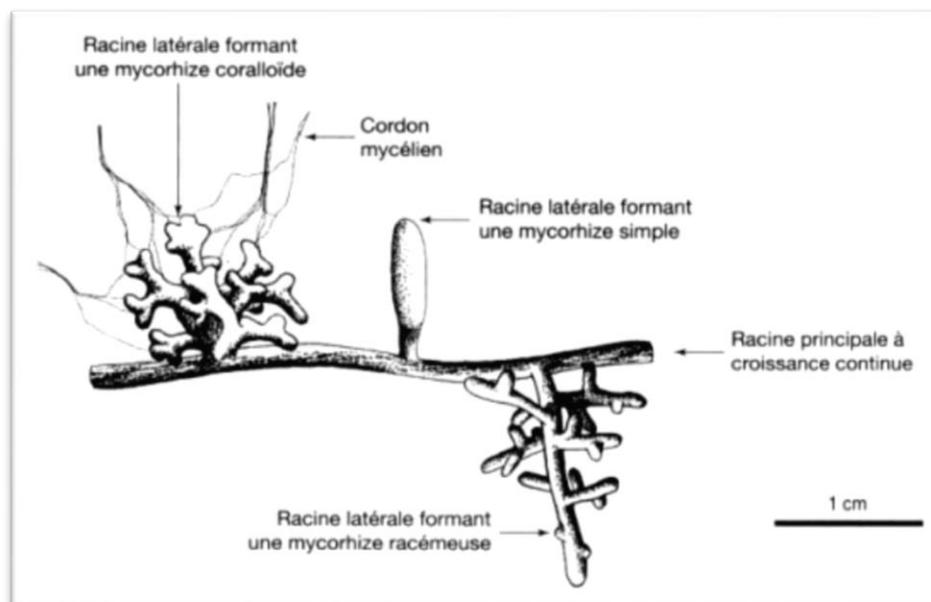


Figure 5 : Morphologie des différentes ectomycorhizes (Selosse, 2000).

I.2.1.2. Les endomycorhizes

Les champignons endomycorhiziens ne sont pas spécifiques et sont normalement associés aux plantes comme celle forestières agricoles et horticoles. Ils sont classés en mycorhizes arbusculaires, mycorhizes éricoïdes, mycorhizes arbutoïdes, mycorhizes monotropoides et les mycorhizes d'orchidées (**Peterson et al. 2008**).

➤ Les mycorhizes éricoïdes

Ce type de mycorhizes est moins présent que les ectomycorhizes ou les mycorhizes arbusculaires, mais doté d'une importance capitale pour les écosystèmes où l'azote du sol est

lié dans divers composés organiques. Chez les mycorhizes éricoïdes, les hyphes entrent en contact avec les parois cellulaires épidermiques des racines, pénètrent à travers ces parois et forment des complexes d'hyphes intracellulaires (**Peterson et Massicotte, 2004**).

➤ **Les mycorhizes arbutoïdes et monotropoïdes**

Les mycorhizes monotropoïdes sont retrouvées chez les plantes de la famille des éricacées et à la sous-famille des Monotropoideae. Ses mycorhizes sont caractérisés par la présence d'un manchon fongique, d'un réseau de Hartig et l'absence de vésicules. Ce sont les hyphes du manchon qui pénètrent entre les cellules externes du parenchyme cortical. De plus elles se distinguent des mycorhizes arbutoïdes, par le fait que les cellules épidermiques sont envahies par un seul hyphe formant une «tige» autour de laquelle la cellule hôte élabore une paroi et une membrane plasmique. Par contre, les mycorhizes arbutoïdes développent un complexe d'hyphes dans les cellules de l'épiderme (**Peterson et Massicotte, 2004**).

➤ **Les mycorhizes des orchidées**

Dépendant d'une grande famille des Orchidacées, ce type de mycorhizes s'identifie par son caractère unique d'où les associations fongiques se font avec des cellules d'embryons de graines en germination, ainsi qu'avec les racines des jeunes plants et des plantes adultes. Ce type de mycorhize forme des bobines intracellulaires appelé pelotons, l'infection se propage directement d'une cellule à une autre, puis les pelotons d'hyphes dégèrent et sont digérés par des cellules plus internes dites phagocytantes (**Fortin et al. 2008**). Les espèces fongiques impliquées sont des Basidiomycètes (**Peterson et al. 2008**).

➤ **Les mycorhizes arbusculaires**

Ce type de mycorhizes est considéré comme le type de symbiote le plus répandu, en colonisant environ 80 % des plantes vasculaires terrestres, c'est-à-dire plus de 400 000 espèces (ligneuses, herbacées, les mousses, fougères, gymnospermes et angiospermes plusieurs conifères et La majorité des plantes à fleurs, mono et dicotylédones) c'est-à-dire plus de 400 000 espèces. Il existe cependant, moins de 200 espèces de champignons endomycorhiziens. Ces champignons ne sont donc pas très spécifiques dans leurs relations de symbiose (**Khasa et al. 1990**).

I .2.1.3.Les ectendomycorhizes

C'est une symbiose « hybride » alliant, une colonisation en profondeur, des cellules végétales et une colonisation superficielle, à manteau réduit ou absent, qui possède un réseau de hartig bien développé et des hyphes qui pénètrent dans les cellules racinaires (**Cruyenninck, 2013**).

I .2.2.Les champignons mycorhiziens à arbuscules

I .2.2.1.Généralités sur les champignons mycorhiziens à arbuscules

Ces mycorhizes se caractérisent par la présence constante d'arbuscules intracellulaires qui sont un lieu d'échange entre la plante-hôte et le champignon. Le mycélium intra matriciel est connecté avec un réseau d'hyphes externes dont le développement est souvent considérable (**Troupaet Kone, 2003**). En partant de ces hyphes, des ramifications traversent la paroi cellulaire et pénètrent à l'intérieur de la cellule. Après s'être ramifié un grand nombre de fois, l'hyphe de pénétration réalise une structure appelée « arbuscule » rappelant un petit arbre avec un tronc, des grosses branches et des ramifications de plus en plus fines, donnant naissance par suite à des arbuscules intracellulaires. Certains hyphes s'étendent à leur extrémité à fin de former d'énormes ampoules inter- ou intracellulaires nommées « vésicules ». Chez certains mycorhizes à vésicules et arbuscules sans oublier les mycorhizes des végétaux ligneux, les arbuscules sont localisées dans les cellules corticales profondes à proximité du cylindre central. Dans les cellules corticales périphériques envahies par le champignon, l'hyphe ne se ramifie pas, il s'enroule sur lui-même, en formant un peloton (structure différenciée dans des cellules dégénérantes et il a été démontré qu'elle n'est probablement pas fonctionnelle). Le mycélium s'émît entre les cellules du cortex des racines ou franchit les parois de ces cellules en repoussant leur plasmalemme sans le traverser (**Troupa et Koné, 2003**). On estime que la surface des mycéliums arbusculaires, sous un mètre carré d'un sol de prairie est d'environ 90 m² et que dans un pot d'un litre ou pousse un seul plant de poireau, le mycélium peut atteindre jusqu'à (1) kilomètre, envahissant les moindres interstices du substrat (**Fortin et al., 2008**).

I .2.2.2.Taxonomie

Les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) appartiennent à l'embranchement des Glomeromycota (ou Gloméromycètes) (**Gehrig et al, 1996; Schwarzott et al, 2001; Schüßler et al, 2001**). Ce dernier est caractérisé par une grande diversité morphologique, notamment au niveau des spores qui sont de taille, couleur et forme très variables selon les espèces (**Balergue, 2012**).

Les glomeromycètes sont répartis en 4 ordres composant 10 familles et 15 genres et environ 200 espèces. Le tout est associé à environ 225 000 espèces végétales terrestres. Ils sont composés de quatre ordres (**voir la Figure6**) (**Schüssler et al. 2001**). Ainsi, nous distinguons les quatre ordres avec les principaux genres suivants :

- les Glomérales (Genre *Glomus* groupes A et B);
- les Paraglomérales (genre *Paraglomus*);

- les Archéosporales (genres : Archeospora, Ambispora et Geosiphon) ;
- Diversisporales (genres : Acaulospora, Gigaspora, Scutellospora, Pacispora et Diversispora) .

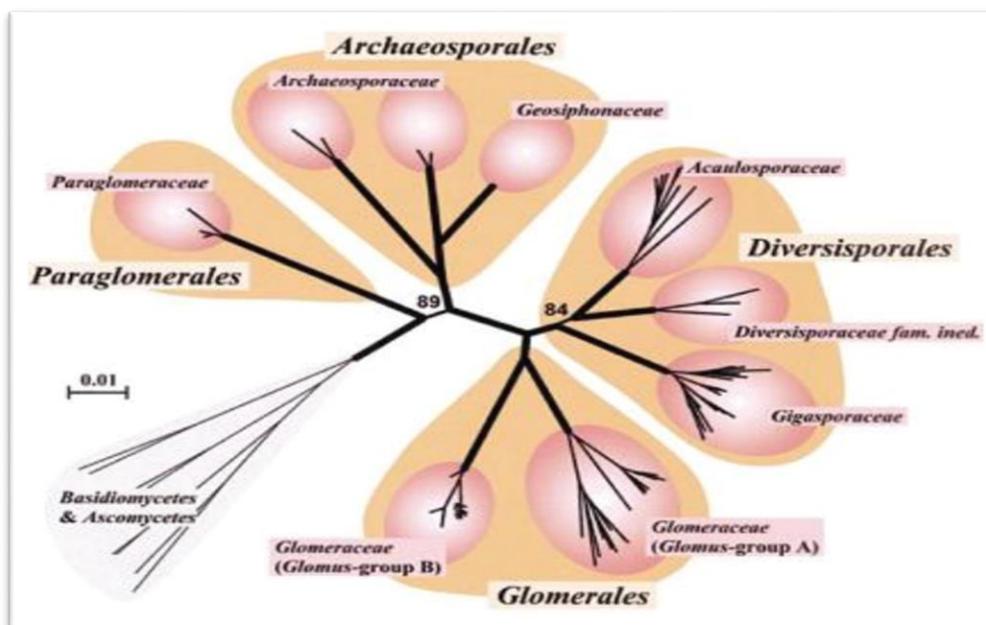


Figure 6 : Classification phylogénétique des champignons CMA (Schüssler et al. 2001).

I.2.2.3.. Cycle biologique

Le mycélium des CMA est de type coenocytique et, en parcourant ce réseau mycélien, nous observons une formation de forme de spores destinées à propager et disséminer l'espèce, ses derniers vont par la suite, développer des tubes germinatifs, à partir du mycélium extra-radicalaire. Le tube germinatif va s'étendre sur plusieurs centimètres dans le sens des racines actives et donne une infection primaire des racines. Chez certaines espèces, des vésicules intra-radicales, se différencient dans le cortex racinaire et possèdent des propriétés conformes à celles des spores. Les segments des racines morts ou vivant peuvent être une source d'inoculum pour les racines nouvellement développées (Tommerup, 1984). (Voire la Figure 7).

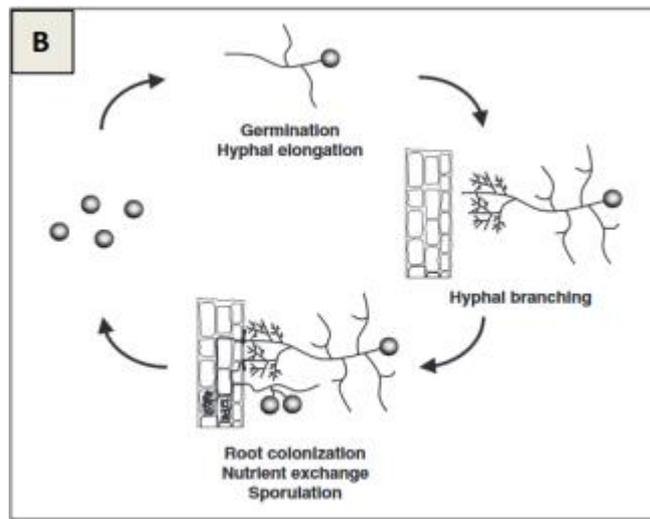


Figure7 : Cycle biologique des champignons mycorhiziens à arbuscules (modifié d'après Akiyama, 2007).

I .2.3.Processus de mycorhization

. Il existe deux modes de colonisation i) celle primaire qui dérive usuellement des spores existantes dans le sol qui développent des hyphes mycéliens, suivi d'une stimulation des tubes germinatifs au contact des racines de l'hôte et ii) et celle secondaire qui est due aux hyphes étalés le long et entre les racines, issus de la prolifération et la ramification des racines mycorhizées préexistante (Marks et al. 1973). (Voire la Figure 8)

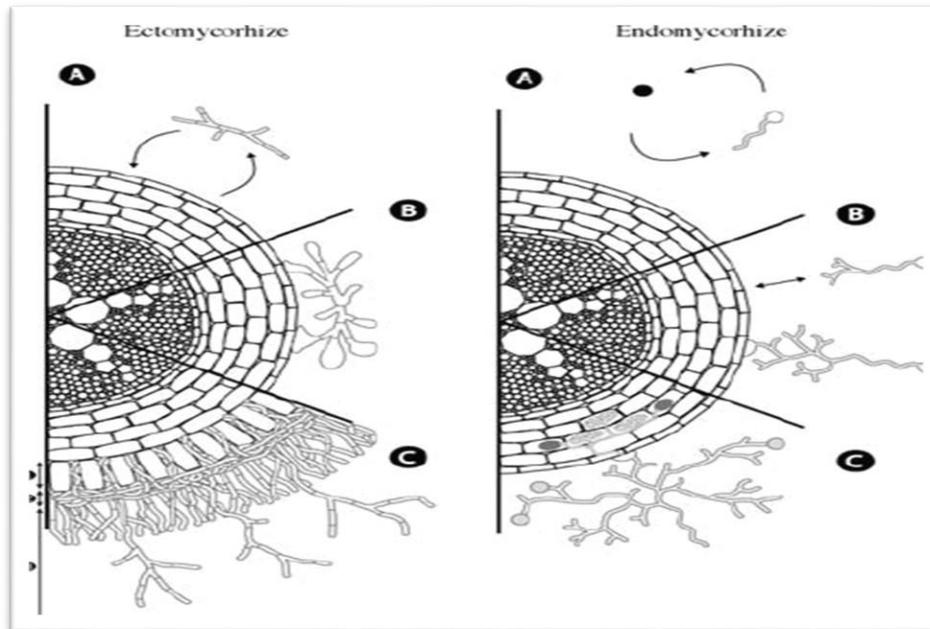


Figure8 : Processus de mise en place des symbioses mycorhiziennes (Péret, 2016).

A : Germination de la spore, C : colonisation primaire, B : colonisation secondaire

I.2.4.. Importance de la symbiose mycorhizienne

La symbiose permet d'accélérer l'innovation évolutive et favorise l'expansion et la diversification des espèces. Elle joue également un rôle majeur dans la richesse, la stabilité et la complexité des écosystèmes par ses effets régulateurs sur les populations et les communautés d'organismes qui lui sont directement, ou indirectement associées (**Gardes et al. 2003**).

➤ Absorption de l'eau et des éléments nutritifs

Le rôle majeur des mycorhizes est le prélèvement et le transport vers la plante des éléments nutritifs très peu mobiles dans le sol, principalement le phosphore (**Chen et al. 2008**). L'eau et les minéraux sont essentiellement absorbés au niveau des « bouts blancs » et des racines courtes mycorhizées ou non. Comme les ectomycorhizes sont réparties tout le long des racines longues et sont beaucoup plus nombreuses que les bouts Blancs (**Fraser et Bramley, 2004**). L'explication est naturellement que l'eau et les minéraux transitent par le champignon. Ceci explique déjà en partie pourquoi la symbiose mycorhizienne joue un rôle clé dans l'alimentation des arbres (spécifiquement les ectomycorhizes) (**Fraser et Bramley, 2004**).

La grande efficacité d'absorption de l'eau et des éléments nutritifs vient d'abord, de l'augmentation de la surface de contact entre le mycélium fongique et la solution du sol. Les hyphes extra-radiculaires minces des champignons pénètrent dans le sol sur une large région et peuvent l'exploiter plus efficacement que les racines des plantes (**Bothe et al. 1994**)

➤ Intérêt des mycorhizes dans la lutte biologique

En conditions naturelles, la très grande majorité des végétaux, y compris les plantes vivrières, vivent en association symbiotique avec des champignons mycorhiziens qui, non seulement, approvisionnent leurs hôtes en eau et en éléments minéraux, mais assurent une protection des racines contre les champignons pathogènes (**Read, 2011**).

Le manteau des spores mycorhiziennes agit comme une barrière mécanique contre les pathogènes qui tenteraient de pénétrer dans la racine. De plus, la partie active du manteau agit aussi comme une barrière physiologique en dégradant les toxines et les enzymes produites par les pathogènes pour dégrader les tissus des racines (**Harley et Smith, 1983**). Après la colonisation des racines par les champignons mycorhiziens, l'hôte peut produire des inhibiteurs contre les pathogènes (**Harley et Smith, 1983**).

➤ Agrégation des sols

Les mycorhizes sont connus par leur aptitude à sécréter une glycoprotéine nommée la glomaline. Les champignons Mycorhiziens peuvent en produire des quantités importantes et par la suite jouer un rôle majeur dans stabilité du sol. Cette substance a la même fonction que la colle qui rassemble les particules les plus fines entre elles pour former des agrégats. Ces derniers ont un rôle fondamental dans la fertilité des sols en retenant l'eau et les éléments minéraux et en favorisant l'aération (Fortin et al. 2008).

➤ Activité hormonale

La concentration des phytohormones peuvent varier dans la plante selon la présence ou non du champignon mycorhizien. La production hormonale du champignon affecte généralement le port de la plante en favorisant la croissance de la partie aérienne par rapport a la partie racinaire. En effet, Brea et azcon-aguilar (1982) ont noté que les champignons mycorhiziens produisent des substances comme l'auxine, la gibbérelline et la cytokinines qui stimulent la croissance des plantes. Les plantes mycorhizées, montrent aussi un accroissement de production de certaines enzymes comme, la peroxydase qui est l'enzyme courante, observée dans les tissus des plantes malades et blessées (Spanu et Boufante-Fasolo, 1998).

I.3. Aperçu sur le champignon du genre *Trichoderma*

I.3.1. L'origine du champignon du genre *trichoderma*

Le terme *Trichoderma* a été introduit dans la mycologie (Persoon, 1794 in Schuster and Schmoll, 2010). Il distingue des champignons microscopiques considérés durant 200 ans comme « Gastéromycètes ». Ces organismes cosmopolites appartiennent à un grand ensemble de champignons sans reproduction sexuée (Benkada, 2006). Selon Kullning- Gradinger et al. (2002) in Legrand et al. (2005), il s'agit d'un genre de fungiimperfecti regroupant des espèces qui sont les d'ascomycètes de la famille des Hypocreaceae (*Hypocrea* et genres voisins).

Pendant les trente années suivantes, des relevés effectués à travers le monde montrent qu'il s'agit d'un des genres les plus communément répandus à la fois dans le sol et le bois mort en décomposition. En effet, Rayner (1977) a montré que le groupe «*Trichoderma.spp*» «*Trichoderma spp*» est le groupe de champignons basidiomycètes le plus fréquemment isolé de souche de chêne et de hêtre âgées de 30 à 50 ans (Legrand et al. 2005).

I.3.2 .Taxonomie

A la lumière des travaux taxonomiques ultérieurs, il semble que les souches intéressantes par leurs propriétés antagonistes appartiennent surtout à l'espèce *T. harzianum* et secondairement à *T. hamatum*, *T. koningii*, *T.virens*, *T. polysporum* et *T. viride*. Les travaux de laboratoire des trois dernières décennies s'efforcent de préciser l'identité taxonomique des isolats utilisés.

Djafer (2011) a rapporté que les *Trichoderma* se présentent sous deux formes :

- La forme parfaite dont le genre est *Hypocrea* appartenant à la classe des Ascomycètes, l'ordre des Sphaérialia et la famille des Hypocréacées (**Bellahcene, 1990 ; Besnard, 1992 in Djafer 2011**).
- La forme imparfaite représentée par le genre *Trichoderma*, appartenant à la classe des Deuteromycètes, l'ordre des Hyphales (*Moniliales*) et la famille des Mucédinacées (*Moniliacées*) (**Bellahcene, 1990 in Djafer 2011**)

D'où leur position taxonomique actuelle sur les espèces de *Trichoderma spp* D'où se distingue en cinq sections suivantes (**voir figure 9**) (**Bissett, 1991**).

EmbranchementAmastigomicota et/ou Eumycètes
Sous embranchement.....Ascomycotina
Classe.....Sordariomycètes
Ordre.....Hypocreales
Famille.....Hypocraceae
GenreTrichoderma

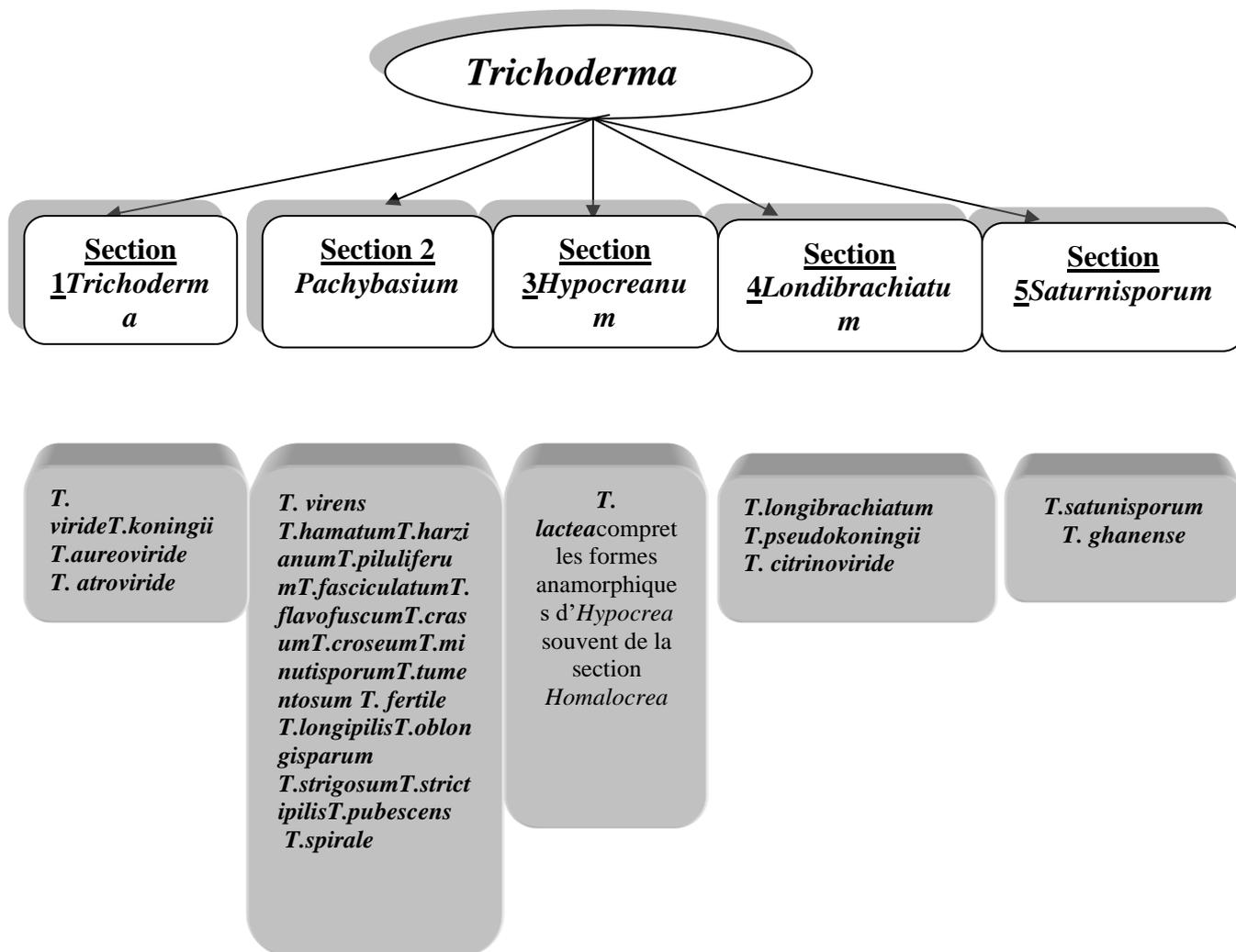


Figure 9 : Sections systématiques de *Trichoderma spp.* Et quelques agrégées de Rifai (1969).

I.3.3 Morphologie

L'aspect macroscopique des espèces de *Trichoderma* est apprécié à partir des cultures sur géloses nutritives appropriées, réparties en boîtes de Pétri. Les colonies fongiques peuvent être légèrement floconneuses ou bien compactées en touffes. Entre ces deux extrêmes, existent des aspects intermédiaires. Les colonies sont colorées en fonction des phialides.

Cinq jours après sa germination, la conidie donne naissance à un mycélium d'abord blanc et stérile en forme de cercle. Deux jours plus tard, une couleur verte est visible sur la partie aérienne du mycélium, correspondant à la conidiogénèse. D'autres cercles concentriques réguliers se forment par la suite, et entre le 16^{ième} et le 20^{ième} jour, un feutrage épais se superpose à la culture.

Au microscope optique, nous pouvons observer un mycélium composé d'hyphes jaunâtres, séptés, ramifiés et parois lisses. Les conidiophores ont une forme conique ou pyramidale. Très ramifiés, ils portent les phialides en forme de flasques ou de quilles. A leur tour, ces phialides portent des spores (phialidospores ou bien des conidies) (**Benkada, 2006**) (voir figure10).

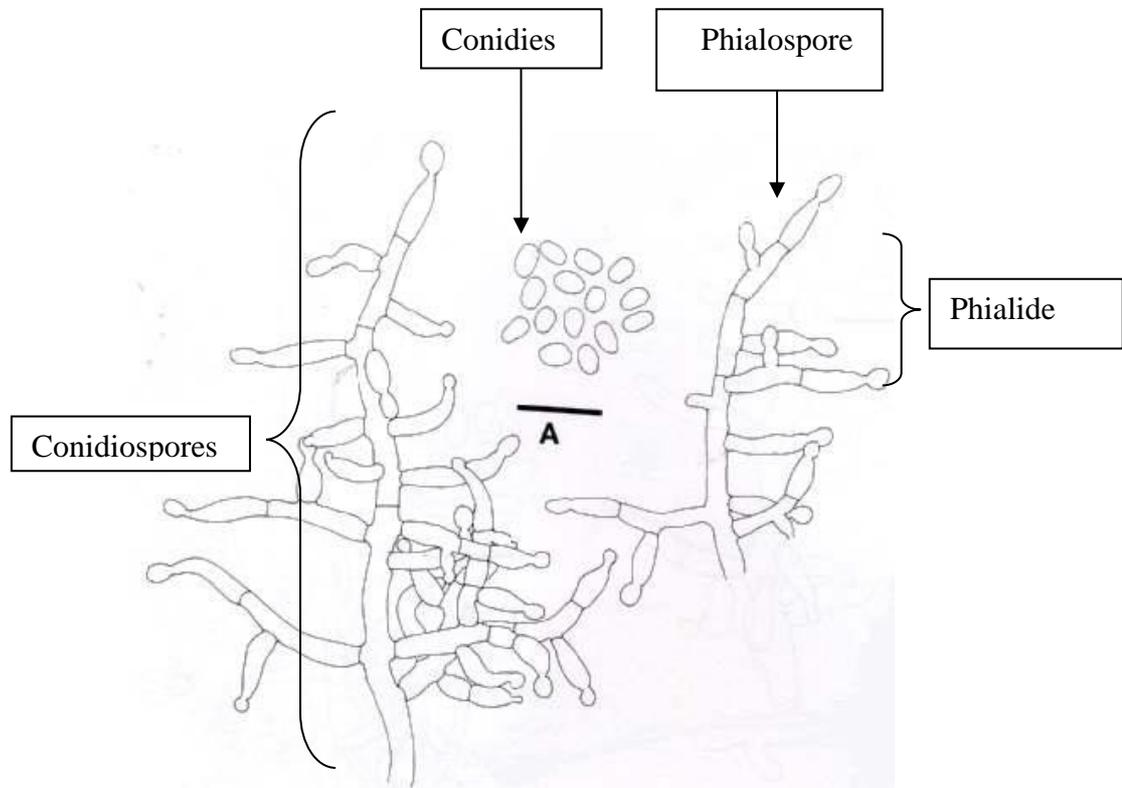


Figure 10 : Aspect morphologique d'un conidiophore de *Trichoderma longibrachiatum* (Samuels et al. 1994).

I.3.4 Ecologie

Grâce à sa grande capacité d'adaptation aux différentes conditions climatiques, le genre *Trichoderma* est très répandu dans la nature, aussi bien en milieu terrestre que marin (**Roquebert, 1996 ; Esposito et Silva, 1998**).

Dans la mer, les *Trichoderma* sont des marins facultatifs. D'après l'étude de (**Shaumann 1993**) sur la microfonge marine des profondeurs de la Mer du Nord et de l'Atlantique Nord, les *Trichoderma* ont été identifiées à tous les niveaux. Ils ont été également isolés à partir d'algues marines : Rhodophyta sp. et Phaeophyta sp. prélevés dans la côte Atlantique et Méditerranéenne ibérique, ainsi qu'à partir des moules au Canada (**Benkada, 2006**).

Selon (**Domsch et al. 1980 in Djafer 2011**), les *trichoderma* peuvent se développer à des températures allant de 15 à 35 °C mais, la température optimale de croissance est variable selon les espèces. Elle est de 28 °C à 30°C pour *T. harzianum* et de, 22°C à 25°C pour *T. viride* (**Danielson et Davey, 1973 in Djafer, 2011**).

Par ailleurs, Dommergues et Mangenot (**1970 in Djafer, 2011**) ont classé les *Trichoderma* parmi les microorganismes indifférents, se développant sur une large gamme de pH, comme *T. viride* qui se développe bien entre les pH 2 et 8. Selon (**Bellahcene 1990**), les sols acides favorisent leur développement.

I.3.5 Mécanismes d'action des *Trichoderma*

Trichoderma possède une batterie de mécanismes d'attaque potentiellement utilisables mais qui demeurent toutefois complexes. Il peut employer un ou plusieurs modes d'action en même temps pour maîtriser un agent pathogène. Le déploiement des modes d'action varie également selon les partenaires en présence et les conditions physico-chimiques du milieu (températures, humidité, etc...). *Trichoderma* est efficace lorsqu'on lui permet de s'installer avant l'arrivée des champignons pathogènes. Son action est donc préventive. Il permet, au niveau des racines, de créer un manchon protecteur autour de celles-ci et ainsi contrer l'entrée des agents pathogènes à l'intérieur des racines et même par pulvérisation sur les parties aériennes. Une fois installée, *Trichoderma* peut avoir un effet stimulant pour la plante en absence de champignons pathogènes (**Caron, 2002**). *Trichoderma* a la capacité d'attaquer les agents pathogènes via différents modes d'action. Il peut utiliser :

- L'antibiose qui résulte de la production de substances qui agissent comme des «antibiotiques ou des antifongiques » et qui inhibent la croissance de l'agent pathogène;
- La compétition qui se manifeste par l'aptitude de *Trichoderma* à utiliser les mêmes ressources du milieu (aires d'alimentation, sites de développement) que les champignons pathogènes mais, *Trichoderma* emploie ce mode d'action surtout pour occuper les lieux avant l'arrivée des agents indésirables;
- Le parasitisme qui se manifeste par la destruction de l'agent pathogène lorsque *Trichoderma* s'enroule autour de celui-ci soit en l'étranglant, en pénétrant à l'intérieur et/ou en lui « injectant » des substances (enzymes) qui le détruisent.

I.3.6 Utilisation de *Trichoderma*

Les *Trichoderma* sont des champignons bénéfiques qui colonisent naturellement les sols. S'ils arrivent à coloniser les racines des plants avant les mauvais champignons, ils protègent et donnent même un surplus de vigueur aux plantes. Mis dès la plantation, ils peuvent jouer un rôle prédominant dans la santé des plants, comme un baume d'échinacée contre les rhumes et les gripes en renforçant le système immunitaire (**Liette, 2002**).

Par ailleurs, la capacité des *Trichoderma* à contrôler des agents phytopathogènes du sol est connue depuis la fin des années 1920 (**Benkada, 2006**). Ils ont été utilisés comme agents de lutte biologique contre un large spectre de phytopathogènes. Leur antagonisme se manifeste généralement soit par une compétition, un mycoparasitisme ou par une antibiose. Ces mécanismes peuvent intervenir seuls, en association ou séquentiellement (**Le poivre, 2003**). Les travaux de (**Lynch et al. 1991**) ont montré que certaines souches de *Trichoderma* semblaient exercer une action stimulatrice sur la croissance de certaines plantes. Dans ce cadre,

(**Lynch et al. 1991**) ont étudié l'effet de *Trichoderma* sur la croissance de la laitue et son aptitude à lutter contre *Rhizoctonia solani* Kühn. Et *Phytiumultimum* Trow. Ils ont démontré l'effet de certaines souches de *Trichoderma* sur la croissance de la laitue et la germination des graines en l'absence de tout agent pathogène.

Cependant, ce n'est qu'à partir de 1990 que ce champignon a été commercialisé sous forme de biopesticides, ce qui indique la somme considérable de connaissance qu'il faut acquérir avant de permettre l'utilisation pratique d'une telle méthode de lutte. Les principales espèces utilisées en lutte biologique sont *T. harziaunum* et *T. viride* (**Benkada, 2006**).

Selon **Djafer (2011)**, en Algérie, une étude récente sur le biocontrôle du mildiou de la pomme de terre a confirmé l'effet biofongicide et biostimulant des isolats algériens de *Trichoderma spp.*

Chapitre II : MATERIEL ET METHODES

Notre expérimentation a été basée sur un essai de culture de deux espèces de menthe (*Mentha rotundifolia* et *Mentha pulegium*) sous l'effet de deux inoculants fongiques. Elle a été réalisée dans la serre pédagogique du Département de Biotechnologies de la Faculté SNV à l'université de Blida 1. Cependant, vu les circonstances particulières liées au COVID 19, les plants ont été transférés vers une serre de multiplication et vente de plants privée, située à proximité de notre première station d'étude. Se transfère à pour le but de conserver les plants dans les mêmes conditions expérimentales jusqu'à achever l'évaluation de l'ensemble des paramètres de notre étude.

Cet essai dont la durée est de 5 mois de novembre _février 2019 , a été subdivisé en deux étapes, la première étape qui a été réalisée dans la première station d'étude, a duré 4 mois depuis le début du mois de la même année , la deuxième étape qui a été réalisée dans la serre privée voisine est étalée sur une période allant de la première quinzaine du mois de mars 2020 jusqu'à la fin du mois de juin.

Ainsi Cette présente étude est basée sur l'effet d'utilisation d'un isolat endémique « T12 » de *Trichoderma sp.* et de deux types de sols mycorhizés prélevés séparément à partir de biotopes différents de deux espèces de menthe : *Mentha rotundifolia L.* et *Mentha pulegium L.* cultivées en pots et sous serre pendant 4 mois.

II.1. Matériel biologique

Notre étude a nécessité l'utilisation d'un matériel végétal et deux types d'inoculant fongiques suivants :

II.1.1. Matériels végétal

Le matériel végétal est constitué des échantillons de plantes cultivées de la *mentha rotundifolia L.* (menthe à feuilles rondes) L et la *menthe pulegium L.* (menthe pouliot) .

La mentha à feuilles rondes a été collectée de la région de Ouled yaich, wilaya de Blida alors que, la menthe pouliot a été collecté de tizi ousou.

Les échantillons du sol et les racines de chacune des deux espèces de mentha, ont été collectés au niveau des deux serres de SNV (**Figure 11**) et (**Figure 12**).



Figure 11 : Plantes cultivées de *Mentha rotundifolia* L (mentha à feuilles rondes). au niveau de la serre (1) de la faculté de Saad Dahlab Blida 1, département de biotechnologie.



Figure 12 : Plantes cultivées de *Mentha pulegium* L (menthe pouliot).au niveau de la serre (2) de la faculté de Saad Dahlab Blida 1, département de biotechnologies.

Le prélèvement des plantes pour les deux espèces de mentha est effectué en se basant sur la vigueur de chacune des plantes sélectionnées. Ces dernières ont été disposées séparément dans différents pots. Chaque pot comporte l'intégralité de la plante, de son système racinaire et de son propre sol.

Le prélèvement du sol a été effectué à une profondeur variant de 10 à 20 cm (calvente, et al., 2004). Les pots ont été transportés vers la serre pédagogique de la faculté SNV

II.1.2. Inoculants fongiques

Deux types d'inoculant fongiques ont été utilisés dans notre expérimentation :

- Un isolat de *Trichoderma spp* : qui provient de la collection fongique de la mycothèque au laboratoire de recherche.
- Deux types de sols mycorhizés en plus des plantes sélectionnées : appartenant respectivement de la serre (1) et la serre (2).

Ses Deux types d'inoculants ont été conservés dans la serre du Dr Moumene S. au, Laboratoire de Recherche des Plantes Médicinales et Aromatiques de notre département à l'USDB1.

II.1.2.1 L'isolat de *Trichoderma spp*.

Ce type d'inoculant est composé d'une souche de *Trichoderma spp*. Ayant fait l'objet de nombreux travaux de Recherches. C'est une culture purifiée, âgée de 15 jours et développée sur milieu PDA à 28°C (dans des boîtes de pétri) (Figure N° 13).

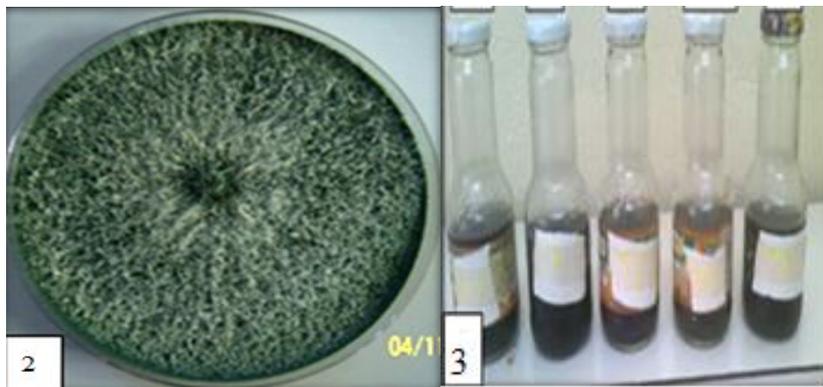


Figure.13: Culture de l'isolat de *Trichoderma* sp. et ses suspensions conidiennes (Moumene et al, 2005-2008).

(2) Aspect cultural de l'isolat T12, (3) Suspensions conidiennes de l'isolat T12

II.1.2.2. Les type de sols mycorhizés

Au niveau d'une serre, le second type d'inoculant, utilisées dans notre expérimentation est composé de deux types de sol mycorhizé (issus des plants de la *mentha rotundifolia L* et *mentha pulegium L*). La mycorhization a été confirmée modérée de 50 à 60% par Dr Moumene S au Laboratoire de Recherche des Plantes Médicinales et Aromatiques à l'USDB1.

Les plants ont été conservés dans leurs sols mycorhizés pour compléter leur cycle de vie et assurer une multiplication des propagules mycorhiziens au niveau dans la serre pédagogique du département de Biotechnologie.

II.2. Méthodologie utilisée

II.2.1. paramètres étudié

Notre expérimentation s'est déroulée selon les étapes suivantes :

II.2.1.1. Préparation du substrat de culture

Le substrat de notre essai de culture a été préparé à partir d'un mélange selon les doses de 2/3 de sol et 1/3 de tourbe commercialisée.

Le sol a été prélevé d'une jachère non cultivée ni traitée par les pesticides, située dans la station expérimentale au département de Biotechnologies. Il a été tamisé à travers un tamis de 3mm de diamètre pour éliminer les grosses particules.

Dans ce sens, le substrat stérilisé nécessite, donc, avant sa préparation une étape de stérilisation à la vapeur à 100°C. Ainsi, la stérilisation a été répétée trois fois pendant une heure de temps à 24h d'intervalle pour le sol et réalisée une fois pour la tourbe

II.2.1.2. Préparation de la suspension conidienne de *Trichoderma spp.*

La suspension conidienne a été préparée à partir de la culture de l'isolat de *Trichoderma spp.* « T12 », en raclant la surface de la culture immergée avec de l'eau distillée stérile. La suspension a été récupérée dans un tube à essais stérile et soumis à l'agitation au vortex pour une meilleure homogénéisation. Le taux de sporulation a été déterminé pour la suspension préparée à l'aide de la cellule de malassez sous microscope optique au grossissement (X400). Ainsi, la concentration a été ajustée à 3×10^7 spores/ ml par de l'eau distillée stérile.

II.3. Préparation des boutures

A partir de 22 pieds de *Mentha rotundifolia* et de 5 pieds de *Mentha pulegium*, des boutures de 5 à 6 cm de hauteur respectivement, des cultures ont été coupé à l'aide d'un sécateur et d'un ciseau à raison de 150 boutures pour chacune d'elles, avec une moyenne de 2 à 3 entre nœuds pour chaque bouture.

Chaque bouture a été plongée dans des Gobelets en plastique remplie d'eau (conditions d'aquaponie) afin de faciliter l'enracinement et d'éviter dessèchement des jeunes boutures extrêmement sensibles. L'eau contenue dans chaque gobelet a été renouvelée pratiquement tous les jours.

II.4. Installation de la culture selon les types de sol mycorhizés

Le processus de mycorhization a été considéré pour les deux types de sol mycorhizés collecté. Les pots ont été préparés pour les deux types du sol mycorhizé selon la technique de jardinière de mycorhization, à raison de deux doses de substrat stérile placé au fond du pot sur lequel une dose de sol mycorhizé sera versée. Cette dernière sera recouverte en surface par une dose de substrat stérile

50 boutures sont considérées pour chaque type de sol mycorhizé avec un substrat stérile (**Tableau N°2**).

Tableau (2):Modèle de Jardinière utilisée et modifié par rapport à celui décrit par Horst et al. (1998)

Nombre de matériaux composants le substrat de cultures mycorhizées de bas en haut	Hauteur en cm
Substrat stérile et /ou non stérile	10
Sol mycorhizé	10
Substrat stérile et /ou non stérile	20

Les pots en plastique de capacité de 500g et d'un diamètre de 10 cm et d'une hauteur de 10cm, ont été préparés en considérant les boutures avec et/ou sans racines, sans oublier les témoins pour chaque espèce de menthe étudiée :

- 50 boutures ayant développé des racines ont été repiquées dans des boîtes préparées selon la technique de jardinière de mycorhization (2 mars 2020).
- De la même manière, 50 autres boutures n'ayant pas développé des racines ont été repiquées dans des boîtes contenant uniquement le substrat stérilisé auquel a été incorporé 5 ml de la suspension fongique (T12) préalablement préparée (3mars 2020).
- En outre, 50 pots non inoculés ont été considérés comme témoins qui contiennent uniquement le substrat stérilisé.

Après le lancement des deux cultures (3 mars 2020) nous avons prévu de mesurer le développement des boutures une fois par semaine, mais étant données les conditions actuelle du pays, notre travail a été reporté jusqu' au 06/07/2020.

II.5. Description des plants et leur classement visuel

Au commencement de nos travaux pratique dès les premières poussées des plants pour les deux cultures de la mentha (*mentha rotundifolia L* et *mentha pulegium L*) nous avons décidé de classer les deux espèces de menthe en trois catégories :

- Catégorie 1 : fortement vigoureuse :
- Catégorie 2 : moyennement vigoureuse :
- Catégorie 3 : faiblement vigoureuse :

Ce classement a été effectué sur la base de nos constatations visuelle concernant le développement de nos plants (50 boutures pour chaque espèces cultivée par les

champignons mycorhizé et 50 boutures pour chaque espèces cultivée par le traitement fongique T12) en fonction des témoins.

II.6. Le taux de mortalité

Le taux de mortalité a été calculé suivant le nombre total des plantes morte pour Chacune une des deux cultures selon les traitements considérés.

II.7. Paramètres de croissance

Durant le repiquage, nous avons réalisé des boutures de même hauteur environs (5 cm) pour la menthe *rotundifolia L* et (6 cm) pour la *menthe pulegium L*, avec le même nombre de feuilles (2à3 feuilles) par plante.

a. Nombre de tiges

Le nombre de tige a été déterminé pour chaque pot des plantules pour les deux espèces de mentha (16 semaines après le repiquage des plantules).

b. La hauteur de plantes

La hauteur des plantes a été déterminée 16 semaines après le repiquage des plantules, ces mesures sont effectuées à l'aide d'une règle graduée en cm.

C. Nombre de feuilles

Le nombre de feuilles a été déterminé pour chaque plante, pour les deux espèces de mentha (16 semaines après le repiquage des plantules).

d. le poids frais de la partie aérienne et la partie souterraine

Le poids frais a été déterminé 16 semaines après le repiquage des plantules. Les plantes entières sont soigneusement prélevées, rincées à l'eau de robinet puis séchées rapidement à l'aide d'un papier absorbant. La partie aérienne est isolée de la partie souterraine et leur poids est mesuré en gr à l'aide d'une balance.

e. le poids sec de la partie aérien et la partie souterraines

Le poids sec a été déterminé après le séchage des deux parties (aérienne /souterraine) des plantules ayant subi des mesures au niveau de leur poids frais.

f. nombre des graines dans chaque plantule (en bouquet)

Le nombre des graines(en bouquets) a été déterminé pour chaque plante, pour les deux espèces de mentha (16 semaines après le repiquage des plantules).

II.8. Contrôle de la mycorhization chez les plantes de deux espèces de menthe cultivée

L'observation des champignons MA nécessite un protocole expérimental adéquat passant par plusieurs étapes décrites ci-dessous:

30 échantillons racinaires (fragments racinaires) de chacune des 3 catégories pour les deux cultures de menthe (**Touil widad.2017**).

Sont lavés et séparés délicatement afin de les débarrasser de toute particule de terre, puis découpés en fragments d'environ 1 cm de longueur ensuite, placés dans des tubes à essai. Les tubes sont rassemblés et rangés dans un portoir et traités comme suite :

Immerger les racines dans une solution d'hydroxyde de potassium (KOH à 10%), les mettre au bain marie à 100 C° pendant 30 min. (l'utilisation de potasse a pour effet de vider les cellules de leur contenu cytoplasmique). Rincer les racines à l'eau du robinet afin d'éliminer toute trace de potasse (KOH), puis les immerger dans le bleu de trypan chauffé à 90c° au bain marie pendant 10min, à la fin immerger les racines dans du glycérol ou de l'acide lactique puis, mettre les fragments racinaires sur une lame et les couvrir avec une lamelle pour l'observation au microscope (**Philips et Hayman, 1970**).



Figure 14: Système racinaire d'une plante de *Mentha rotundifolia* cultivée sous l'effet des CMA (Original, 2020)

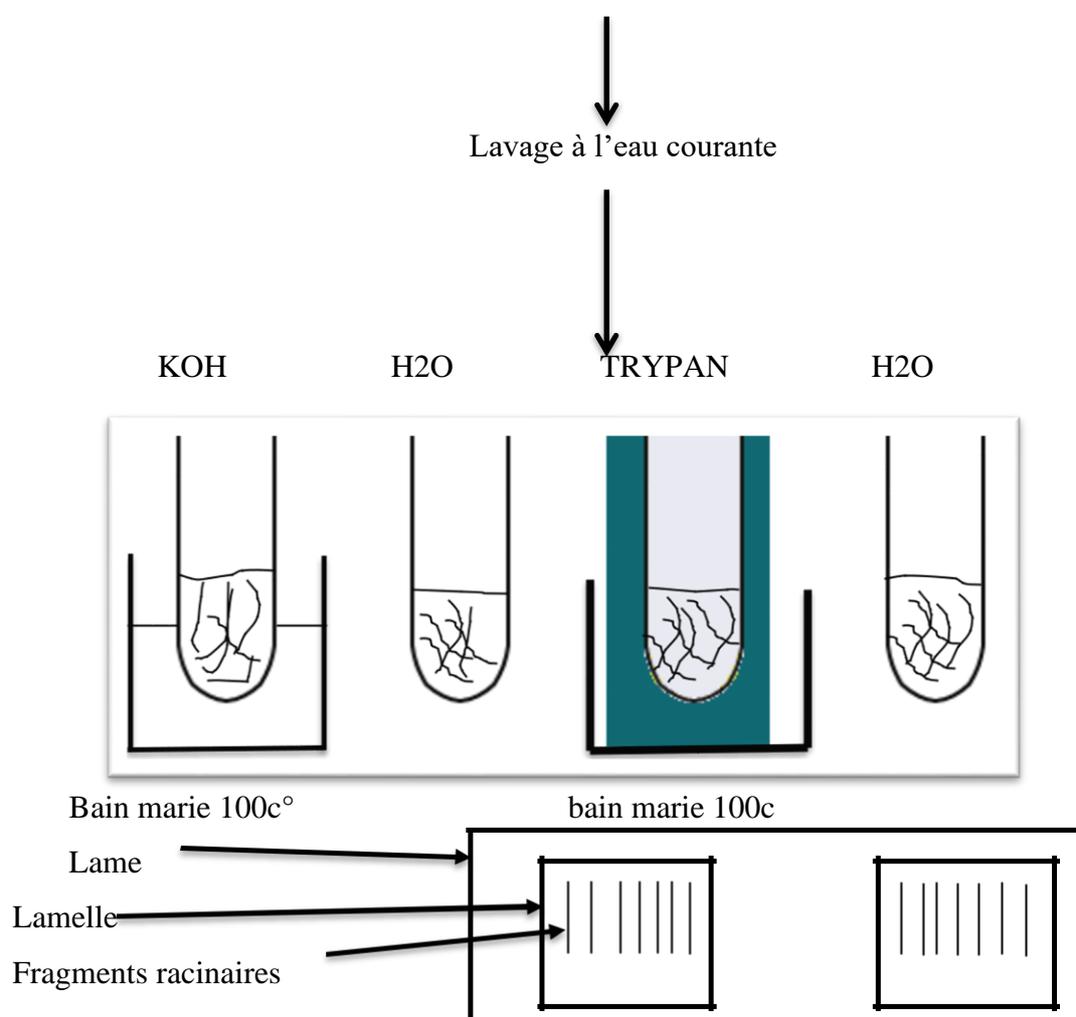


Figure 15: les différentes étapes de la mise en évidence et la préparation des lames. (Touil widad.2017).

II.8.1 .Estimation du taux de colonisation par les champignons MA

L'estimation de la colonisation par les champignons MA a été réalisée par la méthode de (Trouvelot et al. 1986). Après coloration 15 fragments de 1cm environ sont choisis, placés parallèlement les uns aux autres et légèrement écrasés entre lames et lamelles dans du glycérol, puis observés au microscope photonique aux grossissements : (X 125, X 500 et puis X1250) pour avoir plus de détails et de précision.

L'estimation du taux de colonisation endomycorhizienne est exprimée selon une grille d'évaluation. La grille est remplie selon 2 échelles :

- une échelle permettant d'évaluer l'intensité de colonisation du cortex racinaire et comportant 5 classes notées de 0 à 5, chaque classe (ou note) traduit le degré d'intensité de colonisation du cortex racinaire de chaque fragment racinaire observé (**tableaux 3**).

Classes	Valeurs des classes (%)
0	Absence de colonisation
1	Existence de traces de colonisation (moins de 1% de la surface est colonisée)
2	Moins de 10% de la surface est colonisée
3	De 11 à 50% de la surface est colonisée
4	De 51 à 90% de la surface est colonisée
5	Plus de 90% de la surface est colonisée

Tableaux3 : Echelle d'intensité de colonisation du cortex racinaire. (Trouvelot et al, 1986).

- La deuxième échelle permet l'évaluation de la présence des arbuscules et des vésicules. Elle est composée de 4 classes allant de A0 à A3 indiquant leur fréquence. (**figure 16**).

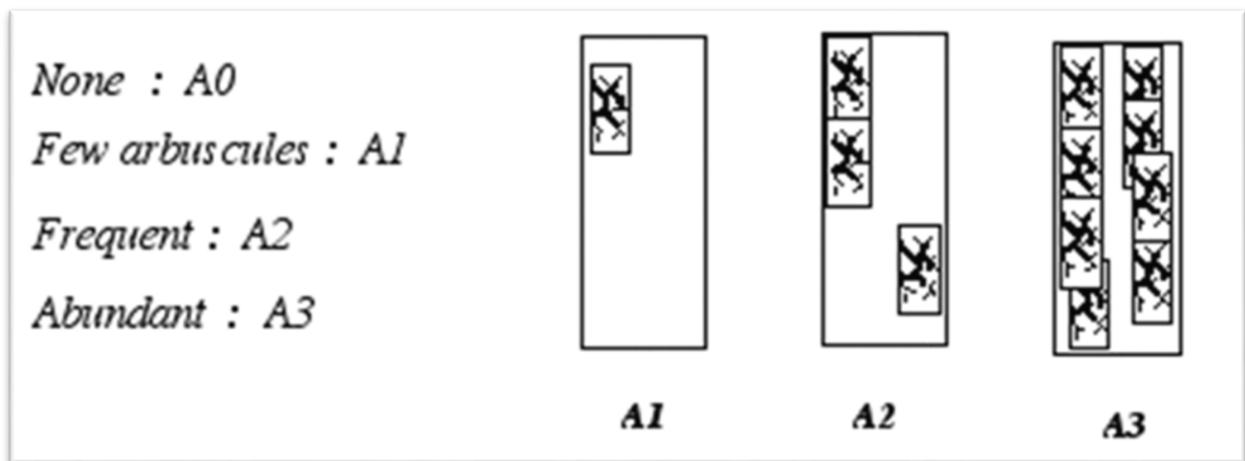


Figure 16 : Notation de l'abondance ou l'intensité des arbuscules, des vésicules ou des hyphes dans les fragments racinaires d'après Trouvelot et al. (1986).

La méthode de (Trouvelot **et al.1986**) permet de calculer cinq (5) paramètres de la colonisation mycorhizienne (% du nombre de fragments racinaire endomycorhizés), elle reflète l'importance de la colonisation du système racinaire.

F% : les fréquences d'endomycorhization.

M% : intensité de colonisation du cortex racinaire estime par rapport au système racinaire entier

m%: intensité de la colonisation, développée dans la partie endomycorhizee du système racinaire.

a% : Intensité arbusculaire de la partie mycorhizée.

A% : Intensité arbusculaire dans le système racinaire.

II.9. Analyse statistique

Pour vérifier l'effet biostimulant de chaque type d'inoculant utilisé dans notre expérimentation d'un part et comparer leur impact sur les différents paramètres d'étude d'autre part , Les analyses statistiques ont été réalisé pour chaque paramètre étudié au moyen du logiciel XLSTAT 2016, en déterminant la variance à l'aide de l'outil d'ANOVA en modèle GLM HSD (Honestly Significant Diffèrent) pour classer les extraits préparés et les isolats fongiques en groupes homogènes selon les taux d'inhibition enregistrés. Les différences ont été considérées significatives pour $P \leq 0,05$ (**Philippeau, 1989**).

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Résultats de Taux de mortalité des plantes cultivées

La figure ci-dessous (figure 19) résume les taux de mortalité et de survie des plantes cultivées des deux espèces de menthe selon les traitements considérés suite à l'impact de l'arrêt de l'arrosage.

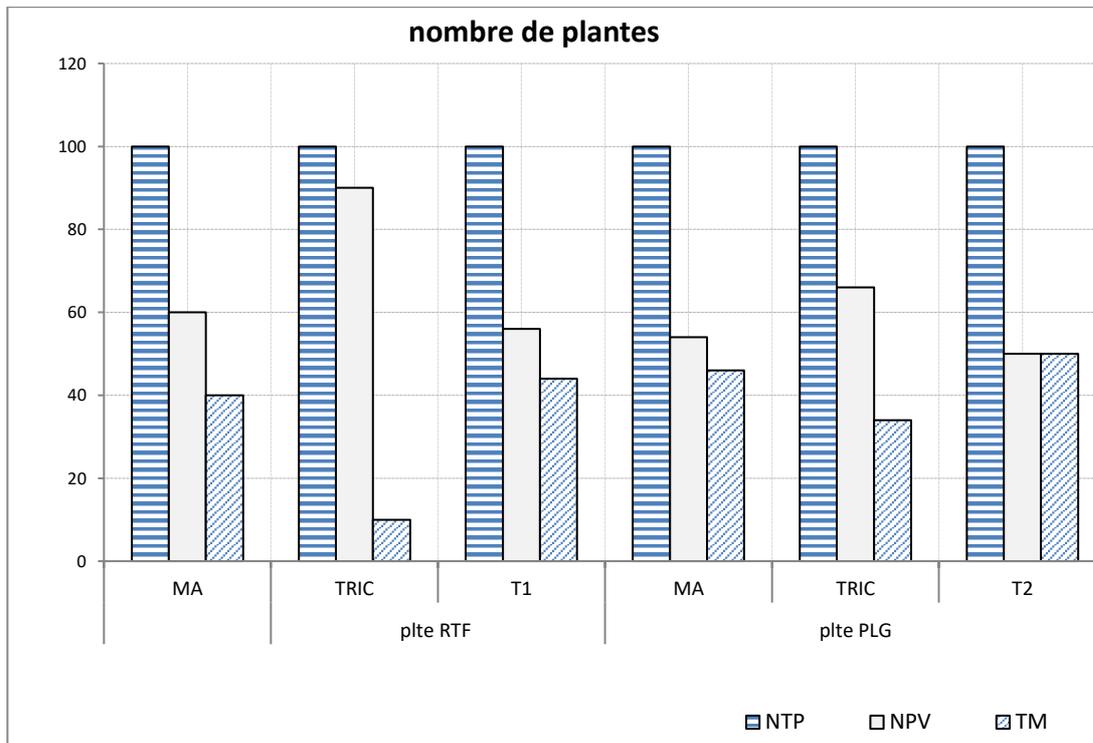


Figure 17 : Taux de mortalité des plantes cultivées de *Mentha rotundifolia*L. et *Mentha pulegium*L, selon les traitements considérés

N T P : nombre totale des plantes, NPV : nombre des plantes vivantes, TM : taux de mortalité
MA : Sol mycorhizé, T1 et T2: témoins, TRIC: isolat T12 de *Trichoderma* sp.

Les plantes cultivées de *Mentha rotundifolia* ont montrés des taux de mortalité moins importants, particulièrement sous l'effet de l'isolat T12 de *Trichoderma* sp. (10%) suivi de celui du substrat mycorhizé (40%) en comparaison avec les témoins (44%) (**Figure 17**).

Dans le même sens, les plantes cultivées de *Mentha pulegium* ont également montré des taux de mortalité moins importants selon l'effet de l'isolat T12 de *Trichoderma* sp. (34%) suivi de celui du substrat mycorhizé (46%), en comparaison avec ceux des témoins (50%). On en déduit, une survie d'un nombre plus important de plantes cultivées sous l'effet de *Trichoderma* sp. Suivi par un faible taux sous l'effet des mycorhizes (**Figure 17**).

Il est important de souligner que, les plantes cultivées ont montré une résistance au stress hydrique par une survie plus intéressante sous l'effet de *Trichoderma* sp. Pour les deux espèces de menthe mais, le substrat mycorhizé utilisé pour la menthe odorante a montré une meilleure survie des plantes que celui de la menthe pouliot (**Figure 17**).

III.2. Résultats de Paramètres de croissance

➤ Hauteur des plantes

La figure ci-dessous représente l'analyse de la variance en modèle GLM de la hauteur des plantes cultivées selon les traitements considérés (**Figure18**).

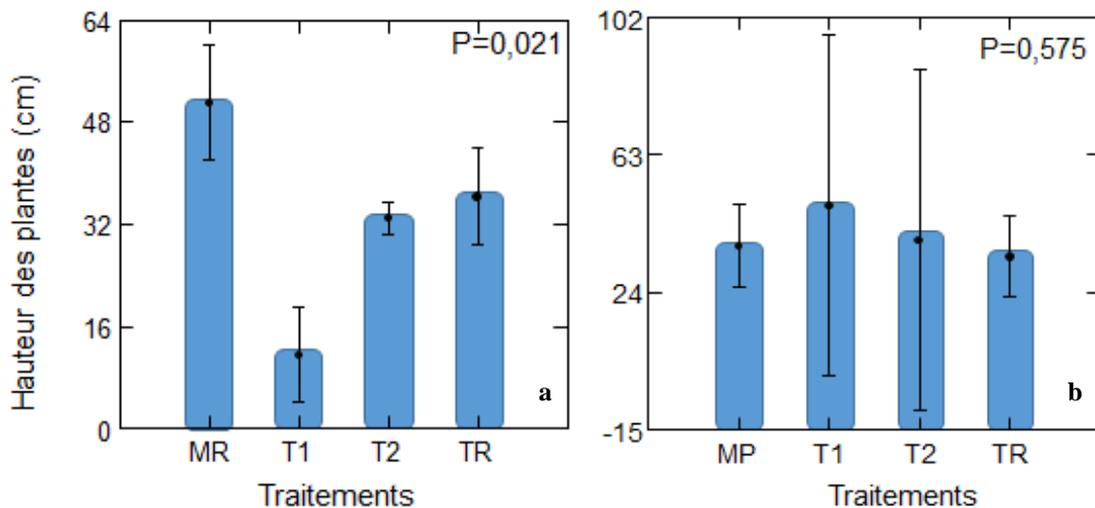


Figure18 : Analyse de la variance en modèle GLM de la hauteur des plantes cultivées de *Mentha rotundifolia* et /ou *Mentha pulegium* selon les traitements considérés

MP : Sol mycorhizé de *Mentha pulegium*, MR : Sol mycorhizé de *Mentha rotundifolia*, T1 et T2: témoins, TR: isolat T12 de *Trichoderma* sp.

L'analyse de la variance de la hauteur des plantes en modèle GLM a montré une différence significative ($P=0.021$, $P \leq 0,05$) (**Figure18a**) selon les traitements pour la culture de *Mentha rotundifolia* mais, une différence non significative ($P= 0,575$, $P > 0,05$) a été enregistrée selon les traitements pour celle de *Mentha pulegium* (**Figure18b**).

La figure ci-dessous représente la hauteur de chaque catégorie des plantes cultivées selon les traitements considérés (**Figure19**).

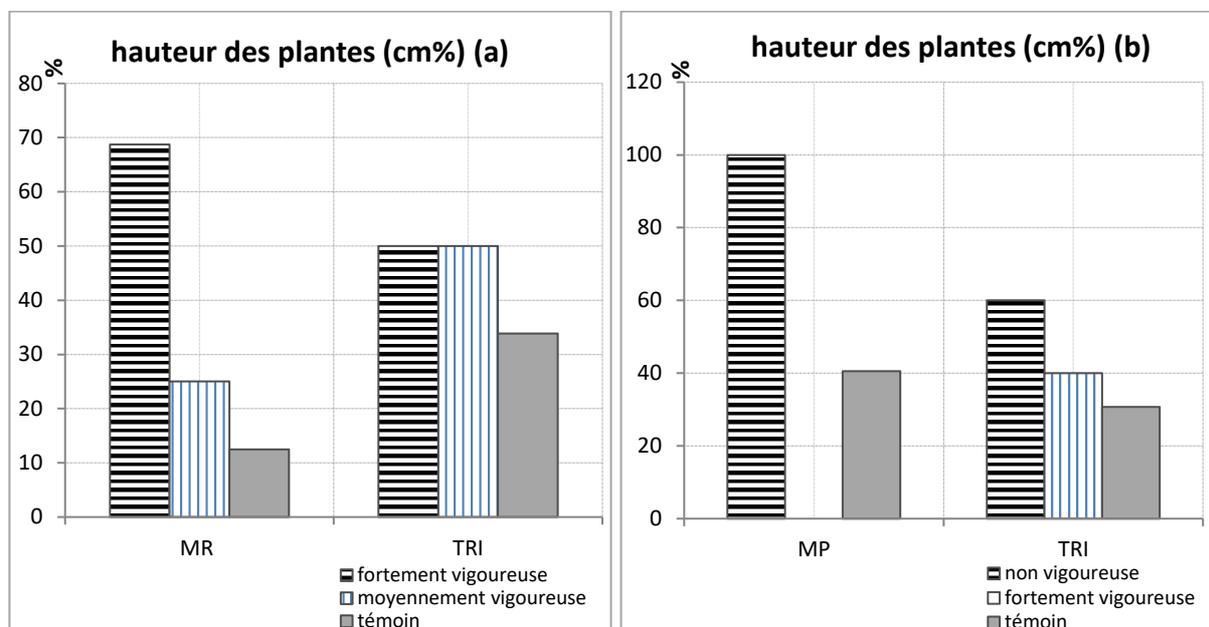


Figure 19 : hauteur de chaque catégorie des plantes cultivées de *Mentha rotundifolia* et /ou *Mentha pulegium* selon les traitements considérés

MP : Sol mycorhizé de *Mentha pulegium*, MR : Sol mycorhizé de *Mentha rotundifolia*, TRI: isolat T12 de *Trichoderma* sp, MRa : *Mentha rotundifolia*, MP b: *Mentha pulegium*

La hauteur des plantes de *Mentha rotundifolia* enregistrée 6 mois après le repiquage a montré, un pourcentage plus élevé de plantes fortement vigoureuses 68.75% (entre 45cm et 55cm) sous l'effet du substrat mycorhizé mais, un pourcentage plus faible 25% (entre 30cm et 40cm) a été enregistré pour les plantes moyennement vigoureuses. L'effet de l'isolat T12 de *Trichoderma* sp, a induit une augmentation de la hauteur des plantes avec un pourcentage de 50% (entre 42.5cm et 56cm) pour chacune de 2 catégories de plantes : fortement et moyennement vigoureuses (**Figure 19a**).

En parallèle, la hauteur des plantes de *Mentha pulegium* enregistrée 6 mois après le repiquage n'a pas montré d'augmentation significative selon l'effet du substrat mycorhizé et/ou selon l'effet de l'isolat « T12 » de *Trichoderma* sp. 40% de plantes fortement vigoureuses dont la hauteur est comprise entre 49cm et 77.5cm comparées, aux plantes non vigoureuses dont le taux est de 60% avec une hauteur comprise entre 9 cm et 43 cm (**Figure 19b**).

➤ Nombre de tiges

La figure ci- dessous représente l'analyse de la variance en modèle GLM du Nombre de ramifications de la tige par plante cultivée selon les traitements considérés (**Figure 20**).

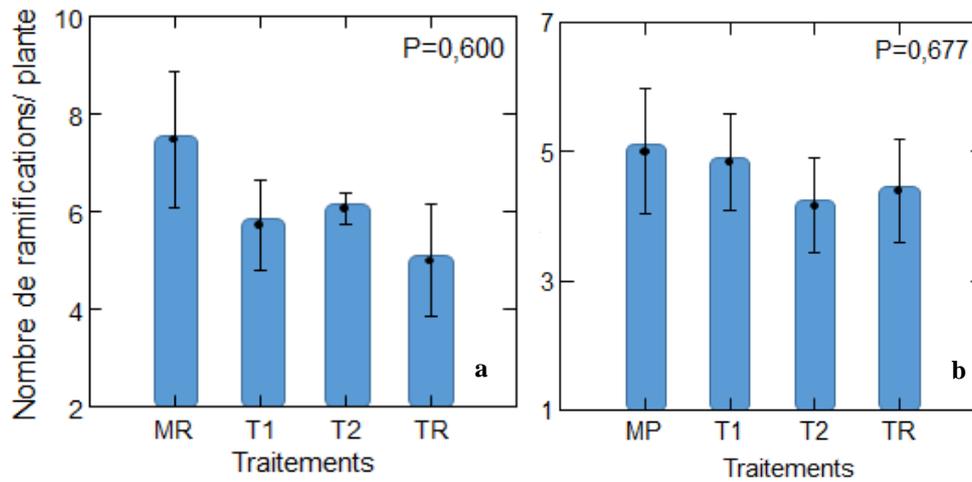


Figure20 : Analyse de la variance en modèle GLM du Nombre de ramifications de la tige par plante cultivée de *Mentha rotundifolia* et/ou *Mentha pulegium* selon les traitements considérés.

MP : Sol mycorhizé de *Mentha pulegium*, MR : Sol mycorhizé de *Mentha rotundifolia*, T1 et T2: témoins, TR: isolat T12 de *Trichoderma* sp.

L'analyse de la variance du nombre de ramifications des tiges par plante en modèle GLM a montré une différence non significative ($P= 0,600$ et, $P= 0,677$, $P >0,05$) selon les traitements respectivement pour les deux espèces : *Mentha rotundifolia* et *Mentha pulegium* (**Figure 20a et Figure 20b**).

La figure ci-dessous représente le nombre de ramifications de la tige pour chaque catégorie des plantes cultivées selon les traitements considérés (**Figure 21**).

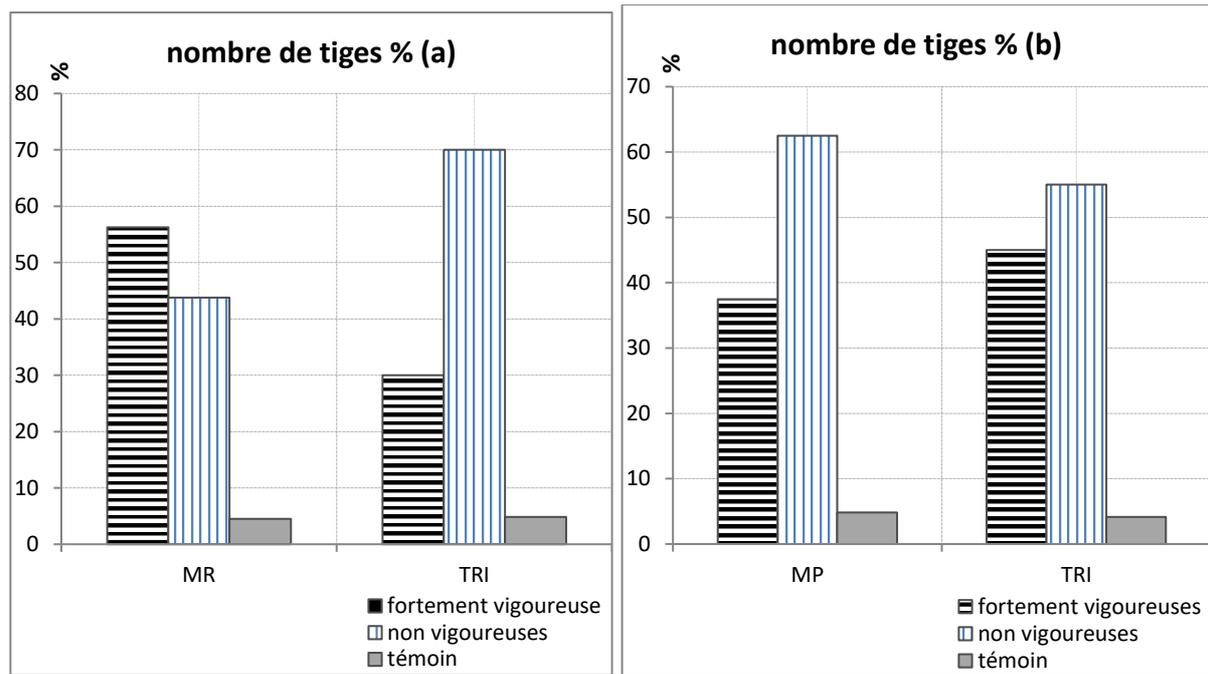


Figure 21 : Nombre de ramifications de la tige pour chaque catégorie des plantes cultivées de *Mentha rotundifolia* et /ou *Mentha pulegium* selon les traitements considérés

MP : Sol mycorhizé de *Mentha pulegium*, MR : Sol mycorhizé de *Mentha rotundifolia*,

TRI: isolat T12 de *Trichoderma sp.*, MRa : *Mentha rotundifolia*, MP b: *Mentha pulegium*

Le nombre de ramifications de la tige par plante de *Mentha rotundifolia* enregistré 6 mois après le repiquage a montré une augmentation significative sous l'effet du sol mycorhizé avec un taux de 56% de plantes fortement vigoureuses dont le nombre de tige par plante est compris entre 8 et 11 alors que, l'isolat T12 de *Trichoderma sp.* n'a induit aucune augmentation et le taux de plantes ayant montré la ramification des tiges est de 30% avec un nombre de ramification compris entre 7 et 8 chez les plantes fortement vigoureuses comparées aux plantes non vigoureuses dont le taux ayant montré des ramifications de la tige est de 70% avec un nombre de ramification compris entre 3 et 6 (**Figure 21a**).

Quant à l'effet de l'isolat T12 de *Trichoderma sp.*, 45% des plantes fortement vigoureuses ont montré des ramifications des tiges dont le nombre est compris entre 5 et 8 comparées à 55% de plantes non vigoureuses dont le nombre de ramifications des tiges compris entre 1 et 4 (**Figure 21b**).

➤ Nombre de feuilles

La figure ci- dessous représente le nombre de feuilles par plante cultivée selon les traitements considérés (**Figure 22**).

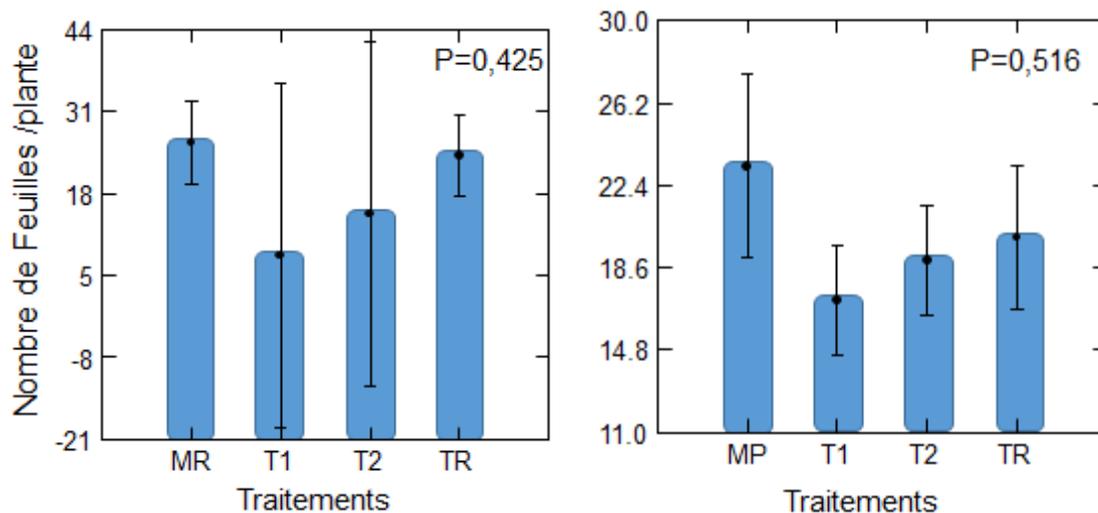


Figure22 : Analyse de la variance en modèle GLM du Nombre de feuilles par plante cultivée de *Mentha rotundifolia* et /ou *Mentha pulegium* selon les traitements considérés.

MP : Sol mycorhizé de *Mentha pulegium*, MR : Sol mycorhizé pour *Mentha rotundifolia*, T1 et T2: témoins, TR: isolat T12 de *Trichoderma sp.*

L'analyse de la variance du nombre de feuilles par plante en modèle GLM a montré une différence non significative ($P= 0,425$ et, $P= 0,516$, $P > 0,05$) selon les traitements respectivement pour les deux espèces cultivées: *Mentha rotundifolia* et *Mentha pulegium* (**Figure 22a et Figure 22b**).

La figure ci-dessous représente le nombre de feuilles pour chaque catégorie de plantes cultivées selon les traitements considérés (**Figure23**).

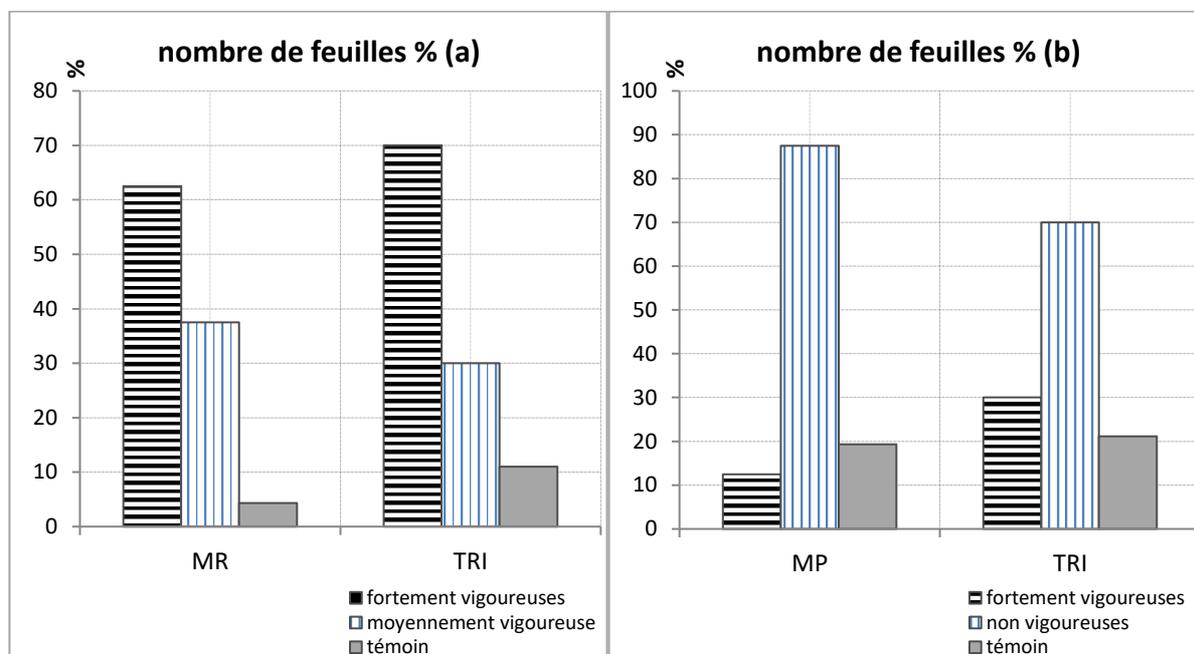


Figure 23: Nombre de feuilles par plante pour chaque catégorie des plantes cultivées de *Mentha rotundifolia* et/ou *Mentha pulegium* selon les traitements considérés.

MP : Sol mycorhizé de *Mentha pulegium*, MR : Sol mycorhizé de *Mentha rotundifolia*,

TRI: isolat T12 de *Trichoderma* sp, MRa : *Mentha rotundifolia*, MPb : *Mentha pulegium*

Le Nombre de feuilles de *Mentha rotundifolia* L.enregistré 6 mois après le repiquage a montré sous l'effet du substrat mycorhizé, 62.5% (entre 51-26feuilles) de plantes fortement vigoureuses et 37.5% (entre 25 et 22 feuilles) de plantes moyennement vigoureuses, des résultats similaires ont été observés chez l'isolat T12 de *Trichoderma* sp.Avec 70% (entre 28et 23 feuilles)de plantes fortement vigoureuses et 30% (22et 16 feuilles) de plantes moyennement vigoureuses (**Figure 23a**).

Le nombre de feuilles enregistré 6 mois après le repiquage chez *Mentha pulegium* n'a montré aucune augmentation significative selon l'effet de substrat mycorhizé.12.5%de plantes fortement vigoureuse sont enregistré 29 à 28 feuilles, comparées à 87% de plantes non vigoureuses dont le nombre de feuilles est compris entre 6 et 24. Il en est de même pour l'effet de *Trichoderma* dont, 30% de plantes fortement vigoureuses ont enregistré un nombre de feuilles compris entre 27 et 64 comparées à 70% de plants non vigoureuses avec un nombre de feuilles comparés entre 14 et 26 (**Figure 23b**).

➤ **Le poids frais et poids sec de la partie aérienne**

La figure ci- dessous représente l'analyse de la variance en modèle GLM du Poids frais et du poids sec de la partie aérienne par plante cultivée selon les traitements considérés (**Figure 24**).

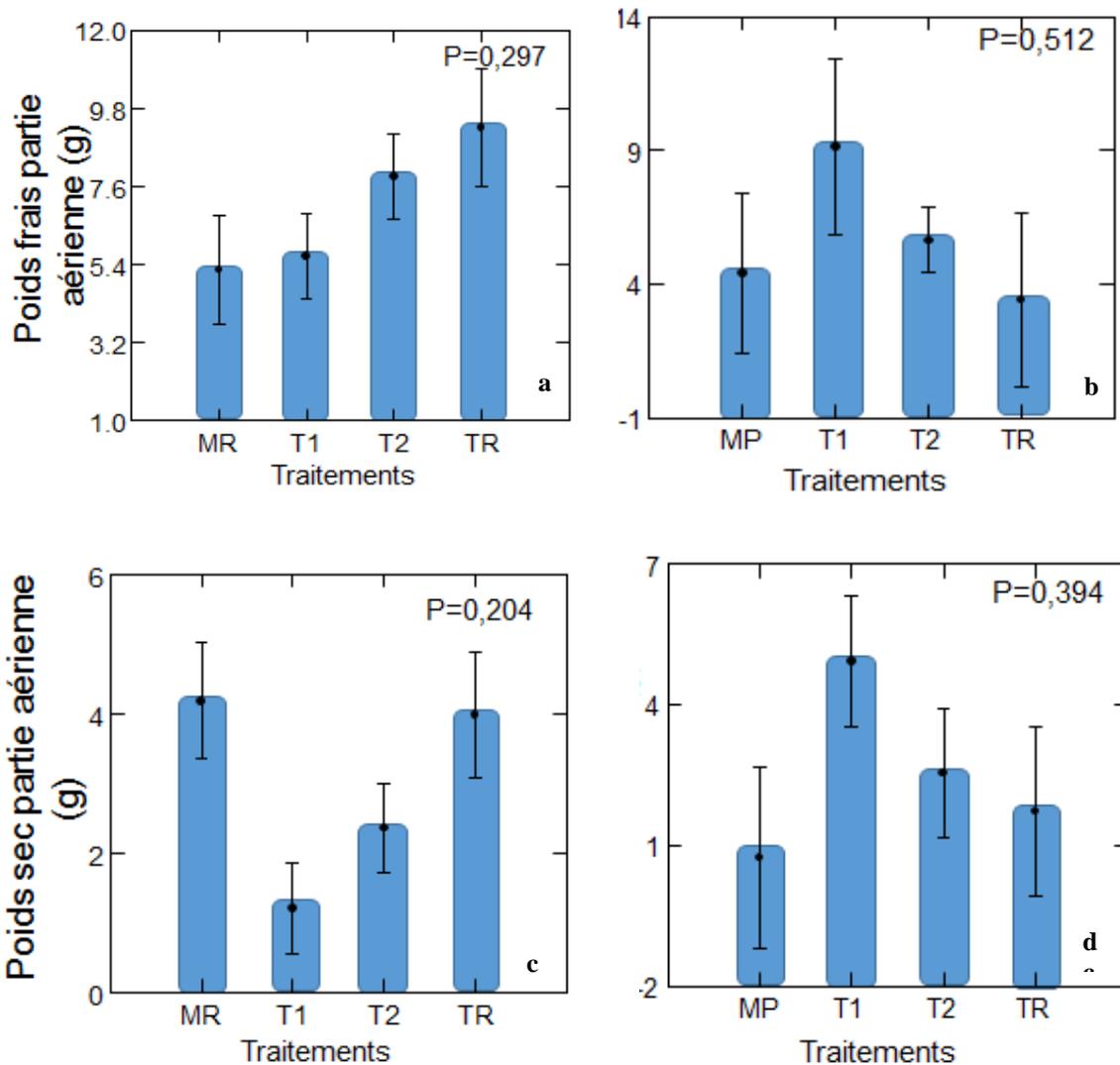


Figure 24 : Analyse de la variance en modèle GLM du Poids frais et du poids sec de la partie aérienne par plante cultivée de *Mentha rotundifolia* et /ou *Mentha pulegium* selon les traitements considérés.

MP : Sol mycorhizé de *Mentha pulegium*, MR : Sol mycorhizé de *Mentha rotundifolia*,
 TR: isolat T12 de *Trichoderma* sp, a&b : Poids frais, c&d : Poids sec

L'analyse de la variance du poids frais et du poids sec de la partie aérienne en modèle GLM a montré une différence non significative ($P= 0,295$ et, $P= 0,512$, $P > 0,05$) et ($P= 0,204$ et, $P= 0,394$, $P > 0,05$) respectivement selon les traitements et pour les deux espèces cultivées: *Mentha rotundifolia* (Figure 8a et Figure 8c) et *Mentha pulegium* (Figure 26b et Figure 26d). La figure ci- dessous représente le Poids frais et le poids sec de la partie aérienne par plante cultivée selon les traitements considérés (**Figure 25**).

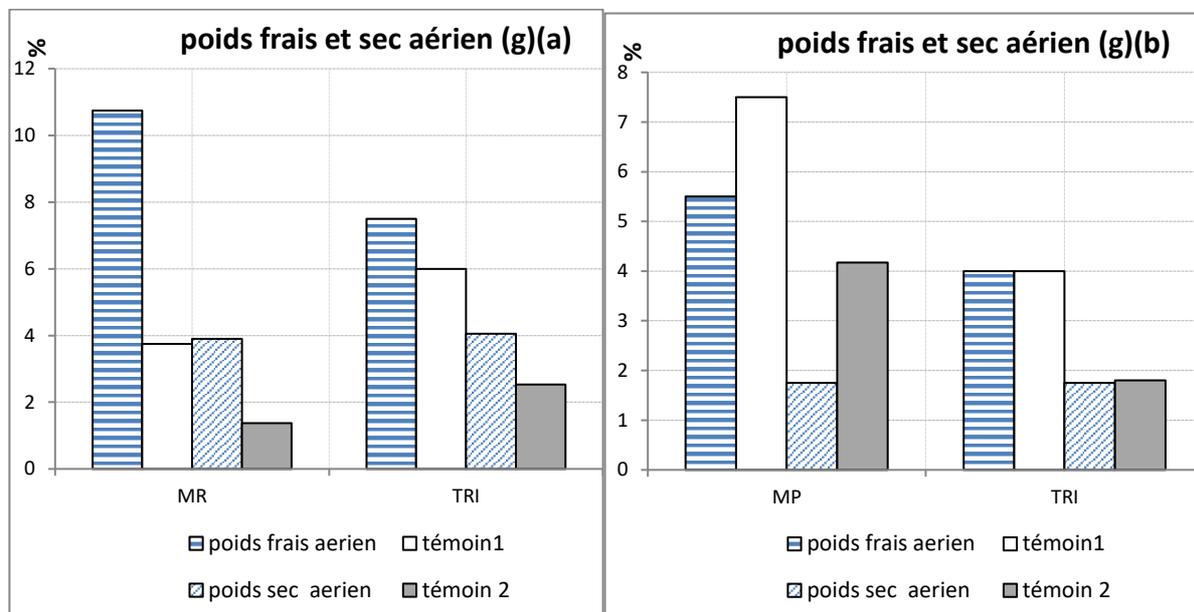


Figure 25 : Poids frais et poids sec de la partie aérienne par plante cultivée de *Mentha rotundifolia* et /ou *Mentha pulegium* selon les traitements considérés.

MP : Sol mycorhizé de *Mentha pulegium*, MR : Sol mycorhizé de *Mentha rotundifolia*,

TRI: isolat T12 de *Trichoderma* sp, MRa : *Mentha rotundifolia*, MP b: *Mentha pulegium*

Le poids frais et sec de la partie aérienne de *Mentha rotundifolia* enregistré 6 mois après le repiquage a montré une augmentation selon l'effet du sol mycorhizé (11g- 3.75g) comparé aux témoins (1.75g-3.5g). Il en est de même pour l'effet de l'isolat T12 de *Trichoderma* sp. Dont (7.75g- 4g) pour le poids frais et le poids sec respectivement comparés à ceux des témoins (6g- 2.5g) (**Figure 25a**). En revanche, le poids frais et le poids sec de la partie aérienne de *Mentha pulegium* n'a pas montré d'augmentation selon l'effet du substrat mycorhizé (5,5g-1.75g) ni selon l'effet de l'isolat T12 de *Trichoderma* sp (4g -1.75g) comparés aux témoins (7.5g /4.2g -4g/1.75g) respectivement selon le substrat mycorhizé et l'isolat T12 de *Trichoderma* sp. (**Figure 25b**).

➤ Le poids frais et sec de la partie racinaire

La figure ci- dessous représente l'analyse de la variance en modèle GLM du Poids frais et du poids sec de la partie racinaire (**Figure 26**).

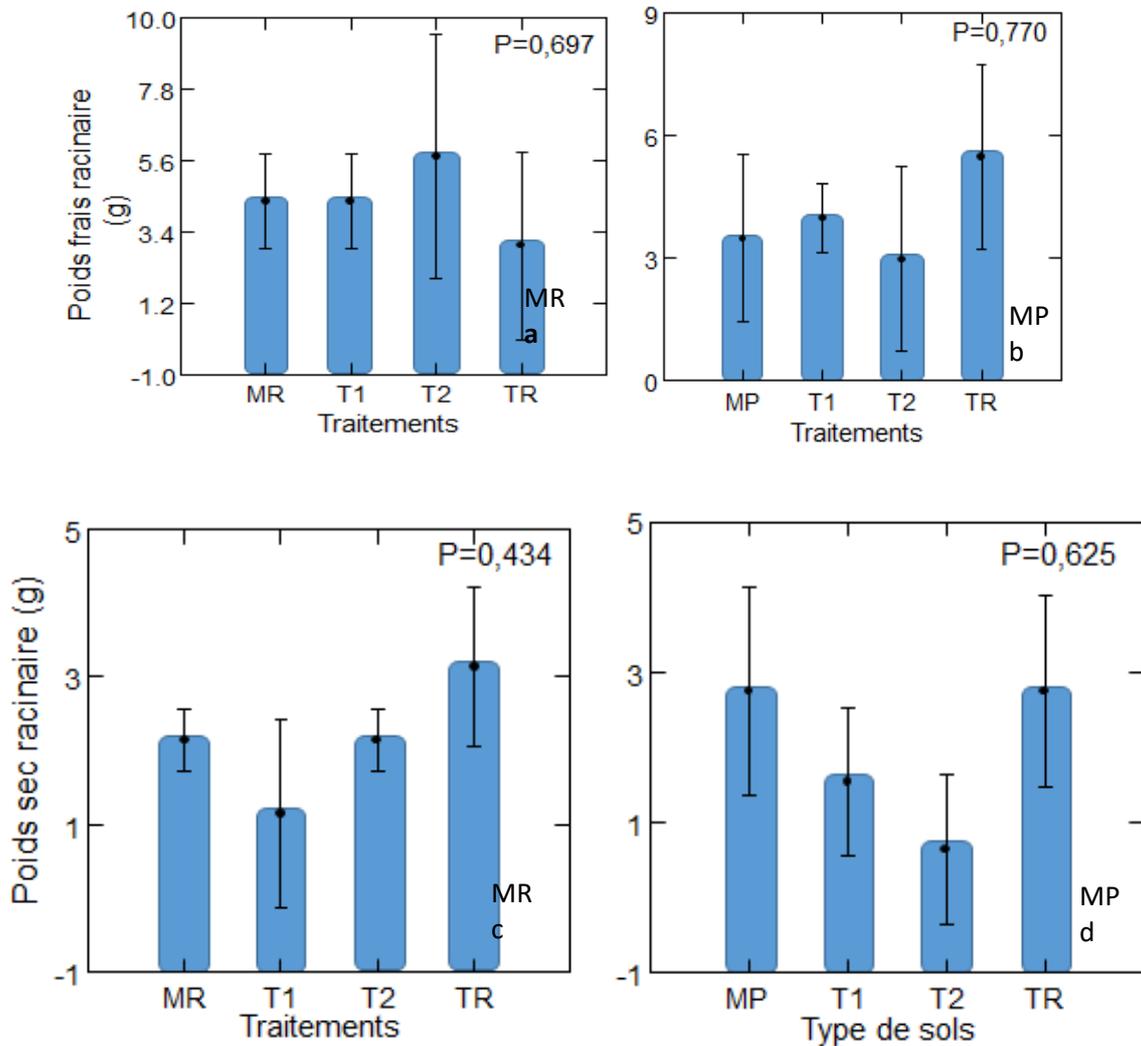


Figure26 : Analyse de la variance en modèle GLM du Poids frais et du poids sec racinaire par plante cultivée de *Mentha rotundifolia* et /ou *Mentha pulegium* selon les traitements considérés.

MP : Sol mycorhizé de *Mentha pulegium*, MR : Sol mycorhizé de *Mentha rotundifolia*, T1 et T2: témoins, TR: isolat T12 de *Trichoderma* sp., a&b : Poids frais, c&d : Poids secs

L'analyse de la variance du poids frais et du poids sec de la partie racinaire en modèle GLM a montré une différence non significative ($P= 0,697$ et, $P= 0,770$, $P >0,05$) et ($P= 0,434$ et, $P= 0,625$, $P >0,05$) respectivement selon les traitements et pour les deux espèces cultivées : *Mentha rotundifolia* (Figure26a, Figure26c) et *Mentha pulegium* (Figure26b, Figure26d).

La figure ci- dessous représente le poids frais et le poids sec de la partie racinaire par plante cultivée selon les traitements considérés(Figure27).

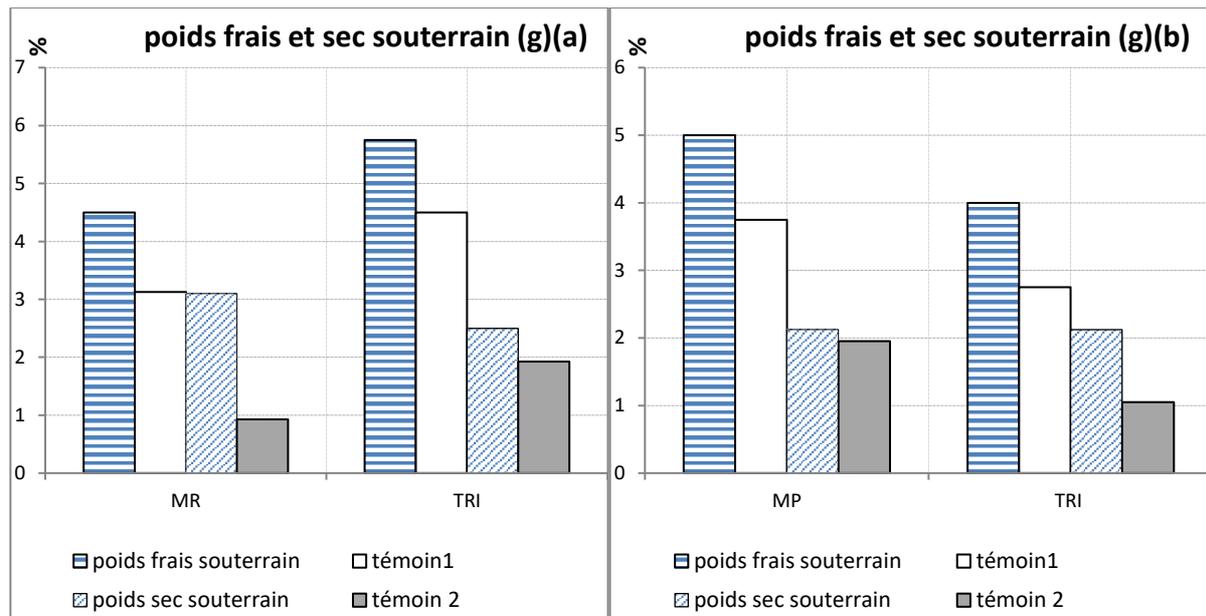


Figure 27: Le Poids frais et sec de la partie racinaire par plante cultivée de *Mentha rotundifolia* et /ou *Mentha pulegium* selon les traitements considérés.

MP : Sol mycorhizé de *Mentha pulegium*, MR : Sol mycorhizé de *Mentha rotundifolia*,
 TRI: isolat T12 de *Trichoderma sp.* MRa : *Mentha rotundifolia*, MP b: *Mentha pulegium*

Le Poids frais et sec de la partie racinaire de *Mentha rotundifolia* enregistré 6 mois après le repiquage a montré selon l'effet du sol mycorhizé une différence significative entre le poids frais racinaire et celui du témoin, et entre le poids sec racinaire et celui du témoin, respectivement à des valeurs de (4.5g-3g /3g-0.8g). Des résultats similaires ont été enregistrés sous l'effet de l'isolat T12 de *Trichoderma sp* où nous avons remarqué une différence significative entre le poids frais racinaire et le témoin, et entre le poids sec racinaire et le témoin respectivement à des valeurs de (5.75g-4.5g/2.2g-1.75g) (Figure 27a). Par ailleurs, le poids frais et le poids sec de la partie racinaire de *Mentha pulegium* enregistré 6 mois après le repiquage a montré une différence significative entre le poids frais racinaire et celui du témoin et entre le poids sec racinaire et le témoin selon l'effet du sol mycorhizé respectivement à des valeurs de (5g -3.75g/2.1g-1.75g)., des résultats similaires ont été enregistrés selon l'effet de l'isolat T12 de *Trichoderma sp.*,où, nous avons remarqué une différence significative entre le poids frais racinaire et les témoins et entre le poids sec racinaire et les témoins respectivement à des valeurs de (4g-2.75g/2.3g- 1g) (Figure 27b).

La figure ci- dessous représente la variabilité du poids racinaire des plantes cultivées selon les traitements considérés (4mois après le repiquage) (**Figure 28**).



Figure 28: Variabilité du système racinaire des plantes cultivées selon les traitements considérés (4mois après le repiquage).

a1: *M. rotundifolia* sous l'effet de l'isolat de *Trichoderma* sp., **a2:** *M. rotundifolia* sous effet du substrat mycorhizé, **b1 :** *M. pulegium* sous l'effet de l'isolat de *Trichoderma* sp., **b2:** *M. pulegium* sous l'effet du substrat mycorhizé, **c1 et d1:** témoins pour *M. rotundifolia* et *M. pulegium* sous l'effet de l'isolat de *Trichoderma* sp., **c2 et d2 :** témoin de *M. rotundifolia* et sous l'effet du sol mycorhizé.

➤ **Nombre de graines produites par bouquet**

La figure ci- dessous représente l'Analyse de la variance en modèle GLM du Nombre de graines produites par bouquet et par plante cultivée de *Mentha rotundifolia* et /ou *Mentha pulegium* selon les traitements considérés (**Figure 29**).

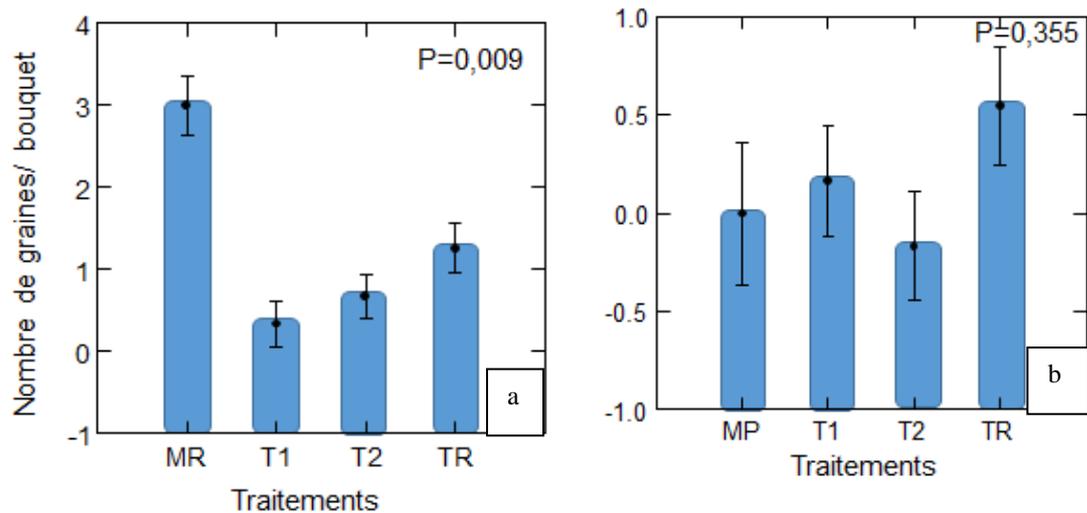


Figure 29: Analyse de la variance en modèle GLM du Nombre de graines produites par bouquet et par plante cultivée de *Mentha rotundifolia* et /ou *Mentha pulegium* selon les traitements considérés

MP : Sol mycorhizé de *Mentha pulegium*, MR : Sol mycorhizé de *Mentha rotundifolia*, T1 et T2: témoins, TR: isolat T12 de *Trichoderma* sp. a :*Mentha rotundifolia*, b :*Mentha pulegium*

L'analyse de la variance du nombre de graines produit par bouquet et par plante en modèle GLM a montré une différence très hautement significative ($P=0.009$, $P \leq 0,05$) selon les traitements pour la culture de *Mentha rotundifolia* (**Figure 29a**) mais, une différence non significative ($P= 0,355$, $P > 0,05$) a été enregistrée selon les traitements pour celle de *Mentha pulegium* (**Figure 29b**).

La figure ci-dessous représente le Nombre de graines produites par bouquet pour chaque catégorie des plantes cultivées selon les traitements considérés (Figure30).

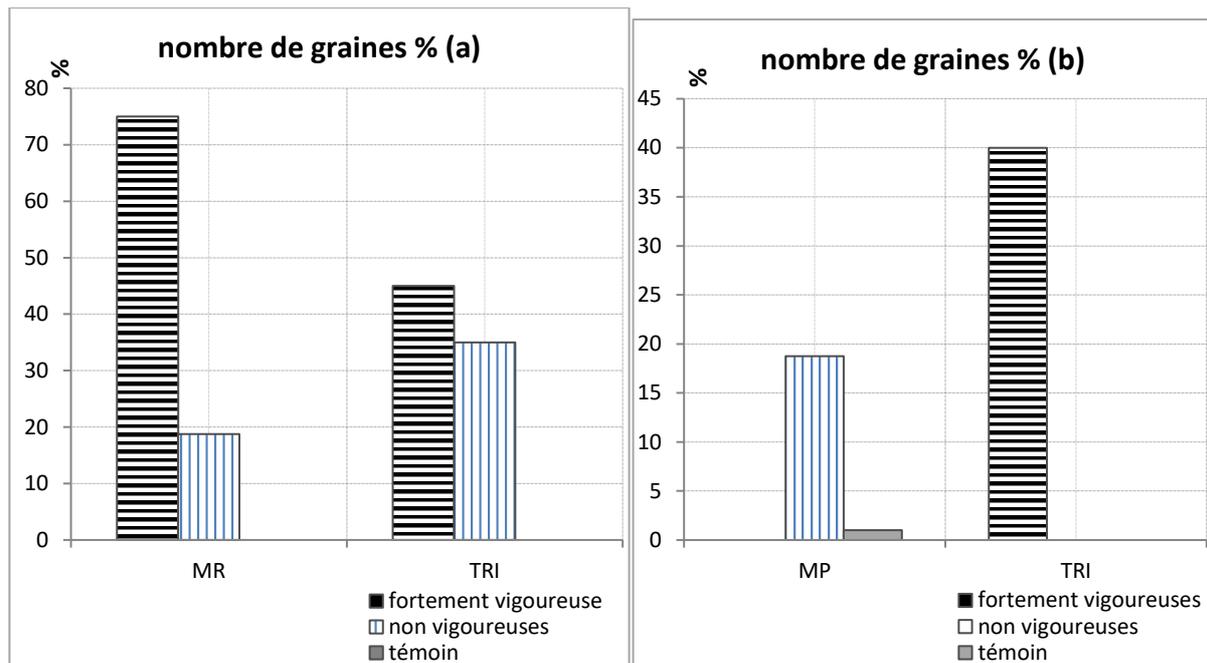


Figure 30 : Nombre de graines produites par bouquet pour chaque catégorie des plantes cultivées de *Mentha rotundifolia* et /ou *Mentha pulegium* selon les traitements considérés.

MP : Sol mycorhizé de *Mentha pulegium*, MR : Sol mycorhizé de *Mentha rotundifolia*, TRI: isolat T12 de *Trichoderma* sp, MRa : *Mentha rotundifolia*, MP b: *Mentha pulegium*

Le Nombre de graines produites par bouquet de *Mentha rotundifolia* a été enregistré, 6 mois après le repiquage et a montré selon le substrat mycorhizé un pourcentage de production très élevé pour les plantes fortement vigoureuses avec une estimation de 75% (entre 3 et 4 bouquets de graines) et un très faible pourcentage pour les plantes qui n'étaient pas vigoureuses avec une estimation de 18.75% (entre 1 et 2 bouquets de graines), il en est de même pour l'isolat T12 de *Trichoderma* sp., dont le nombre de graines produites a montré une légère différenciation entre les plantes fortement vigoureuses et non vigoureuses dont, les taux de production enregistrés étaient de 45% (entre 2 et 3 bouquets de graines) et 35% (7 plantes avec 1 bouquet de graines) respectivement (Figure30 a).

Le nombre de graines produites par bouquet pour *Mentha pulegium* L. enregistré 6 mois après le repiquage n'a montré aucune augmentation significative selon l'effet de substrat mycorhizé, un taux de 18.75% (3 plantes avec 1 bouquet de graines) a été enregistré sur les plantes non vigoureuses. Contrairement, l'isolat T12 de *Trichoderma* sp qui a montré un pourcentage plus élevé pour les plantes fortement vigoureuses avec une estimation de 40% (8 plantes avec 1 bouquet de graines) (Figure 30b).

III.3. Résultats de Classement des plantes cultivées des deux espèces de menthe selon la vigueur visuelle

- Substrat mycorhizé

- *Mentha rotundifolia* L.

La figure ci- dessous représente la variabilité morphologique des plantes cultivées de *Mentha rotundifolia* L. Sous l'effet du substrat mycorhizien (Figure 31).



Figure 31: Variabilité morphologique des plantes cultivées de *Mentha rotundifolia* L. sous l'effet du substrat mycorhizien.

a: Morphologie des plantules lors du repiquage (3mars 2020) / **b** : aspect cultural des plantes cultivées 5 mois après le repiquage (6 juillet2020), **c1**:Plantes fortement vigoureuses, **c2** : Plantes moyennement vigoureuses, **c3** : Plantes faiblement vigoureuses et, **c4** : Plantes témoins

Une différence morphologique a été décelée entre les plantes (fortement, moyennement, faiblement vigoureuse) et le témoin.

Pour les plantes fortement et moyennement vigoureuses, on a observé un développement significatif aux niveaux des tiges (allongées), des feuilles (nombreuses de couleur verte, d'apparence fraîche), des racines (denses, épaisses et longues) et des bouquets de graines (nombreux).

Au contraire des plantes faiblement vigoureuses, ou le développement été très faible aux niveaux des tiges, des feuilles et des racines avec une absence signalée au niveau des bouquets de graines.

Quant aux témoins, les tiges se présenter selon un aspect très abimées avec des feuilles desséchées de couleur sombre, et des racines assez courtes et peu développées.

➤ *Mentha pulegium*

La figure ci- dessous représente la variabilité morphologique des plantes cultivées de *Mentha pulegium* sous l'effet du substrat mycorhizien (**Figure 32**).

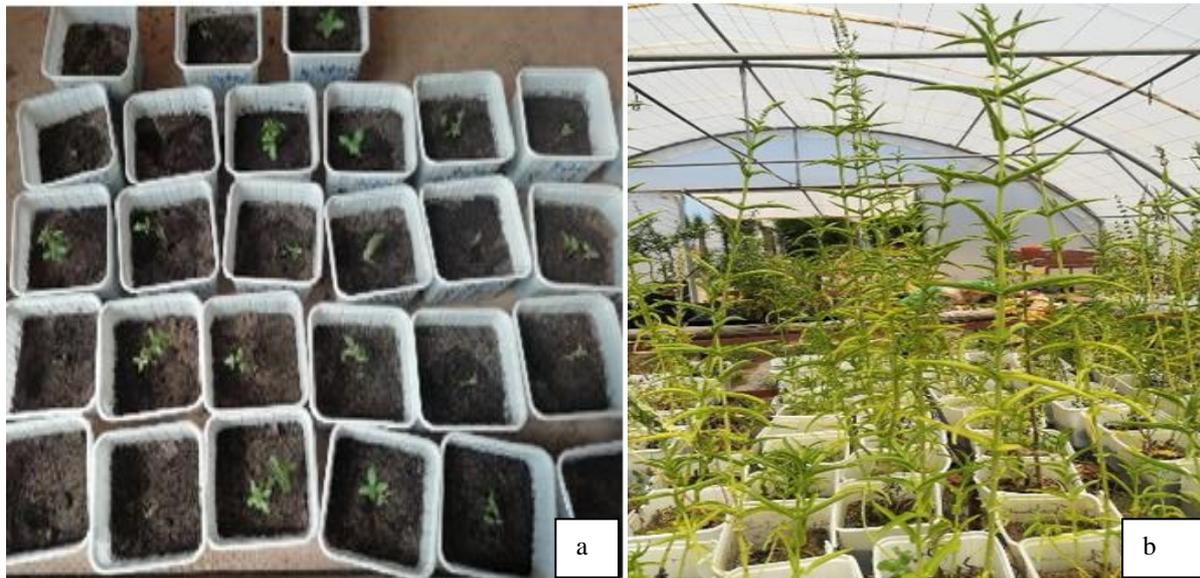




Figure 32 : Variabilité morphologique des plantes cultivées de *Mentha pulegium* sous l'effet du substrat mycorrhizien.

a: lors du repiquage (3mars 2020), **b** : 5mois après le repiquage (6 juillet2020).

c1 : Plantes fortement vigoureuses, **c2** : Plantes moyennement vigoureuses, **c3** : Plantes faiblement vigoureuses, **c4** : Plantes témoins.

Une différence morphologique a été notée entre les plantes (fortement, moyennement faiblement vigoureuses) et les témoins.

Les plantes fortement vigoureuses ont montré un développement important aux niveaux des tiges (allongées), des feuilles (nombreuses, de grande taille et d'une couleur verte présentant un aspect frais), des racines (épaisses, denses et allongées) et des bouquets de graines (assez nombreux).

Les plantes moyennement et faiblement vigoureuses ont présenté un développement très faible au niveau des tiges (très courtes), des feuilles (petites avec un aspect déshydraté) et des racines (très courtes et fines).

Quant aux témoins, les tiges ont été (courtes, abimées avec des feuilles très fripées) et les racines ont été (très fines, sèches et peu développées).

- **Effet de l'isolat de *Trichoderma* sp.**

- ***Mentha rotundifolia***

La figure ci-dessous représente la variabilité morphologique des plantes cultivées de *Mentha rotundifolia* L. sous l'effet de l'isolat de *Trichoderma* sp. (**Figure 33**).



Figure 33 : Variabilité morphologique des plantes cultivées de *Mentha rotundifolia* sous l'effet de l'isolat de *Trichoderma* sp.

a : Morphologie des plantules lors du repiquage (3mars 2020), **b** : morphologie des plantes 5mois après le repiquage (6 juillet2020), **c1** : Plantes fortement vigoureuses, **c2** : Plantes moyennement vigoureuses, **c3** : Plantes faiblement vigoureuses, **c4** : Plantes témoins.

Une différence morphologique a été observée entre les plantes (fortement, moyennement faiblement vigoureuses) et les témoins.

Les plantes fortement vigoureuses ont eu un développement remarquable, qui a affecté les tiges (longues), les feuilles (d'un nombre important, de taille assez développée et d'une couleur verte).et les racines (épaisses et longues).

Les plantes faiblement et moyennement vigoureuses sont caractérisées par un développement très faible au niveau des tiges, feuilles et racines (des tiges très courtes, des feuilles très petites avec un aspect déshydraté et des racines abimées et courtes).

Quant aux témoins, les tiges étaient assez courtes et abimées présentant des feuilles d'un aspect fripées et des racines très fines, sèches et courtes.

➤ ***Mentha pulegium* L.**

La figure ci- dessous représente la variabilité morphologique des plantes cultivées de la *Mentha pulegium* sous l'effet de l'isolat de *Trichoderma* sp. (Figure 34).



Figure 34 : Variabilité morphologique des plantes cultivées de *Mentha pulegium* sous l'effet de l'isolat de *Trichoderma* sp.

a:Morphologie des plantuleslors du repiquage (3mars 2020), **b** : morphologie des plantes 5mois après le repiquage (6 juillet 2020), **c1**: Plantes fortement vigoureuses, **c2** : Plantes moyennement vigoureuses, **c3** : Plantes faiblement vigoureuses, **c4** : Plantes témoins.

Une différence morphologique a affecté les plantes d'où les caractéristiques de fortement, moyennement et faiblement vigoureuses) et les témoins.

Les plantes fortement, moyennement et faiblement vigoureuses ont montré dans un premier temps un développement fort, qui se reflète sur les tiges (longues) et les racines (épaisses et longues). Et dans un second temps, ont montré un développement faible qui se reflète sur le nombre de feuilles (ou presque la totalité des plantes été indemne de feuilles)

Les témoins présentés des tiges assez courtes et abimées, avec des feuilles très fripées de petite taille et des racines très fines d'un aspect sec et court.

Ce qui nous a incités à classer l'ensemble des plantes des deux cultures en quatre catégories selon le substrat de culture comme suit:

- Catégorie 1 : plantes fortement vigoureuses.
- Catégorie 2 : plantes moyennement vigoureuses.
- Catégorie 3 : plantes faiblement vigoureuses.
- Catégorie 4 : Plantes témoins.

Ce classement a été considéré le long de la lecture des résultats, dans le but de comparer l'évolution des plantes des deux cultures sur le substrat mycorhizé et sur l'isolat de *Trichoderma* aux plants de la catégorie 4 et estimer leur taux de mycorhization.

III .4.Résultats de Contrôle de l'aspect morphologique de la culture des deux espèces de menthe

Vu le confinement dû à la pandémie du COVID 19, la culture a été abandonnée sans irrigation jusqu'à un mois. Les plantes cultivées des deux espèces de menthe ont été affrontées à des conditions de stress hydrique, qui se résume beaucoup plus par le stress hydrique.

Durant tout le cycle de lecture des deux cultures aucune infestation d'insectes n'a eu lieu et aucune maladie n'a été observée sur les catégories de plantes (1) (2) et (3).

En tenant compte des conditions de stress citées au part avant, on a pu observer une différence remarquable portée sur l'aspect morphologique entre la catégorie des plantes de chacune des deux cultures.

Pour les catégories (1) (2) et (3), les plantes étaient vigoureuses avec des feuilles plus grandes, bien développées, de couleur verte, avec des inflorescences en bouquets portées sur l'extrémité apicale pour l'ensemble des tiges (**Figure 35 a et Figure 35b**).

Par contre les plantes de la catégorie (4) avaient un aspect morphologique moins développé, avec des feuilles desséchées de couleurs jaunes accompagnées de taches noires à leur surface, et aucun bouquet n'a été observé à l'extrémité apicale pour l'ensemble des tiges de cette catégorie de plantes (**Figure 35c et Figure 35d**).



Figure 35 : l'aspect morphologique des plantes des deux cultures de menthe sous l'effet de substrat mycorrhizé et leurs témoins.

a : *Mentha rotundifolia* ,b: *Mentha pulegium* , c: témoin de a, d:témoin de b

La figure ci- dessous (**Figure 36**) représente l'aspect morphologique des plantes cultivées des deux espèces de menthe e sous l'effet de l'isolat de *Trichoderma* sp.et de leurs témoins. Il en ressort un bon état des plantes cultivées sous l'effet de l'isolat de *Trichoderma* sp (**Figure 38a et Figure 36b**) contrairement, aux plantes témoins dont l'observation visuelle décrit un dessèchement des feuilles de la menthe odorante (**Figure 36c**) et une chlorose suivie d'un dessèchement foliaire des plantes cultivées de la menthe pouliot (**Figure 36d**).

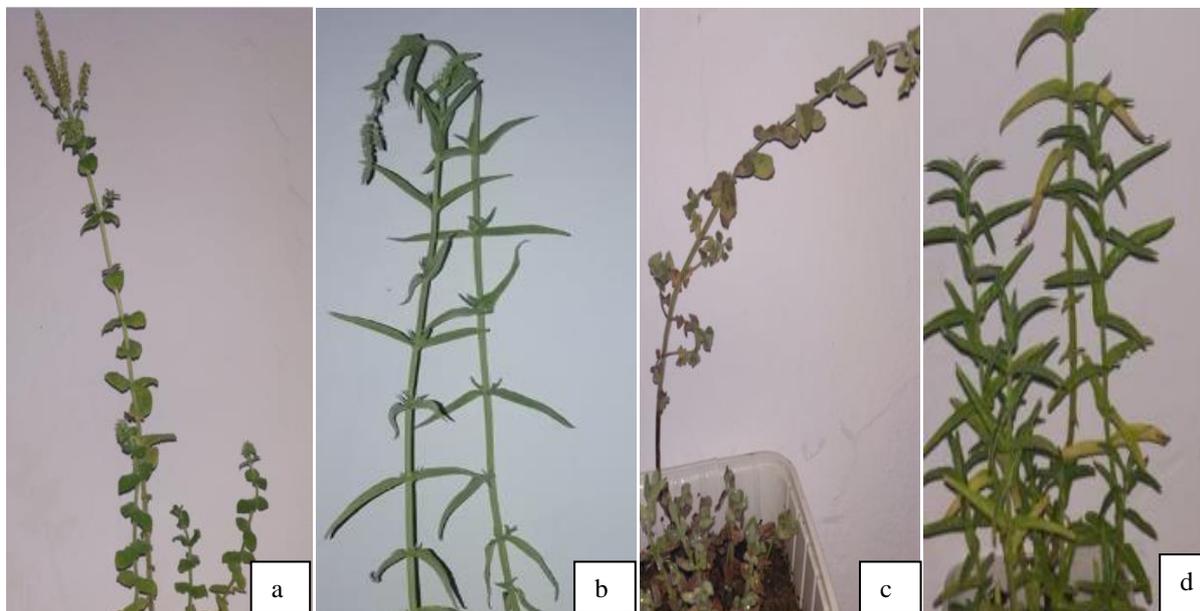


Figure36 : Morphologie des plantes cultivées des deux espèces de menthe sous l’effet de l’isolat de *Trichoderma* sp.

a:*Mentha rotundifolia* cultivée sous l’effet de *Trichoderma* sp.,**b** : *Mentha pulegium* cultivée sous l’effet de *Trichoderma* sp., **c**: témoin de a, **d**::témoin de b

III.5. Résultats d’Estimation des taux de mycorhization racinaire des plantes cultivées des deux espèces de menthe

L'examen microscopique des racines des plantes des cultures des deux espèces de menthe quatre mois après leur repiquage, durant la période de juillet 2020, après coloration a révélé une colonisation mycorhizienne racinaire par différentes structures, à savoir, 'un réseau important d'hyphes (**Figure 37a**), des structures des CMA tel que les arbuscules (**Figure 37b**), les structures de ces derniers sont considérées comme l'événement le plus important est décisif dans le déroulement de la colonisation endomycorhizienne. La colonisation racinaire s'est également manifestée le plus souvent par la présence de vésicules (**Figure 37c**)

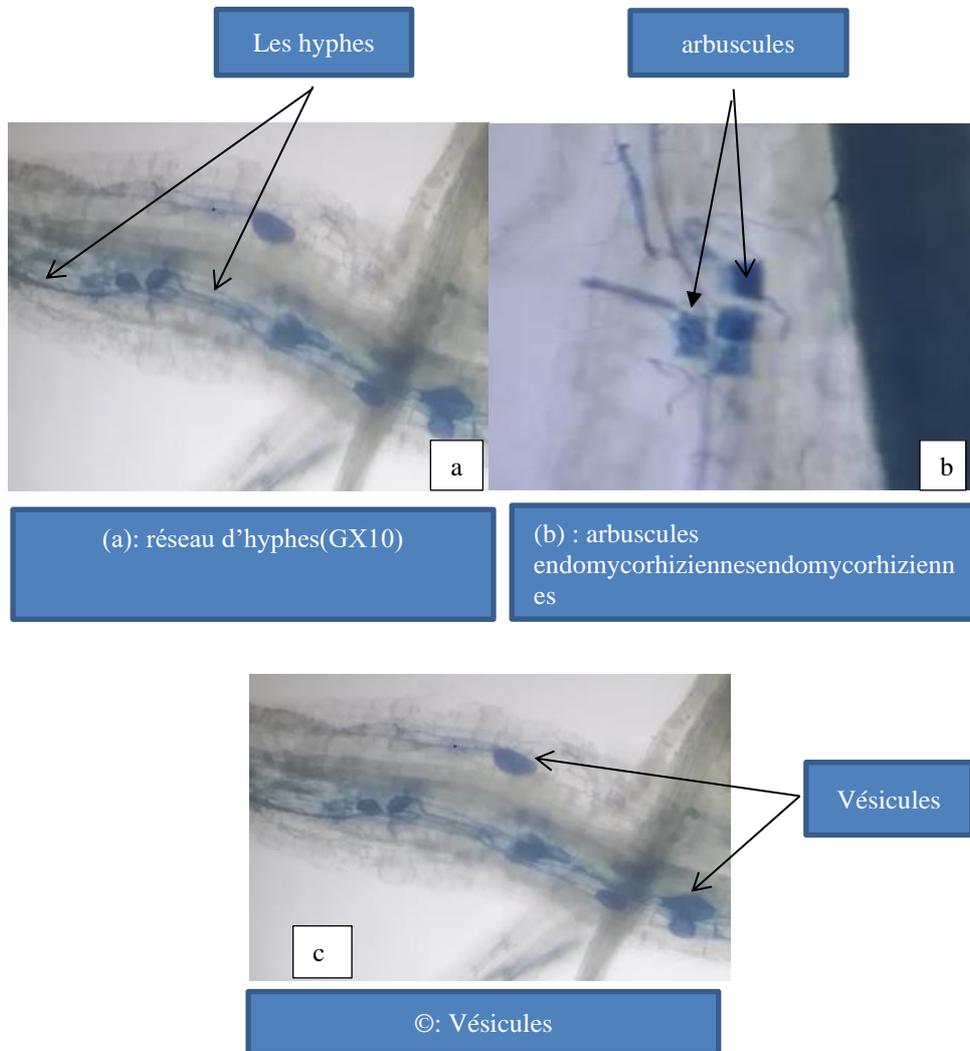


Figure 37: Morphologie des structures mycorhiziennes de colonisation MA des racines des Plantes de menthe (Grossissement X 125).

Par ailleurs, l'examen microscopique des mêmes préparations racinaires nous a permis l'évaluation des taux de mycorhization des racines prélevées à partir de chacune des 3 catégories de plantes cultivées dans le substrat mycorhizé selon les paramètres suggérés par Trouvelot et *al.* (1986), à savoir la fréquence de mycorhization (F %), l'intensité moyenne de mycorhization (M%) du cortex racinaire par rapport au système racinaire entier, et l'intensité de la colonisation, développée dans la partie endomycorhizée du système racinaire (m%).

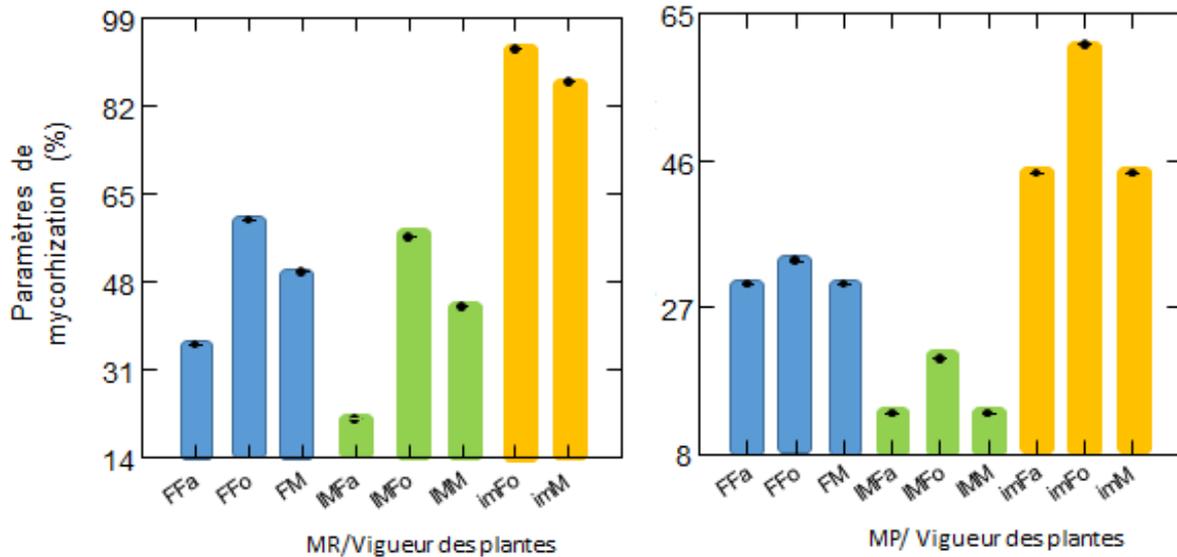


Figure 38: Variabilité des taux de colonisation mycorhizienne des racines des plantes cultivées de *Mentha rotundifolia* et *Mentha pulegium* selon la vigueur des plantes.

MP : *Mentha pulegium*, **MR** : *Mentha rotundifolia*, **F** : fréquence de mycorhization, **IM**: Intensité de mycorhization, **im**: intensité de mycorhization par fragment racinaire mycorhizé , **Fa** : faiblement mycorhizé, **Fo** : fortement mycorhizé, **M** : moyennement mycorhizé

Les taux de colonisation racinaire ont montré une variabilité selon le type de mycorhizes et selon l'espèce de menthe cultivée. Les fréquences enregistrées étaient plus importantes chez *M. rotundifolia* quel que soit la catégorie de la vigueur de la plante. En effet, ils demeurent plus faibles chez la menthe pouliot avec des taux n'atteignent pas 30% mais, plus importantes chez la menthe odorante avec des taux modérés compris entre 35 et 63%. Dans le même sens, les intensités demycorhization moyennes ont évolué, elles semblent toujours plus importantes chez *M. rotundifolia* mais, avec des valeurs modérées. Contrairement aux intensités de mycorhization recensées chez les fragments racinaires mycorhizés des plantes cultivées dont les taux enregistrés étaient plus importants, compris entre 45 et 63% chez *M. pulegium* et des taux dépassant 85% et atteignant même 97% ont été relevés chez *M. rotundifolia* (**Figure 38**). Après l'analyse synthétique de l'ensemble des paramètres de mycorhization des racines des plantes cultivées sous l'effet du substrat de culture mycorhizé, on a pu confirmer la concordance entre la vigueur des plantes et leur colonisation mycorhizienne racinaire et établir le classement des plantes (**Figure39**) et (**Figure 40**) comme suit:

- catégorie 1 : fortement mycorhizé (**Figure 39 et 40a**) ;
- catégorie 2 : moyennement mycorhizé (**Figure 39 et 40b**) ;
- catégorie 3 : faiblement mycorhizé (**Figure 39 et 40c**) ;
- catégorie 4 : Absence de mycorhizes (**Figure 39 et 40d**).

➤ **Pour *Mentha rotundifolia* L.**

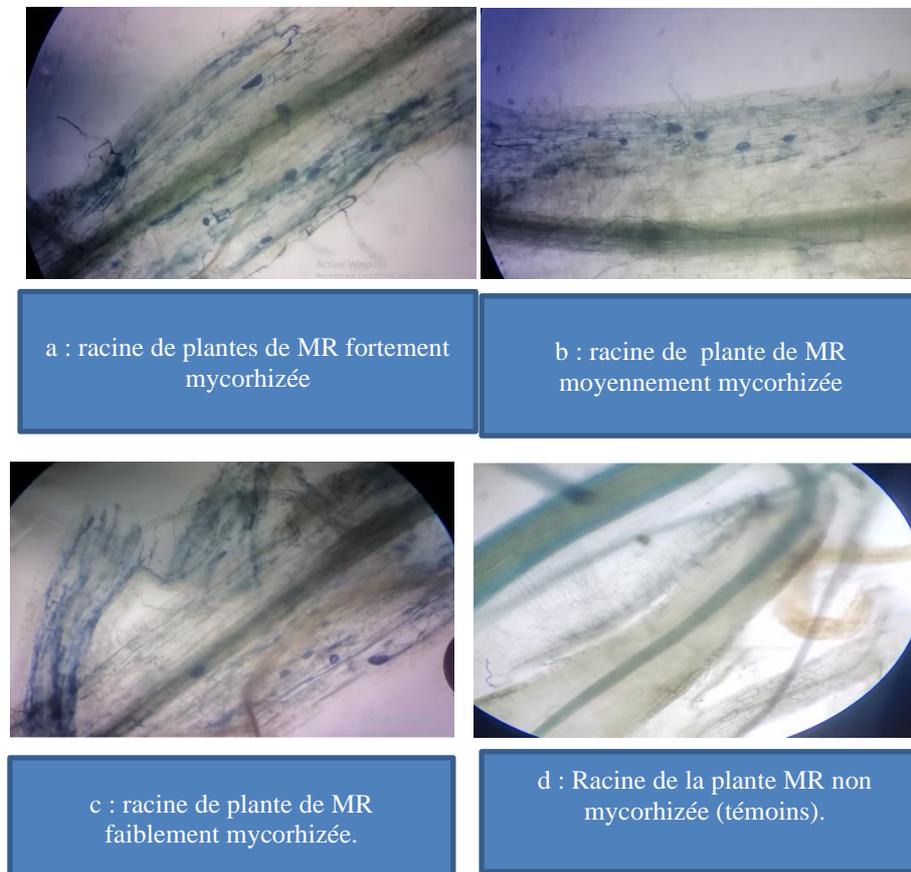
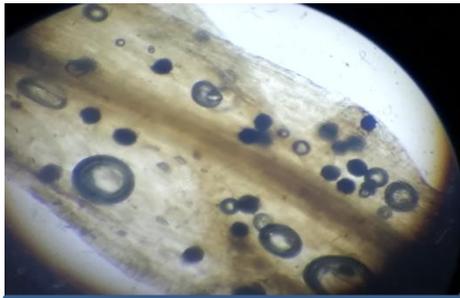


Figure 39 : Classes des intensités de mycorhization (m%) développée dans la partie endomycorhizée des racines des 4 catégories de plante de *Mentha rotundifolia* (MR) (Grossissement X125).

c : Classe 3, a et b : Classe 4, d : Classe 0

➤ Pour *Mentha pulegium* L.



a : racine des plantes de la MP fortement mycorhizée



b : racine de plante de MP moyennement mycorhizée



c : racine de plante de MP Faiblement mycorhizée.



d : Racine de plante de MP non mycorhizée (témoins).

Figure 40 : Classes des intensités de mycorhization (m%) développée dans la partie endomycorhizée des racines des 4 catégories de plante de *Mentha pulegium* L. (MP) (Grossissement X125).

C : Classe 3, a et b : Classe 4, d : Classe 0

Discussion

L'objectif du premier volet de notre étude est porté sur l'évaluation des potentialités du sol Endémique mycorhizé basée sur la croissance induite chez les jeunes plantules (boutures) et l'estimation de la colonisation endomycorhizienne des racines des deux espèces de menthe.

Le taux de mortalité des plantes enregistrés pour chacune des cultures de menthe inoculée par le substrat mycorhizé ont révélé des taux plus élevé sur *Mentha pulegium* comparés à ceux enregistrés sur les témoins et sur *Mentha rotundifolia*.

Des taux similaires ont été enregistrés l'ors d'une expérience réalisé au Maroc. (**Ouahmane et al 2007**) en utilisant le cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica*), inoculé ou non durant la phase d'élevage en pépinière par un mélange de souches de champignons mycorhiziens à arbuscules. la mortalité cumulée des plants mycorhizés était de 15 % alors que celle des plants témoins (non inoculés) était de 38 %.

Dans un premier temps et à partir de l'analyse statistique portée sur le taux de mortalité de chaque culture inoculée par l'isolat de *Trichoderma* sp., il en ressort que le pourcentage de mortalité enregistré sur les plantes cultivées de *Mentha pulegium* et *Mentha rotundifolia* est

beaucoup plus bas par rapport à celui des témoins.

Des taux similaires ont été enregistrés l'ors d'une expérience réalisé au Sénégal. (**Soumaré A., Manga A., Thiao M., Ndoye I., Diop T., 2008**) en utilisant les Graines d'*A. nilotica* var *adstringens* Inoculé ou non par quatre espèces de champignons arbusculaires. il en ressort que Le taux de mortalité en fonction de la concentration en NaCl le plus élevé (30%) au niveau 400 mM est observé chez les plants témoins non inoculés, tandis que chez les plants inoculés le taux de mortalité est très faible (10% chez les plants inoculés avec *G. intraradices* et ceux qui sont inoculés avec *G. aggregatum*) voire nul (chez les plants inoculés avec *G. mosseae* et ceux qui sont inoculés avec *G. fasciculatum*). Au niveau de salinité 600 mM, le taux de mortalité est supérieur ou égal à 40% pour tous les traitements cependant il est plus élevé (80%) chez les plants non inoculés.

En ce qui concerne, les paramètres de croissance enregistrés sur les deux cultures, une différence significative a été révélée sur le nombre de graines produites par bouquet et par

Plante et sur la hauteur des plantes de *Mentha rotundifolia*.

En tenant compte du classement des plantes selon la vigueur, l'utilisation du substrat mycorhizé a montré un effet positif sur la croissance des plantes, beaucoup plus marqué sur *Mentha rotundifolia* L. où, l'ensemble des paramètres de croissances ont été stimulés, contrairement aux paramètres de croissance enregistrés chez *Mentha pulegium* L. où, seuls le poids frais et le poids sec de la partie racinaire évalués entre (2.5-5g) ont été stimulés par rapport aux témoins (1.75-3.75g). Ceci est en relation avec la colonisation mycorhizienne des plantes cultivées.

Dans ce contexte, plusieurs études ont montré des résultats positifs, parmi ces études celle de **(Derkaoui, 2018)** a montré clairement que le type de sol et l'inoculation mycorhizienne, exercent un effet positif sur la croissance des plantes d'Accacia. Saligna en pépinière, se reflétant sur le poids et la hauteur des plantes, mais aussi sur la biomasse. Une seconde étude qui à son tour a montré une augmentation significative sur la croissance d'une espèce de légumineuse forestière qui est la tarra (*Caesalpinia Spinosa*), inoculé avec le champignon mycorhizien par rapport aux plantes non inoculées **(shenna sangay, 2018)**. Aussi, l'inoculation des boutures herbacées d'olivier par des isolats de CMA (I1 et I2) Préalablement sélectionnées et multipliées sur culture de poireau ou des complexes mycorhizien indigène du sol des vergers de si (CMS et CMB) a montré des effets favorables sur la croissance des plantes qui forment des CMA analogues aux mycorhizes naturelles **(Sidhoum, 2011)**.

Dans une seconde étape, l'étude quantitative de la mycorhizationa révélé une colonisation endomycorhizienne moyenne pour les deux cultures de menthe, avec un pourcentage plus élevé chez *Mentha rotundifolia*.

Des résultats positifs sont signalés dans plusieurs études, dont celle de **(LEYE, NDIAYE, DIOUF M et DIOP.2015)** porté sur le sésame, ou l'observation des racines colorées a révélé la présence de structures caractéristiques de l'infection mycorhizienne arbusculaire au niveau de toutes les plantes inoculées par une dépendance mycorhizienne moyenne variant de 38-98%. Les mêmes constatations ont été confirmées suite à la mycorhization des plantes de *Solanum lycopersicum* L **(DRIAI S, 2016)**. Aussi, les résultats obtenus sur le statut mycorhizien d'A. Saligna montrent, qu'en milieu naturel, la mycorhization est une réalité écologique, où tous les fragments de racines analysées sont densément endomycorhizés et la colonisation par les CMA peut atteindre les 100% **(Derkaoui, 2018)**.

Le second volet du présent travail consistait à étudier l'impact de l'inoculation du sol par L'isolat de *Trichoderma* sp sur la croissance induite chez les jeunes plantes (boutures), des deux cultures de menthes sur un substrat stérilisé.

Dans un premier temps et à partir de l'analyse statistique portée sur le taux de mortalité de chaque culture inoculée par l'isolat de *Trichoderma* sp., il en ressort que le pourcentage de mortalité enregistré sur les plantes cultivées de *Mentha pulegium* et *Mentha rotundifolia* est beaucoup plus bas par rapport à celui des témoins.

En effet, l'analyse de variance portée sur les paramètres de croissance, n'a pas montré de différence significative sur les plantes cultivées pour les deux espèces de menthe (*Mentha rotundifolia* et *Mentha pulegium*).

En tenant compte du classement selon la vigueur des plantes, l'incorporation de l'isolat de *Trichoderma* sp. a montré un effet variable selon les deux cultures de menthe. Cet effet a affecté d'une part, le nombre de feuilles et de graines, la hauteur des plantes, les poids frais et sec de la partie aérienne et racinaire des plantes de *Mentha rotundifolia* L. et d'autre part, le nombre de graines (40%) et le poids frais et sec (2.3g-4g) des racines des plantes fortement vigoureuses de *Mentha pulegium* L. comparés aux témoins (1g-2.75g).

Dans ce contexte plusieurs études basées sur utilisation de *Trichoderma* sp., sur les cultures ayant prouvé un impact positif sur leur croissance et leur rendements concordent avec nos résultats. On peut citer l'étude de **Caron et al. (2002)** qui ont montré l'effet stimulant de *T. harzianum* MAUL-20 sur le développement des plants de concombre, en absence d'agents phytopathogènes. Cette stimulation se traduirait par un développement accru de la partie aérienne et le système racinaire des plantes. Nos résultats se rapprochent également à ceux obtenus par **Besnard et Davet (1993)** confirmant la variabilité de l'effet phytostimulant de 100 souches de *Trichoderma* sur les paramètres de croissance des parties aériennes et des parties racinaires par rapport aux témoins (**Mouria et al. 2007**).

L'observation visuelle portée sur la morphologie des cultures des deux espèces de menthe selon les traitements utilisés malgré les conditions défavorables liées aux stress hydrique, ont révélé la survie des plantes pour les deux cultures. les plantes ont montré un bon développement pour certains traitements avec une résistance face au stress hydrique. Nous notons certaines plantes vigoureuses avec aucun signe d'infestation d'insectes ni d'infection par les maladies comparées aux témoins.

Cette observation a été confirmée par plusieurs études, dont l'une a montré une meilleure croissance des plantes mycorhizées dans des conditions de sécheresse (Auge, 2001). Il est reconnu aussi, que les dommages causés par certains parasites (champignons, bactéries ou nématodes) peuvent être atténués chez les plantes mycorhizées (Whipps, 2004). Les CMA semblent réduire l'incidence et/ou la sévérité des effets délétères causés par certains champignons phytopathogènes racinaires tels que, *Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Verticillium*, *Phytophthora*, *Pythium* et *Aphanomyces* (St-Arnaud et Fortin, 1995; Whipps, 2004).

Par ailleurs, d'autres recherches portées sur l'utilisation de *Trichoderma* ont montré une amélioration de la croissance des plantes en présence (Bae et al. 2009) ou en absence du stress abiotique (Yildirim et al. 2006). Dans la même optique, Doni et al. (2014) ont prouvé que *Trichoderma* peut induire une résistance au stress hydrique chez les plantes. D'autres auteurs ont également montré que *Trichoderma* médiatise une tolérance à la sécheresse via des adaptations physiologiques et biochimiques (Ji et al. 2012) et améliore la récupération après la sécheresse (Malinowski et Belesky 2000).

En parallèle, nos résultats nous ont incités à supposer que les deux intrants fongiques ont peut être eux un effet sur l'amélioration de la production des métabolites secondaires chez les deux cultures comme réponse au stress hydrique, et cela reste à vérifier par certaines analyses.

Des données récentes peuvent affirmer ses suppositions, dont celles qui suggèrent que la mycorhization a non seulement un effet positif sur les différents paramètres de croissance et des rendements de plantes, mais peut aussi affecter la qualité des productions végétales. Il a été montré que l'inoculation mycorhizienne par différents CMA, augmente la concentration des huiles essentielles chez différentes plantes aromatiques telles que l'origan (*Origanum vulgare*), le basilic (*Ocimum basilicum*), la menthe (*Mentha arvensis*) et, la coriandre (*Coriandrum sativum*). Chez d'autres plantes, comme la luzerne (*Medicago sativa*) et (*Medicago truncatula*), le trèfle (*Trifolium pratense*), le soja (*Glycine max*), des augmentations des niveaux de flavonoïdes ont été également observées après mycorhization (Castellanos et Navarro, 2010).

Conclusion et perspectives

Le présent travail a pour objectif d'analyser l'impact d'utilisation d'un isolat endémique de *Trichoderma* spp. et de deux types de sols mycorhizés provenant à l'origine de deux biotopes différents : Sol de (*Mentha rotundifolia*) provenant de oued Beni aza, ouledyaich, Blida et l'autre de (*Mentha pulegium*) prélevé de la montagne de Tiziouzuou.

Ces sols ont été associés indépendamment à un substrat stérilisé pour l'évaluation de leur impact sur la croissance de jeunes boutures des deux espèces de " *Mentha pulegium* L. et *Mentha rotundifolia* L. " cultivées en pots et sous serre pendant quatre mois.

Les deux substrats de champignons mycorhiziens ont induit un effet variable sur la croissance et le rendement des plantes. Ils ont mis en évidence 3 catégories de plantes pour chaque culture de menthe selon le différent niveau de vigueur. Cette variabilité se traduit globalement par un effet stimulant affectant l'ensemble des paramètres de croissance de *Mentha rotundifolia*.

En outre, les racines des cultures des deux espèces de menthe ont montré une dépendance moyenne vis-à-vis des champignons mycorhiziens à arbuscules avec des taux de mycorhization plus élevés chez *Mentha rotundifolia* L.

Dans ce sens, ces résultats ont mis en exergue d'importantes potentialités biostimulantes du sol mycorhizé provenant des plantes spontanées de la menthe odorante prélevée du bord de oued Beniaza, Ouled yaich à Blida vu la plus grande fréquence et l'importante intensité de mycorhization enregistrées (85-97%) en comparaison avec les valeurs des mêmes paramètres de mycorhization enregistrées (35-63%) par le sol mycorhizé des plantes spontanées de la menthe pouliot prélevé de la montagne de Tiziouzuou.

Comme pour les substrats mycorhizés, L'isolat de *Trichoderma* sp. a induit une variabilité sur les paramètres de croissance et le rendement des plantes cultivées des deux espèces de menthe.

La stimulation induite par ce dernier était également plus significative sur les plantes cultivées de *Mentha rotundifolia* L. Elle a affecté l'ensemble des paramètres de croissance contrairement, aux résultats enregistrés sur *Mentha pulegium* L. où, seuls le poids frais et sec des racines, et le nombre de graines produites par bouquet ont été stimulés.

Ces résultats ont confirmé l'effet phytostimulant de l'isolat de *Trichoderma* sp., beaucoup plus marqué sur les plantes cultivée de *Mentha rotundifolia* L.

Le point commun, reliant les deux substrats de cultures mycorhizés testés dans notre étude, est leur effet stimulant sur le poids frais et le poids sec des racines de chacune des cultures des deux

espèces de menthe. Ce résultat est la clé de la problématique qui englobe et caractérise parfaitement notre étude, en vu des problèmes d'enracinement rencontrés lors de la multiplication des plantes par bouturage. Dans ce sens, les champignons mycorhiziens testés dans notre étude, pourraient constituer une alternative prometteuse comme biostimulants de la croissance, des cultures des deux espèces de menthe dans les systèmes agricoles durables et biologiques. On relève également le potentiel d'induction de la résistance des plantes au stress hydrique qui s'avère d'une grande importance dans le système de culture aujourd'hui face au changement climatique.

Cette étude a également stimulé la biomasse végétale et le nombre de graines qui est d'une grande importance pour l'industrie et un moyen important pour la multiplication biologique de cette ressource phylogénétique.

Ces résultats sont très probants pour la culture de *Mentha rotundifolia.*, Ils méritent d'être poursuivis et appliqués dans le système de la culture agro écologique. Il serait donc intéressant :

- isoler et identifier les propagules de ces types de sol mycorhizés testés ;
- Etudier leur multiplication et leur conservation en vue de leur formulation et leur application,
- Etudier l'impact de la mychorisation et l'utilisation de l'isolat de *Trichoderma* sp. sur la production de métabolites secondaires et, la leur composition chimique ;
- On recommande également de tester l'efficacité du substrat mycorhizé de *Mentha rotundifolia* L sur la culture de *Mentha pulegium* L ;
- Tester chacun des champignons mycorhiziens sur la croissance des boutures d'autres cultures d'intérêt ;
- Mettre la lumière sur l'effet des métabolites secondaires sur le taux de mycorhization.

Références bibliographiques

- Abdel H. (2003).** « *Biosistématique végétale* ». INA el Harrach 1_17.
- **Ahmed, A. A., M. Spaller, and T. J. Mabry.(1992).** « *Flavonoids of Pallenisspinosa* » (Asteraceae). *Biochem. Syst. Ecol.* 20(8):785-786.
- Ait Youssef M. (2006).** « *plantes médicinales de Kabylie* », Edition : IBIS PRESS, Pais,p : 349p
- **Akiyama K. (2007).** « *Chemical identification and functional analysis of apocarotenoids involved in the development of arbuscular mycorrhizal symbiosis. Bioscience biotechnology and biochemistry* », 71(6): pp. 1405-1414.
- **Alabouvette C, Cordier C. (2012).** « *Les Trichoderma, trois fois bénéfiques? Bio-protectants, bio-fertilisants, bio-stimulants ? Un peu des trois mais gare aux généralisations* », *Phytoma* 652, 17-21.
- Alabouvette C, Cordier C. (2013).** « *Pseudomonas fluorescents, ceux qui font résister les sols. Bio-protectants, bio-fertilisants, bio-stimulants ? Un peu des trois, et souvent à la fois... Comment, ce sous-titre vous en rappelle un autre, lu l'an dernier ?* », *Phytoma* 662 14-17
- Alabouvette C, Cordier C. (2015).** « *Les Bacillus spp, des bactéries aux multiples usages* ». *Phytoma* 682, 22-27.
- **Alabouvette C, Cordier C. (2018).** « *Fertilité biologique des sols, des microorganismes utiles à la croissance des plantes* ». *Innovations Agronomiques* 69 (2018), 61-70.
- **Amina BENABDALLAH. (2017).** « *Etude écophysiological, développement et importance des plantes médicinales du genre Mentha dans le Parc National d'El-Kala, Nord-Est Algérie* ». Université des Frères Mentouri Constantine 1.
- Auge R.M. (2001).** « *Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza* » .11 :3-42.
- Ba A, Guisson T, Duponnois R, Planchette C, Sacko O, Sidibé D , Sylla K., Windou B. (2001).** « *Mycorhization Controlée et Fertilisation Phosphatée : Applications à la Domestication Du Jujubier* ». *Fruits*, 56(4) :261-269.
- BA. (2009).** « *The beneficial endophyte Trichoderma hamatum isolate DIS 219b promotes growth and delays the onset of the drought response in Theobroma cacao* ». *J Exp Bot* 60:3279–329.
- Baba aissa, F. (1999).** « *Encyclopédie des plantes utiles, Flore d'Algérie* », Ed. Librairie moderne-Ruiba .p. 46-47.-194-195-231.

- Balergue, C.**(2012). « *Régulation de la symbiose endomycorhizienne par le phosphate* ». Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier).
- **Bàrbara, T, Marques, A, Ramos, C, Batista, I, Serrano, C., Matos, O, Neng, N. R, Nogueira, J, M, F, Saraiva, J, A., Nunes, & Maria, L.** (2012). « *European pennyroyal *Menthapulegium* from Portugal : chemical composition of essential oil and antioxidant and antimicrobial properties of extracts and essential oil* ». *Industrial Crops and Products* 36: 81-87.
- Bellahcene M.** (1990). « *Antagonisme de dix souches de *Trichoderma harzianum* vis-à-vis de trois formes spéciales de *Fusarium oxysporum* (*albendinis, lini et lycopersici*)* ». Thèse de magistère. Université d'Oran, 73p.
- **Bellakhdar J.** (1984). « *1er colloque international sur les plantes aromatiques et médicinales (Rabat) (Actes)* ». Editions maghrébines, Casablanca.
- Belouad A.** (1998). « *Plantes médicinales d'Algérie* ». Office des publications Universitaires, Algérie, 273 p.
- **Benayad N.** (2008). « *Les huiles essentielles extraites des plantes médicinales marocaines : moyen efficace de lutte contre les ravageurs des denrées alimentaires stockées* ». Projet de recherche. Faculté des Sciences Rabat, Maroc.
- Benjamin PERET.** (2007). « *Transport de l'auxine et développement du nodule actinorhizien chez l'arbre tropical *Casuarina glauca** ». Université Montpellier II.
- Benkada, M.** (2006). « *New short peptaibols from a marine *Trichoderma* strain* ». Université de Nantes, Groupe SMAB-EA2160, Faculté de pharmacie, BP53508,44035,Nantes cedex 1, France.
- Besnard O. and Davet P.** (1993). « *Mise en évidence de souches de *Trichoderma* spp. à la fois antagonistes de *Pythium ultimum* et stimulatrices de la croissance des plantes* ». *Agronomie*, 13(5), pp.413-421.
- BINEAU.M.S.** (2002). "Aromathérapie, <http://www.Biogassendi.com> ".
- BISSET J.**(1991). "A revision of the genus *Trichoderma*. P". Section *Pachybasium* . *Can J.Bot.* (69): 2373-2417 p.
- Bothe H, Klingner A, Kaldorf M, Schmitz O, Esch H, Hundeshagen B, Kernebeck** **Botanisches H.** (1994). "Biochemical approaches to the study of plant-fungal interactions in arbuscular mycorrhiza Institut". Universitiit zu Kdln, Gyrhofstr. 15, D-50923 K6ln (Germany).
- BREA, JM.,Azcon-Aguilar,C.**(1982). « *Production of Plant Growth Regulation Substances,By the visicular-arbuscular Mycorizal Fungus *Glomus Mosseae** ». *Appl Environ Microbiol.* 43,810-813.

- BRUNETON. J. (1999).** « - *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales* ». 3ème Edition. Paris pp 533-536.
- **Calvente R., Cano C, Ferrol N., Azcon-Aguilar C et Barea J.M (2004).** « *Analysing natural diversity of Arbuscular mycorrhizal Fungi in Olive Tree (Olea europaea L.) Plantations And assesment of affectivenesse of native Fungal Isolates as Inoculants for commercial cultivars of olive plantlets*». APPl.Soil Ecol., 26:11-19.
- **Cantino P.D.(1998).** « *Binomials, hyphenateduninominals, and phylogenetic nomenclature* ». Taxon. 47: 425–429.
- Caron J.L Laverdiere P .O. Thibodeau R. et Blanger R.(2002)** « *Utilisation d'une souche indigène de TrichodermaHrzianum contre cinq agent pathogène chez le concombre et la tomate de serre au Québec* ». Phytprotection (83) : 73-87 p.
- Castellanos-Morales V., Villegas J., Wendelin S., Vierheilig H., Eder R. & Cardenas-Navarro R. (2010).** « *Root colonization by the arbuscular mycorrhizal fungus Glomus intraradices alters the quality of strawberry fruits (Fragaria x ananassa Duch.) at different nitrogen levels* ». Journal of the Science of Food and Agriculture, 90: 177 4-1782.
- Chalchat J.C., Gorunovlc M.S., Maksimovlc Z.A. & Petrovlc S.D.(2000).** « *Essential oil of wildgrowingMenthapulegium L* ». fromYugoslavia. J. Essent. OilRes. 12: 598–600.
- Chen, J., A.D. Del Genio, B.E. Carlson, and M.G. Bosilovich. (2008).** « *The spatiotemporal structure of twentieth-century climate variations in observations and reanalyses* ». Part I: Long-term trend. *J. Climate*, **21**, 2611-2633, doi:10.1175/2007JCLI2011.1.
- Collin F. (2007)** . « *Identifier les fleurs du Maroc Atlantique par leur couleur* ».rabat, p154.
- **Cruyppenninck, philippe. (2013).** « *Les mycorrhizes, pour quels bénéfices ?* »
- Danielson.R.M.and Davey, C.B.(1973).** « *the abondance of Trichoderma Propagules and the distribustion of species in forest soils* ».soil biol biochem.5 :485-494.
- **Debbab A. et al. (2009).** « *Bioactive Metabolitesfrom the Endophytic Fungus Stem phylum globu life rumI solated from Mentha pulegium* ». J. Nat. Prod. Vol 72 : 626-631.
- **Delille L. (2007).** « *Les plantes aromatiques en Algérie* ». Ed Berti, Alger, 163p
- Derkaoui, N. (2018).** « *Evaluation du Potentiel mycorrhizogéne sous Accacia Saligna* ». Induite pour la Revegetalisation de la Sablière de Terga. Université oran 1-ahmed ben bella.
- **Derwich E., Benziane Z., Taouil R., Senhaji O. and Touzani M. (2010).** « *Comparative essential oil composition of leaves of Mentharotundifolia and Menthapulegium a traditionalherbalmedicine in Morocco* ». AmericanEurasian Journal of Sustainable Agriculture 4(1): 47-54.

- Djafer A. (2011)** . « *Impact de l'utilisation des isolats algériens de Trichoderma* » . Sur la chifles Paris, 17 p.
- DOMMERGUES Y., MANGENOT F. (1970)**. « – *Ecologie microbienne du sol* ». Masson, Paris, 796 pp.
- Doni F, Anizan I, Che Radziah CMZ, Wan Mohtar WY .(2014)** . « *Physiological and growth response of rice (Oryza sativa L.) plants to Trichoderma spp. Inoculants* ». AMB Express 4:45.
- Domsch KH, Gams W, Anderson TH. (1980)**. « *Compendium of soil fungi* ». Academic Press; London. p. 809.
- **DRIAI,Sihem. (2016)**. « *Impact des polluants d'origine industrielle sur le développement des champignons mycorhiziens à arbuscules, sur leur diversité et sur la viabilité microbienne des sols des agro-écosystèmes du Nord-est algérien* ». UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA.
- **Duboc P. (2008)**. Livre : « *Labiacées de la Basse-Combraille* » .p- 10.
- **El Arch M., Satrani B., Farah A., Bennani L., Boriky D., Fechtal M., Blaghen M. and Talbi M. (2003)**. « *Composition chimique et activités antimicrobienne et insecticide de l'huile essentielle de Mentharotundifolia du Maroc* ». Acta BotanicaGallica 50(3): 267-274.
- El Moussaoui, N.; Sanchez, G.; Khay, E.O.; Idaomar, M.; Ibn Mansour, A.; Abrini, J.; Aznar, R.(2013)** « *Antibacterial and antiviral activities of essential oils of northern Moroccan plants* ». Br. Biotechnol. J, 3, 318–331.
- Espósito, E. et Silva, M.,(1998)**.Systematics and environmental application of genus Trichoderma.1998. Crit. Rev. Microbiol., 24(2) : 89-98.
- Fatiha Boubkri.(2018)**. « *récolte de plus de 5000quintaux de menthe verte* ».Ourgla .8p
- **Ferreira, A.; Proença, C.; Serralheiro, M.L.M.; Araújo, M.E.M. (2006)**. « *The in vitro screening for acetylcholinesterase inhibition and antioxidant activity of medicinal plants from Portugal* ». J. Ethnopharmacol., 108, 31–37.
- **FORTIN JA, PLENCHETTE C, PICHE Y. (2008)**. « *LES MYCORHIZES LA NOUVELLE REVOLUTION VERTE* ». EDITION MULTI MONDES.
- **FRASER P.D. AND BRAMLEY P.M.(2004)**. « *The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids* ». Prog. Lipid Res. 43, 228-265.
- **Gardes, M., Bialek, E., Binet, E., Brousseau, C., Carré, F., Charcosset, J-Y, Fradet,N., Griffith, P., Gryta, H., Laquerbe, M., Martinez, C. et Millot, S. (2003)**. « *Les symbiotes mycorhiziens du peuplier noir (Populus nigra L.) : la spécificité des assemblages fongiques en milieu riverain* ». Les Actes du BRG, 4 : 453-466.
- **Gehrig H, Schu\$bler A, Kluge M. (1996)**. « *Geosiphon pyriforme, a fungus*

- forming endocytobiosis with *Nostoc* (Cyanobacteria), is an ancestral member of the Glomales: evidence by SSU rRNA analysis ». *Journal of Molecular Evolution* 43: 71–81.
- Guilly. G .(1989).** « -*Les menthes cultivées. 1ère partie: Le matériel végétal et lieux de culture* ». *Pep. Hort. Mar. Revue horticole*, N° 296.
- Guy P. (1989) .** «*Essais multilocaux d'association trèfle violet-graminées* ». *Revue Fourrages*, n°117, 29-48.
- Hammami.S Et Abdesselem M. (2005).** « -*Extraction et analyse des huiles essentielles de la menthe poivrée de la région de Ouargla* ». Thèse Ing Univ Blida P69.
- **HARLEY J.L., SMITH S.E.(1983).** « *Mycorrhizal Symbiosis.* » — London: Academic Press, .
- Hmamouchi M. (1999).** « *Les Plantes médicinales et aromatiques Marocaines : Utilisations, biologie, écologie, chimie, pharmacologie, toxicologie* ». -Imprimerie de Fédala, Mohammedia (Maroc), 389 pp.
- Hnatyszyn, M. et Guais, A. (1988).** « *Les fourrages de l'éleveur* ». *Agriculture d'aujourd'hui, techniques et applications*”, Ed, J-B Baillièrre, 440p.
- Horst V., Andrew P., Coughlan U.R.S., Wys S.,Piche Y.(1998).** “*Ink and Vinegar, a Simple Staining Technique for Arbuscular-Mycorrhizal Fungi*”. *Applied&EnvironmentalMicrobiology*, 64 (12): 5004–5007.
- **Iserin P., Masson M., Restellini J.P., (1997).** « *Encyclopédie des plantes médicinales, identification, préparation, soin* », Larousse-Bordas.
- jawad,L.(2013).EACCE.** « *communication orale,forum sur la menthe et les plantes aromatiques et médicinales* ».CRRA-Setat.
- Ji K, Wang Y, Sun W, Lou Q, Mei H, Shen S, Chen H .(2012).** « *Drought-responsive mechanisms in rice genotypes with contrasting drought tolerance during reproductive stage* ». *J Plant Physiol* 169:336–344.
- **KHASA.(1990).** « *Symbioses racinaires chez quelques essences forestières importées au Zaïre* ». Contribution N° 382, station de recherches, agriculture Canada, Sainte Foy.
- Kulling C., Match R.I., Lorito M. and Kubicek C.P.(2000).** “*Enzyme diffusion from *Trichoderma atoviride*(*5t. harzianum*pl) to *rhizoctoniasolani*is a prerequisite for triggering of *Trichoderma ech42* gene expression before mycoparasitic contact*” . *Applied and Environmentalmicrobiology* (5) : 2232
- Kullnig-Gradinger C.M., Christian G.S. and Kubicek P.(2002).** « *Phylogeny and evolution of the genus *Trichoderma*: a multigene approach* ». *Mycological Research*, 106,(7): 757-767
- **Lawrence B. M. (2007).** « *Mint: The genus *Mentha*. Medicinal and aromatic plants-industrial profiles* ». CRC Press/Taylor & Francis: Boca Raton, FL. pp 4.

- Le poivre P. (2003)**. « *Les bactéries phytopathogènes, In : Phytopathology* ». Le poivre P.(Eds). De Boeck, Bruxelles.
- **LEYE, NDIAYE, DIOUF M et DIOP.(2015)**. « *ETUDE COMPARATIVE DE L'EFFET DE SOUCHES DE CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS ARBUSCULAIRES SUR LA CROISSANCE ET LA NUTRITION MINÉRALE DU SÉSAME CULTIVÉ AU SÉNÉGAL.* » African Crop Science Journal, Vol. 23, No. 3, pp. 211 - 219 I.
- Liette I. (2002)** . « *Le biofongicide Trichoderma(rootshield) contre les maladies racinaires et les moisissure grise dans la fraise* ». tout un potentiel ,présentation orale MAPAQ ST-Rémi.
- .-**Lynch, J.M., R.D. Lumsden, P.T. Atkey et M.A. Ousley. (1991)**. « *Prospects for control of Pythium damping-off of lettuce with Trichoderma, Gliocladium and Enterobacter spp* ». Biol. Fertil. Soils 12 : 95-99.
- M. A. Al-Qudah, N. K. Otoom, H. I. Al-Jaber, A. M. Saleh, M.H. Abu Zarga, F. U. Affi, S. T. Abu Orabi, (2017)** . « *New Flavonol Glycoside from Scabiosa prolifera L. Aerial Parts with In Vitro Antioxidant and Cytotoxic Activities* ». Nat. Prod. Res., <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1305377>.
- Malinowski DP, Belesky DP .(2000)**. « *Adaptation of endophyte infected cool-season grasses to environmental stresses: mechanisms of drought and mineral stress tolerance* ». Crop Sci 40:923–940.
- **Marks. (1965) ,Marks, G.C., Foster, R.C.(1973)**. « *Succession of mycorrhizal associations on individual roots of radiata pine* ». **Australian Forestry, 31(3), 193-201.**
- **Martin Trépanier. (1998)** . « *effets des champignons endomycorhiziens sur les bouturages et la croissance de plantes ligneuses ornementales* ». Thèse université Laval.
- **M. Benbouali. (2006)**. « *Valorisation des extraits de plantes aromatiques et médicinales de Mentha rotundifolia et Thymus vulgaris* ».Mémoire de magister, Université Hassiba Ben Bouali, Chlef,
- MEDAR Group.(2001)**.” *Medar-Medatlas Protocol (Version 3) Part I: Exchange Format and Quality Checks for Observed Profiles*”. Rap. Int. IFREMER/TMSI/IDM/SIS002-006, 50 P.
- Medine.Ch.(2015)**. « *la culture de la menthe* ».
- MELVYN.(1980)**.« - *Mint production in the Midwestern United States. Cooperative estention menthe poivrée de la région d'Ouargla* ». Thèse IngUniv Blida P69.
- Mouria, Btissam. Ouazzani-Touhami, Amina. Douira, Allal. (2007)** . « *Effet de diverses souches du Trichoderma sur la croissance d'une culture de tomate en serre et leur aptitude à coloniser les racines et le substrat* » Phytoprotection 883: 103–110.

- **Natacha Leroux** avril 19.(2013). « SEMIS, BOUTURAGE ET MARCOTTAGE ET AUTRES TECHNIQUES DE MULTIPLICATION VÉGÉTATIVE ».
- NESSMANN. P.**(1994). « -*Un voyage au coeur du jardinage (Manuel du jardinage)* ».Genève 592 p.
- Ouahmane, L., Hafidi, M., Thioulouse, J., Ducouso, M., Kisa, M., Prin, Y., Galiana, A., Boumezzough, A. & Duponnois, R..**(2007). « *Improvement of Cupressus atlantica Gaussen growth by inoculation with native arbuscular mycorrhizal fungi* ». *J. Appl. Microbiol.*, 103: 683-690.
- O Besnard, P Davet.** (1993). « *Mise en évidence de souches de Trichoderma spp à la fois antagonistes de Pythium ultimum et stimulatrices de la croissance des plantes* ». *Agronomie*, EDP Sciences, , 13(5), pp.413-421. fhal-00885561f.
- **Patrick.**(1985). « *De la menthe en Seine-Maritime? Chambre d'Agriculture de la Seine-Maritime. phénoliques des organes d'un arbre forestier* ». Le cahier des techniques de l'INRA. pp: 79-82. Pibiri M.C., 2006. Assainissement microbiologique de l'air études systèmes de ventilation.
- **Peterson RL, Massicotte HB.** (2004). « *Exploring structural definitions of mycorrhizas, with emphasis on nutrient-exchange interfaces* ». *Canadian Journal of Botany* 82: 1074–1088.
- **Peterson R.L.** (2008). « *Ultrastructural localization of heavy metals in the extraradical mycelium an spores of the arbuscular mycorrhizal fungus Glomus intraradices* ». *Canadian journal of Microbiology*, 54: 103-110.
- **philippeau, G.**(1989). « *Théorie des plans d'expérience : application à l'agronomie* ».
- Philips J.M. et Hayman D.S.** (1970). « *Improved Procedures For Clearinig Roots and Staininig Parasitic and Visicular-arbuscular Mycorhizal Fungi For rapid assesement of Infection*», *Trans.Br.Mycol.Soc.*,55 :158-16.
- **Quézel P. & Santa S.** (1962). « *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales* ». Tome 1. CNRS. Ed. Paul Le chevalier, Paris.
- **Quézel P. & Santa S.** (1963). « *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales* ». Tome 2. CNRS. Ed. Paul Le chevalier, Paris.
- Rana B.K., Singh U.P. &Taneja V.** (1997). « *Antifungalactivity and kinetics of inhibition by essential oilisolatedfromleaves of Aeglemarmelos* ». *J. Ethnopharmacol.* 57: 29–34.
- Rayner, AD.M ; Todd N.K.**(1977). « *Interspecific antagonism in natural wood-decwying Basidomycetes* ». *Jornal of General Microbiology* 103 :85-90.
- **READ D.J.**(2011). « *Educational purposes* ». Reading University, UK. 2011.
- Rifai M, A.**(1969). « *A revision of the genus Trichoderma, Mycol* ». *Pap.*, 116: 1-56.

- Roquebert M.A. (1996)**. « *Interaction antagonistes des Trichoderma sp. Dans les systèmes tellurique : systématique, biologie et écologie des organismes* ». Compte rendu des 4èms rencontres en toxicologie, Paris, 13-15 pp.
- **SAHNOUNE Hadjer et ZEBBOUDJ Siham.(2019)**. « *Etude de l'extraction d'huile essentielle à partir d'une plante Mentha rotundifolia L* ».de la région de Ain Defla
- Samuels, G. J. ;Petrini, O. et Mangui, S.(1994)**. « *Morphological and macromolecular characterization of Hypocrea schweinitzii and its Trichoderma anamorph. Mycologia* », 86: 421-435.
- **Sandrine Moja et Frédéric Jullien. (Juillet-août.2014)**. « *Les menthes, diversité des espèces et composition chimique,Dossier Simples et aromatiques* ». - Jardins de France 630 - -
- SARASIN, G. (2011)**. « *BIOTECHNOLOGIE DES SYMBIOSES RACINAIRES EN RESTAURATION ECOLOGIQUE DES ECOSYSTEMES DEGRADEES A MADAGASCAR* ».
- Schubler A, Schwarzott D, Walker C.(2001)**. « *A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution* ». MycologicalResearch 105: 1413–1421.
- Schüssler, A., Schwarzott, D. and Walker, C.(2001)**. « *A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution* ». Mycol Res, 105: 1413-1421.
- Schuster A. and Schmoll M.(2010)**. « *Biology and biotechnology of Trichoderma. Appl. Microbiol* ». Biotechnol., 87(3): 787–799.
- **Schwarzott D, Walker C, Schüßler A .(2001)**. « *Glomus, the largest genus of the arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales), is nonmonophyletic* ». Mol Phyl Evol 21:190–197.
- **Selosse, M.A.(2000)**. « *La symbiose : strctures et fonctions, rôle écologique et évolutif, Vuibert* ».
- **Selosse,M.A et Le Tacon F.(1998)**. « *The Land Flora : a Phototroph- Fungus Partnership ? Tree* ». vol.13, no1.
- SHAUMANN K. (1993)**. « *Marine pilze in mikrobiologie meeresbodens* ».
- **Sheena, Sangay. (2018)**. « *Étude de l'impact des symbioses mycorhizienne et rhizobienne dans la domestication du Tara, Caesalpinia spinosa L* ».Université Montpellier;Universidad Peruana Cayetano Heredia. Français. ffNNT : MONTG080f.
- Sidhoum, W.(2011)**. « *Diversité des mycorhizes Arbusculaires Chez la Variété sigoise, D'olivier (olea europea L.) : Etude de leurs Efficacités sur la croissance des plants* ». Université d'Oran.
- Soumaré A., Manga A., Thiao M., Ndoye I., Diop T.(2008)**. « *Effet de l'inoculation des champignons mycorhiziens arbusculaires sur le développement d'Acacia nilotica subsp* ». adestringens soumis à différentes concentrations de sel. Journal des Sciences et Technologie Vol. 7. pp.74 – 83 E.

- Spanu,P et Boufante-Fasolo,P.(1998).** « *Cell-Wall-bound peroxidase Activity in roots of mycorrhizal Allium porrum New phytol* ».109 , 119-124.
- St-Arnaud M., Hamel C., Caron M. & Fortin J.A. (1995).** « *Endomycorrhizes VA et sensibilité des plantes aux maladies: synthèse de la littérature et mécanismes d'interaction potentiels. Fortin J.A., Charest C., Piche Y. (eds). La symbiose mycorrhizienne, état des connaissances* ». Orbis Publishing, pp 51-87.
- Teuscher E, Anton R, et Lobstein A., (2005).** « *plantes aromatiques : épices, aromates, condiments et huiles essentielles* ». Ed. Tec. & Doc. Lavoisier, Paris, 552p.
- T J , vanderJagt R Ghattas D J vander , M crossey , R H . (2002).** « *Glem life science* »,70,1035, 1040.
- Trépanier . Martin.(1998).** « *effets des champignons endomycorhiziens sur les bouturages et la croissance de plantes ligneuse ornementales* ».thèse université Laval
- **Tommerup IC. (1984).** « *Persistence of infectivity by germinated spores of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in soil* ». Trans Br Mycol Soc 82:275–282.
- **TouilW.(2016).** « *Effets comparés des champignons mycorhiziens arbusculaires et des Rhizobia isolés d'un sol algérien avec ceux du commerce, sur le rendement de l'arachide Arachishypogaea (L.)* ».Thèse de doctorat, biologie végétale, Université de Annaba, 201p.
- **TROUPA S.G.F. ET KONE M.H.(2003).** « *Recensement National de l'Agriculture 2001 et sécurité alimentaire* ». Rapport de consultant FAO, EU Minagra, Abidjan/Côte d'Ivoire. 40 p.
- Trouvelot A., Kough JL., Gianinazzi-Pearson V .(1986).** « *Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire* », Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. In: Gianinazzi-Pearson V, Gianinazzi S (eds) Physiology and genetics aspects of mycorrhizae. INRA, Paris, pp 217-221.
- Whipps J.M. (2004).** « *Prospects and limitations for mycorrhizas in biocontrol of root pathogens* ». Canadian journal of botany, 82: 1198-1227.
- Yildirim E, Taylor AG, Spittler TD. (2006).** « *Ameliorative effects of biological treatments on growth of squash plants under salt stress* ». Sci Hortic (Amst) 111:1–6

Annexe

Annexes 1:

Réactifs pour la coloration des racines.

Bleu de Trypan

Acide lactique.....	333ml
Glycérol.....	333ml
Bleu Trypan.....	0.05g
Eau distillée.....	333ml

Potasse hydroxyde

KOH.....	
100g	
Eau distillée.....	1000ml

Solution de conservation

Glycérol.....	.500ml
H ₂ O.....	450ml
HCl (1%).....	50ml

Annexe 2 :

Formules de calculs des paramètres de la colonisation mycorhizienne
(Trouvelot et al., 1986).

Les paramètres d'estimation de taux de mycorhization F%, M%, m%, a%, A% sont ensuite calculés d'après les formules suivantes :

-Fréquence des mycorhizes dans le système racinaire

$$F\% = (\text{nb de fragments myco/total nb}) * 100$$

-Intensité de la colonisation mycorhizienne dans le système racinaire

$$M\% = (95n_5 + 70n_4 + 30n_3 + 5n_2 + n_1) / (\text{nb total})$$

Où n_5 = nombre de fragments classés 5 ; n_4 = nombre de fragments 4, etc.

-Intensité de la colonisation mycorhizienne dans les fragments de racines

$$m\% = M \cdot (\text{nb total}) / (\text{nb myco})$$

-Abondance des arbuscules dans les parties mycorhiziennes des fragments de racines

$$a\% = (100m_{A3} + 50m_{A2} + 10m_{A1}) / 100$$

Où m_{A3} , m_{A2} , m_{A1} sont les % de m , classés A3, A2, A1, respectivement, avec

$m_{A3} = ((95n_5A_3 + 70n_4A_3 + 30n_3A_3 + 5n_2A_3 + n_1A_3) / \text{nb myco}) \cdot 100/m$ et identiques pour A2 et A1.

-Abondance d'arbuscules dans le système racinaire

$$A\% = a \cdot (M/100)$$