

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de Technologie
Département Biologie



Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de Master en : Microbiologie Appliquée
Domaine : Science de la nature et de la vie
Filière : Sciences Biologies
Spécialité : Microbiologie Appliquée
Thème

**Contribution à la valorisation de la symbiose
mycorhizienne des vignes**

Présenté Par :

- 1) Melle BAHY MANEL HOUARIA
- 2) Melle BEKHECHI DJAZILA CHIRAZ
- 3) Melle BENBRAHIM HIDAYETT

Devant le jury composé de :

Dr Lachachi Meryem	M C A UAT.B.B (Ain Temouchent)	Présidente
Dr Tahari Fatima	M C A UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examinatrice
Dr. Benelhadj djelloul Saadia	M C A UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadreur

Année Universitaire 2023/2024

Résumé

L'objectif de cette étude est tout d'abord, d'évaluer les caractéristiques physico-chimiques des sols de *Vitis vinifera* de la région de Sidi ben adda (Ain Temouchent) sur deux sites, l'un moderne et l'autre traditionnel ; ensuite, de déterminer le taux de mycorhization de cette espèce végétale, en mesurant la fréquence de mycorhization, l'intensité globale de la mycorhization, et la richesse arbusculaire de la partie mycorhizée ; afin d'examiner l'effet des champignons mycorhiziens arbusculaires CMA (par inoculation contrôlée) sur la croissance de *Vitis vinifera*. Les analyses des sols prélevés sous l'espèce végétale *Vitis vinifera* des deux sites moderne et traditionnel dans la région de Sidi ben adda Ain temouchent indiquent que le sol a une texture limono-argileux et le phosphore assimilable et d'azote présentent des taux faibles. Les examens microscopiques des fragments de racines de *Vitis vinifera* de site moderne et traditionnel, ont révélé la présence de structures caractéristiques des mycorhizes arbusculaires, incluant principalement des hyphes, des arbuscules, des vésicules et des spores. Les fragments de site moderne et traditionnel sont fortement mycorhizés, L'analyse en composante principale (ACP) a permis de visualiser les relations entre les paramètres physicochimiques et microbiologiques des sols étudiés. Deux axes principaux expliquent 83,29 % de la variation totale observée. Le premier axe, qui explique 48,68 % de cette variation, regroupe plusieurs paramètres : le phosphore assimilable, l'azote total, le pH et l'argile, tous corrélés positivement avec des coefficients de corrélation significatifs allant de 0,84 à 0,89. En revanche, le phosphore et l'azote sont négativement corrélés avec l'intensité et la fréquence de mycorhization, avec un coefficient de corrélation significatif de -0,74.

Mots clés : CMA, *Vitis vinifera*, Les analyses physicochimiques du sol, analyses microbiologique, inoculation contrôlée.

الملخص

هدف هذه الدراسة هو أولاً، تقييم الخصائص الفيزيائية و الكيميائية لتربة نبات *Vitis vinifera* في منطقة سيدي بن عدة (عين تموشنت) في موقعين , احدهما مزرع بطريقة حديثة و الآخر بطريقة تقليدية , ثم تحديد معدل التعايش الجذري لهذه النبتة , بهدف دراسة تأثير الفطريات الشجيرية الجذرية CMA (عن طريق التلقيح المنظم) على نمو نبات *Vitis vinifera* تشير تحاليل التربة المأخوذة من النبات المدروس في الموقعين الموجودين في منطقة سيدي بن عدة عين تموشنت إلى أن التربة لها قوام طمي- طيني و أن الفسفور المتاح و النيتروجين يظهر بمعدلات منخفضة . كشفت الفحوصات المجهرية لقطع جذور نبات *Vitis vinifera* من الموقعين الحديث و التقليدي عن وجود هياكل مميزة للتعايش الجذري الشجيري , تشمل بشكل أساسي الخيوط الفطرية , الأشجار الفطرية , الاكياس البكتيرية و الجراثيم . قطع الجذور من الموقعين الحديث و التقليدي متعايشة جذريا بشكل كبير و قد سمح تحليل المكونات الرئيسية ACP برؤية العلاقات بين الخصائص الفيزيائية و الكيميائية و الميكروبيولوجية للتربة المدروسة . يفسر محوران رئيسيان 83.29 % من التغير الإجمالي المرصود . المحور الأول , الذي يفسر 84.68 % من هذا التغير , يجمع بين عدة معايير: الفسفور المتاح , النيتروجين الكلي , درجة الحموضة و الطين , جميعها مرتبطة ايجابيا بمعاملات ارتباط دلالة تتراوح من 0.84 الى 0.89 . بالمقابل , يرتبط الفسفور و النيتروجين بشكل سلبي مع شدة و تكرار التعايش الجذري , بمعامل ارتباط ذي دلالة قدره 0.74-

الكلمات المفتاحية : *Vitis vinifera*، التحاليل الفيزيائية والكيميائية للتربة، التحاليل الميكروبيولوجية، التلقيح المنظم

Abstract

The objective of this study is, first, to evaluate the physicochemical characteristics of the soils of *Vitis vinifera* in the Sidi ben Adda region (Ain Temouchent) at two sites, one modern and the other traditional; and then to determine the mycorrhization rate of this plant species by measuring the frequency of mycorrhization, the overall intensity of mycorrhization, and the arbuscular richness of the mycorrhized part; in order to examine the effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) (through controlled inoculation) on the growth of *Vitis vinifera*. Soil analyses taken from under the *Vitis vinifera* plant at the modern and traditional sites in the Sidi ben Adda Ain Temouchent region indicate that the soil has a loamy-clay texture and that the available phosphorus and nitrogen levels are low. Microscopic examinations of root fragments of *Vitis vinifera* from the modern and traditional sites revealed the presence of characteristic structures of arbuscular mycorrhizas, mainly including hyphae, arbuscules, vesicles, and spores. The root fragments from both the modern and traditional sites are highly mycorrhized. Principal component analysis (PCA) allowed visualization of the relationships between the physicochemical and microbiological parameters of the studied soils. Two main axes explain 83.29% of the total observed variation. The first axis, which explains 48.68% of this variation, groups several parameters: available phosphorus, total nitrogen, pH, and clay, all positively correlated with significant correlation coefficients ranging from 0.84 to 0.89. Conversely, phosphorus and nitrogen are negatively correlated with the intensity and frequency of mycorrhization, with a significant correlation coefficient of -0.74.

Keywords: AMF, *Vitis vinifera*, soil physicochemical analyses, microbiological analyses, controlled inoculation

Dédicace

Je dédie ce travail

«À mon cher papa» . Cette soutenance marque un moment important de ma vie, une étape significative qui n'aurait jamais été possible sans ton amour, ton soutien et tes encouragements infaillibles. Depuis mon plus jeune âge, tu as été mon guide, mon mentor et mon héros. Tu m'as appris la valeur du travail acharné, de la persévérance et de l'intégrité. Ton exemple m'a inspiré à viser l'excellence et à ne jamais abandonner, même face aux défis les plus ardues. Chaque succès que je connais aujourd'hui, je le dois à ton dévouement et à ta confiance en moi.

Papa, ce travail est dédiée à toi. C'est un hommage à tous les sacrifices que tu as consentis, à toutes les nuits sans sommeil que tu as passées à t'assurer que je ne manquais de rien, et à tout l'amour que tu m'as donné sans compter. Ta présence dans ma vie est un cadeau inestimable, et je mesure chaque jour la chance que j'ai de t'avoir comme père. Que cette soutenance soit le reflet de tout ce que tu m'as appris et de tout ce que nous avons accompli ensemble.

«À ma chère maman» . Je dédie ce travail à la mémoire de ma mère bien-aimée, qui a quitté ce monde trop tôt mais dont l'amour et les enseignements continuent de guider chacun de mes pas. Maman, ta force, ta sagesse et ton amour inconditionnel ont façonné la personne que je suis aujourd'hui. Ton sourire et tes encouragements m'accompagnent dans chaque instant de ma vie, même en ton absence physique. Tu étais mon plus grand soutien, ma confidente, et ma source d'inspiration. Chaque réussite que j'atteins est un hommage à ton dévouement et à tes sacrifices pour moi.

Ton souvenir m'a donné la force de continuer, même dans les moments les plus difficiles. Je sais que tu veilles sur moi, et c'est avec une immense gratitude et un profond respect que je te dédie cette réussite.

Maman, ce diplôme est autant le tien que le mien. J'espère que de là où tu es, tu es fière de moi. Merci pour tout ce que tu as fait, pour tout ce que tu as été, et pour tout ce que tu continues d'être dans mon cœur.

«À mon neveu ALI » Je te dédie cette soutenance avec tout mon amour et ma fierté. Puisse-tu toujours poursuivre tes rêves avec autant de détermination et de passion que tu le fais déjà. Que cette réussite soit une inspiration pour toi et que tu saches que je serai toujours là pour te soutenir dans tes projets.

«À mes sœurs Wided , Fatima et mon frère Mohamed» . Je tiens à dédier cette soutenance à mon frère et à mes sœurs. pour votre capacité à me redonner le sourire même dans les moments les plus difficiles. Votre amour et votre soutien m'ont donné la force de persévérer. Merci à vous, mes cher frère et sœurs, pour tout ce que vous avez fait pour moi.

*«À ma deux beaux frères **Khaled et Florian** » .Merci à vous, mes chers beaux frères, que je les considère comme mes vrais frères*

*«À mon amie d'enfance **Marwa** » .Je te dédie cette soutenance en hommage à notre amitié qui dure depuis toujours. Ton soutien, ta loyauté et ta présence à mes côtés ont été inestimables. Merci pour tous les moments partagés et pour avoir toujours cru en moi.*

*«À ma famille **Bahi**» .Je vous dédie ce travail en reconnaissance de votre amour, de votre soutien inébranlable et de votre encouragement constant. Sans vous, ce voyage n'aurait pas été possible. Merci pour tout.*

*«À mon binôme **Chiraz** » .Je te dédie notre travail en signe de gratitude pour ton incroyable collaboration et ton soutien tout au long de notre parcours. Ta détermination, ton enthousiasme et ton esprit d'équipe ont été essentiels à notre réussite. Merci pour tout.*

*«À **Hidayett**». Cette réussite est le fruit de notre collaboration et de notre détermination conjointe. Merci d'avoir été un partenaire aussi fiable.*

«À mes proches amis». Mami , Mouna ,kawter ,Iness, Ali , Ilyes , Houari , Boucif , Ilyes .je vous aime également et j'oublie jamais notre souvenirs ensemble .

"Bahi manel"

*Je dédie d'abord ce travail à **mon cher papa**, mon pilier et ma source de bonheur, ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation, aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour et le respect que j'ai toujours eu pour toi,*

GRACE à toi papa j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité, puisse dieu le tout puissant te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

*À **ma chère mère honorable** qui représente pour moi le symbole de la bonté et la source de tendresse, ta prière et la bénédiction m'ont été un grand secours pour mener à bien mes études, tu n'as pas cessé de m'encourager et me pousser vers le haut .Aucune dédicace ne saurait être assez pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices depuis ma naissance, durant mon enfance et même a l'âge adulte. -*

*À **ma grande soeur** qui m'as toujours soutenu et qui a toujours pris soin de moi même quand j'en avais pas besoin, en témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour toi, tu as toujours été mon model.*

*À **mes 2 frères**, mes heros que j'aime beaucoup, vous êtes toujours dans mon coeur, je remercie dieu de vous avoir à mes cotés, je vous remercie d'être l'épaule sur laquelle je peux toujours compter.*

*À **mes belles soeurs** que je considère comme mes soeurs je vous dédie ce travail avec tout mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.*

*À **mes deux petites sœurs** neila,mimi et mes chères copines Rihem, kami, yousra et sabrina que j'aime énormément,*

Sans oublier mon binôme Manel qui m'a soutenu et aidé dès notre première année, Hidayett au passage.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci pour votre amour et encouragement.

"Bekhechi Chiraz"

Je dédie ce mémoire A mes très chers parents

Chère mère «Aïcha »source d'amour, de bonheur, perle de ma vie Grâce à ton soutien aujourd'hui je suis là ,Votre présence et vos encouragements ont été mes piliers de force merci maman je t'aime.

Cher père «Mohamed» mon bon exemple dans la vie , L'épaule solide Grâce à toi papa j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité je t'aime papa . Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour l'estime et le respect que j'ai toujours eu pour vous deux

A mon cher frère : Salah Eddine

À mes chers sœurs : Nour El houda , Hanaa

A mon trinôme: Manel et Chiraz .

A mes grands-parents, mes tantes et tous mes oncles, à mes chers cousins et cousines

Pour mes amis proches : Zoulikha , Bouchra , Rayhane

*A la famille **BENBRAHIM** et A la Famille **DRIF***

"Benbrahim Hidayett"

Remerciement

*Nous sommes extrêmement reconnaissantes envers **ALLAH** pour toutes les
bénédictions et le succès
qu'il nous a accordés tout au long de notre parcours.*

*Nous remercions notre directrice de recherche **Mme BELHADJ** pour tout
l'aide qu'elle nous a présenté , pour la qualité de son encadrement, son aide et
ses conseils, ses orientations et surtout pour sa patience.*

*les membres de jury qui ont évalué notre humble travail de recherche
on voudrait remercier d'abord la présidente **Mme Lachachi M**, pour avoir
honoré de sa présence, ce jury, en acceptant de le présider. Je remercie **Mme
Tahari F** d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nous remercions également tous les enseignants(e) du Microbiologie qui ont
été présents (e) pendant tout notre cursus universitaire ainsi que toutes les
personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail .*

*Nous remercions également tous lieu aux financeurs de laboratoire Biologie de
l'université Belhadj Bouchaib -Ain t'émouchent, Surtout l'ingénieur de
laboratoire.*

*Nous remercions chaleureusement nos chers parents et tous ceux
qui ont contribué de près ou de loin à rendre cette journée possible*

Liste des figures

Figure 01	Représentation schématique des sections transversales des huit types des mycorhizes (Garbaye, 2013).	4
Figure 02	Différents types d'ectomycorhizes en manchon sur des racines d'arbres (Marc-André Selosse,2020).	4
Figure 03	Schéma de la structure du mycorhize arbusculaire dans une coupe racinaire.	6
Figure 04	arbre phylogénétique des Glomeromycota basé sur l'analyse des séquences de la petite sous-unité ribosomale (Schwarzottet al., 2001).	7
Figure 05	Deux principaux types de colonisation des racines dans les mycorhizes arbusculaires(Smith et Read,2008).	8
Figure 06	Schéma des différentes étapes de colonisation des CMA (Bonfante et Genre, 2010).	9
Figure 07	Classification botanique de la vigne cultivée (Reynier,2007).	15
Figure 08	Système racinaire de <i>Vitis vinifera</i> (www.ledictionnairevisuel.com).	16
Figure 09	Le tronc de <i>Vitis vinifera</i> .	17
Figure 10	Feuille de <i>Vitis vinifera</i> .	18
Figure 11	Vrille de la vigne <i>Vitis vinifera</i> .	18
Figure 12	Les fleurs de la vigne.	20
Figure 13	Les fruits de <i>Vitis vinifera</i> .	20
Figure 14	Stades phénologiques de la vigne (Carbonneau et al .,2007).	22
Figure 15	Localisation de Sidi Ben Adda de la Wilaya de Ain Temouchent.	25
Figure 16	Précipitations (a) et températures (b) moyennes mensuelles de Sidi ben adda Ain temouchent ; (https://planificateur.acontresens.net/afrique/algerie/wilaya-de-ain-temouchent/ain_temouchent/2507901.html).	26
Figure 17	Situation géographique du site traditionnel (googlemaps)	27
Figure 18	Situation géographique du site moderne(googlemaps)	27
Figure 19	Présentation de matériel végétal <i>Vitis vinifera</i> de la région d'AinTemouchent.	28
Figure 20	Présentation des échantillons des sols de la région d'Aintemouchent.	28

Figure 21	les différentes étapes de la coloration des racines végétales selon la méthode de (Philippe et Hayman 1970) .	31
Figure 22	Répartition en classes de la colonisation du cortex racinaire par les CMA et la présence d'arbuscules (Trouvelot et al., 1986) .	33
Figure 23	Protocole d'inoculation par les champignons endomycorhiziens de <i>Vitis vinifera</i> .	34
Figure 24	Les structures endomycorhiziennes dans les racines de <i>Vitis vinifera</i> des deux sites moderne (a et b) et traditionnel (c et d) de la région de Ain Temouchent	39
Figure 25	Pourcentage d'infection racinaire de <i>Vitis vinifera</i> .	40
Figure 26	Effet de l'inoculation sur le poids frais et le poids sec total après 50 jours d'inoculation de <i>Vitis vinifera</i>	42
Figure 27	Observation microscopique des structures endomycorhiziennes CMA dans les racines de <i>Vitis vinifera</i> après 50 jours de culture.	43
Figure 28	Pourcentage d'infection racinaire de <i>Vitis vinifera</i> .	44
Figure 29	Analyse en composantes principales entre les paramètres physico-chimiques et microbiologiques du sol de <i>Vitis vinifera</i> .	45

Liste des tableaux

Tableau 01	Classification de <i>Vitis vinifera L</i> selon APG III (2009)	15
Tableau 02	Analyse physico-chimique des sols d'espèce <i>Vitis vinifera</i> moderne et traditionnel de la région d'Ain Témouchent.	36
Tableau 03	Teneur en phosphore et en azote des feuilles de <i>Vitis vinifera</i> de la région d'Ain Témouchent.	41

Liste des abréviations

J.C:Jésus CHRIST

KOH: Hydroxyde potassium

MO: matière organique

Ppm: partie par million

P: phosphore

N: azote

%:pourcentage

CaCO₃: calcaire

pH :Potentiel hydrogène

CMA: Champignonmycorhiziens à arbuscule

Myc : mycorhize

F : fréquence de mycorhization

M:l'intensité globale de mycorhization

a:l'intensité arbusculaire d'un fragment

A: l'intensité arbusculaire globale

ACP: analyse en composantes principales.

V : Vésicule

A : Arbuscule

H : Hyphe

Sommaire

- **Résumé**
- **Dédicace**
- **Remerciement**
- **Liste des figures**
- **Liste des tableaux**
- **Liste des abréviations**

Introduction	1
<i>Chapitre I : Synthèse bibliographique</i>	
I. Symbioses mycorhiziennes	3
1. Généralité sur les mycorhizes	3
2. Les différents types de champignons mycorhiziens à arbuscules CMA	3
2.1. Ectomycorhizes	4
2.2. Ectendomycorhizes	5
2.3. Endomycorhizes	5
2.3.1. Endomycorhizes à pelotons (orchidés)	5
2.3.2. Endomycorhizes éricoïdes	5
2.3.3. Endomycorhizes arbusculaires et à vésicules CMA	5
3. Mycorhizes à arbuscules	6
3.1. Généralités	6
3.2. Types de mycorhizes arbusculaires	7
4. Cycle de vie	8
4.1. Phase asymbiotique	8
4.2. Phase pré-symbiotique	9
4.3. Phase symbiotique	9
5. Structure des CMA	10
5.1. Structure intra radiculaire	10
5.1.1. Pelotons	10
5.1.2. Arbuscules	10
5.1.3. Vésicules	10
5.2. Structure extra radiculaire	10
5.2.1. Spores asexuées	10
5.2.2. Hyphes	10

6.	Bénéfices de la symbiose mycorhizienne à arbuscules	11
6.1.	Pour le champignon	11
6.2.	Pour la plante hôte	11
6.2.1.	Mycorhization et amélioration de la nutrition minérale	11
6.2.2.	Amélioration de la nutrition phosphatée	11
6.2.3.	Amélioration de la nutrition en Oligo-éléments	12
6.2.4.	Mycorhizes et le statut hydrique de la plante	12
6.2.5.	Activité hormonale	12
6.2.6.	Résistance aux maladies	13
II.	Généralités sur la vigne	13
1.	Historique	13
2.	Classification de la vigne	14
3.	Description la botanique de la vigne	16
3.1.	La morphologie de la vigne	16
3.2.	Le système racinaire	16
3.3.	Le système aérien	16
3.3.1.	Le tronc	16
3.3.2.	Le sarment	17
3.3.3.	Les feuilles	18
3.3.4.	Les vrilles	18
3.3.5.	Les bourgeons	19
3.3.6.	Les fleurs	19
3.3.7.	Les fruits	20
3.4.	Le cycle végétatif et reproducteur de la vigne	21
4.	L'intérêt de la vigne	22
5.	Influence sur le terroir et la qualité de <i>Vitis vinifera</i>	23

Chapitre II : Matériel et méthodes

I.	Objectif	25
II.	Présentation de site d'étude Sidi ben adda	25
1.	Situation géographique	25
2.	Climat et température	25
III.	Etude comparative entre la méthode traditionnelle (ordinaire) et la méthode moderne (palissage) de plantation de la vigne	26

IV.	Matériels et méthodes	27
1.	Echantillonnage	27
1.1.	Matériel végétale	27
1.2.	Le sol	28
1.2.1.	Etude physique chimique du sol	28
2.	Evaluation des paramètres de la mycorhization des racines récoltées de <i>Vitis vinifera</i>	30
2.1.	Lavage	30
2.2.	La coloration des racines	30
2.3.	Montage sur lame et l'observation	31
2.4.	Estimation de taux de mycorhization	31
2.4.1.	La fréquence de mycorhization (F%)	31
2.4.2.	L'intensité de colonisation du cortex (M%)	31
2.4.3.	La richesse arbusculaire de la partie mycorhizée (a%)	32
2.4.4.	La richesse arbusculaire du système racinaire (A%)	32
2.5.	Préparation d'inoculum mycorhizien	33
6.	Teneur en azote et en phosphore des parties aériennes	34
7.	Analyse statistique	35

Chapitre III: Résultats et discussion

I.	Résultats	36
1.	Analyse physicochimique des sols	36
1.1.	L'analyse granulométrique	36
1.2.	La conductivité CE	37
1.3.	Le pH	37
1.4.	Le carbone	37
1.5.	La matière organique	37
1.6.	L'azote	37
1.7.	Le phosphore assimilable	38
1.8.	Le calcaire total	38
2.	Mise en évidence de la colonisation racinaire MA de <i>Vitis vinifera</i> des sites moderne et traditionnel de la région d'Ain Témouchent.	38
2.1.	Observation microscopique des structures mycorhiziennes des racines de <i>Vitis vinifera</i> des sites moderne et traditionnel de la région d'Ain Témouchent.	38

2.2.	Estimation de taux de mycorhization	39
2.2.1.	Fréquence de mycorhization (F%)	40
2.2.2.	Intensité de la colonisation dans le système racinaire (M%)	40
2.2.3.	La richesse arbusculaire de la partie mycorhizées (a%)	41
2.2.4.	La richesse arbusculaire du système racinaire (A%)	41
3.	Teneur des parties aériennes en phosphore et en azote	41
4.	Effet de l'inoculation contrôlée sur le poids frais et le poids sec de <i>vitisvinifera</i>	41
4.1.	Mise en évidence des mycorhizes dans les racines de <i>Vitis vinifera</i>	42
5.	Analyse en composante principales (ACP)	44
5.1.	Relations entre les différents paramètres physicochimiques et microbiologiques du sol	44
II.	Discussion	45
	Conclusion	50
	Références bibliographiques	51

introduction

Introduction

La viticulture est une filière agricole très répandue dans le monde, elle consiste à produire des fruits à différents usages (raisin de table, raisin sec et raisin de cuve). Selon la publication de l'**OIV** (Organisation Internationale de la Vigne) en 2005, la viticulture occupe 7 929 000 ha dans le monde. Selon **Aouf (1972)**, le développement viticole en Algérie remonte aux alentours de 1860, couvrant diverses régions telles que l'Ouest (Tlemcen, Sidi bel Abbes et Ain temouchent), l'Est (Skikda et Béjaïa) et le Centre (collines de Sahel, Blida, Médéa, Mitidja et Kabylie) (**Lery, 1982**). Entre 2000 et 2006, la production annuelle moyenne en Algérie était de 275 mille tonnes (**Lery, 1982 ; Saraoui, 2006**). Le rendement varie selon les facteurs biotiques et abiotique, en aire écologique les plants sont exposés aux différentes interactions entre les micro-organismes tels que les mycorhizes (**Meyer et al., 2008**).

La fertilité des sols est principalement liée à une faune et flore actives et diversifiées, notamment par ses micro-organismes (**Zornoza et al., 2015**). Ces derniers ont un rôle très important dans le cycle de la matière organique et dans la génération d'éléments nutritifs pour les plantes par des processus enzymatiques (**Nannipieriet al., 1990**). Pourtant la grande majorité des procédés en agriculture ont été mis au point sans prendre en compte l'existence et les bénéfices de ces microorganismes en général et aux champignons mycorhiziens arbusculaires en particulier.

Les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) sont largement distribués dans presque tous les écosystèmes terrestres et forment des relations symbiotiques avec les racines de près de 80% de toutes les espèces végétales (**Yang et al., 2014**). Leur rôle majeur est l'amélioration de la nutrition hydrique et minérale des plantes. Plusieurs études ont démontré que sans l'association avec un champignon symbiotique, la plante croît plus lentement. Les CMA pourraient donc avoir un potentiel bio-fertilisant (**Hijriet al., 2006 ; Gianinazziet al., 2010 ; Ziane et al., 2017 ; Aouissi, 2018**) par la stimulation de la croissance des plantes et un potentiel de bioprotection en atténuant les dommages causés par les stress environnementaux et en particulier les stress hydrique et salin.

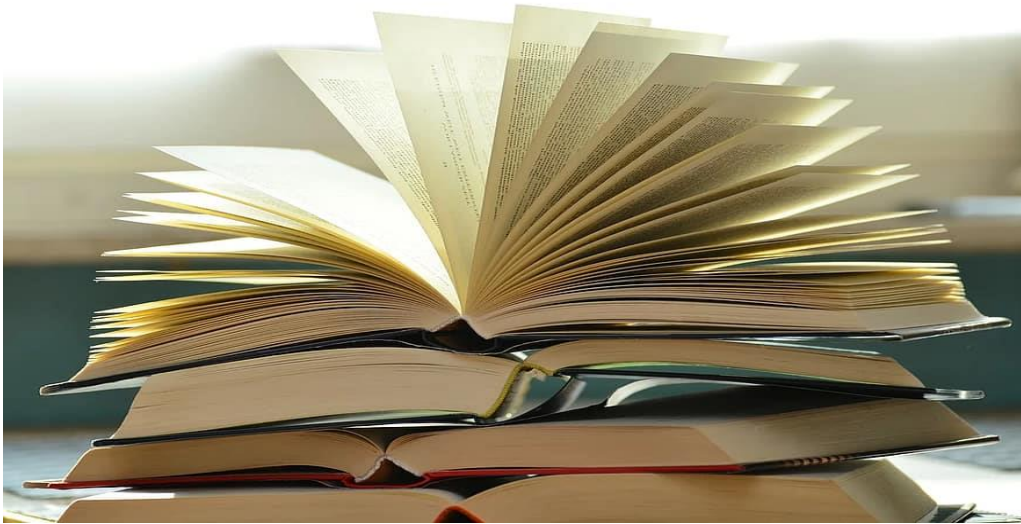
Les effets bénéfiques des champignons MA (biofertilisation) sur la performance des plantes et la santé des sols, sont indispensable à la gestion durable des ressources et écosystèmes agricoles. Ainsi, des inocula mycorhiziens de commerce ont été développés et appliqués comme solution pour renforcer les communautés de CMA déjà présentes dans les

sols et pallier à leur carence. L'usage de ces inocula dans plusieurs pays développés et certains pays en voie de développement a montré le potentiel de cette biotechnologie à augmenter le rendement des cultures et à réduire les effets des stress environnementaux et la pollution engendrée par les engrais (**Jochems-Tanguay, 2014**).

Les objectifs de ce travail sont : en premier lieu, l'évaluation des caractéristiques physicochimiques des sols de *Vitis vinifera* des deux sites moderne et traditionnel, deuxième lieu, l'évaluation du taux de mycorhization de cette espèce végétale (Fréquence de mycorhization, Intensité globale de la mycorhization, la richesse arbusculaire de la partie mycorhizée) et en troisième lieu, étude de l'effet des champignons mycorhiziens (inoculation contrôlée) sur la croissance de *Vitis vinifera*.

Notre travail est divisé en trois chapitres, le premier chapitre est une étude bibliographique sur les mycorhizes et une description botanique de *Vitis vinifera*, le deuxième chapitre présente le matériel et les méthodes : présentation de la zone d'étude, et la méthodologie expérimentale utilisée et le troisième chapitre est consacré à la présentation des résultats obtenus et leur discussion.

Chapitre I :
Synthèse bibliographique



I. Symbioses mycorhiziennes

1. Généralité sur les mycorhizes

Le terme mycorhize, qui résulte de la combinaison de deux mots grecs ‘mukès’ (champignon) et ‘rhiza’ (racine), désigne l’association symbiotique entre des champignons bénéfiques du sol et les racines des plantes. Ce terme utilisé pour la première fois par **Frank (1885)**, regroupe aujourd’hui plusieurs types de symbioses mycorhiziennes selon le champignon impliqué et les structures symbiotiques formées (**Gianinazzi 1983**).

Un phytopathologiste allemand a décrit les mycorhizes comme une association symbiotique pour la première fois en 1855 (**Pierart, 2012**). Cette symbiose réciproque entre champignons et racines la plus commune et peut être la plus importante dans le règne végétal, qui signifie littéralement « racine de champignon » (**Raven et al, 2007**).

Ces champignons biotrophes obligatoires sont capables de coloniser près de 90% des plantes terrestres (**Smith et Read, 2008**) et sont présents dans différents milieux tels que les forêts boréales, tropicales et tempérées ainsi que les toundras, les prairies et de nombreuses terres cultivées (**Read et Perez-Moreno, 2003**).

Ce sont des organismes asexués et symbiotiques obligatoires (**Schulberet al., 2001**). Qui vivent à l’intérieur des racines en formant des structures bien différenciées et présentant des prolongements mycéliens exceptionnels qui se diffusent dans le sol pendant le stade de vie symbiotique (**Diem et al., 1998**). Les champignons mycorhiziens les plus courants sont ceux à arbuscules, qui comptent 160 espèces divisées en 3 familles et 6 genres, connues sous le nom de glomales.

Quelques familles de plantes vasculaires sont qualifiées de non mycotrophes, elles n’établissent pas de symbiose mycorhizienne, il s’agit des Crucifères, des Chénopodiacées des Amaranthacées des Cypéracées, des Urticaceae, des Juncacées et quelque espèces de Caryophallacées (**Vosatka et Albrechtova, 2009**)

2. Les différents types de champignons mycorhiziens à arbuscules CMA

On distingue trois grands types de mycorhizes, basés principalement sur leur morphologie et le type de plante hôte associé : les ectomycorhizes, les ectendomycorhizes et les endomycorhizes (**Harley et Harley, 1987**) (Figure 1).

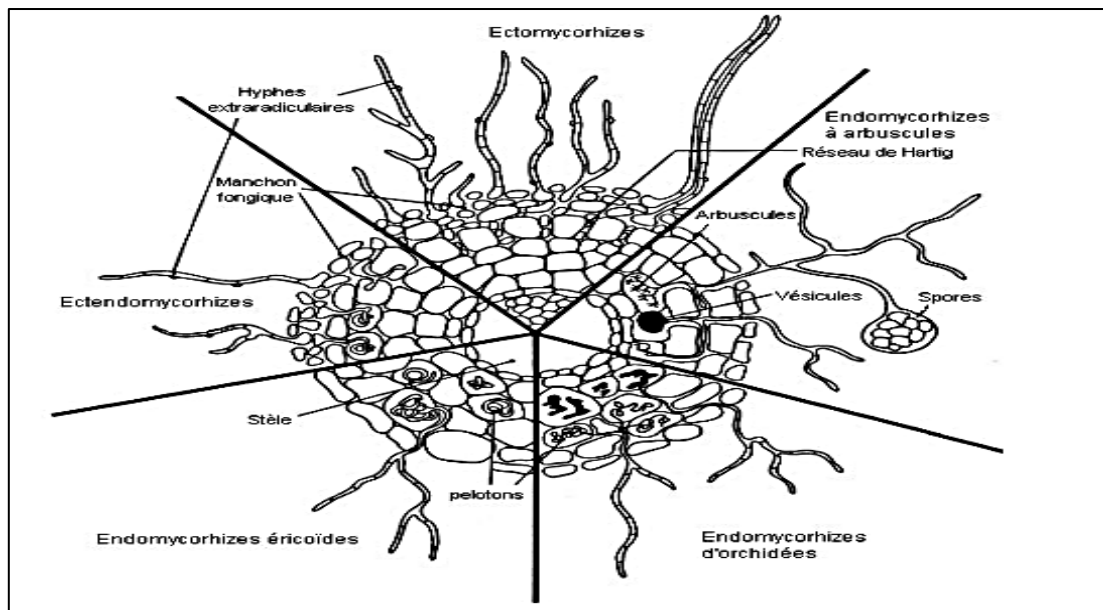


Figure 01 : Représentation schématique des sections transversales des huit types de mycorhizes (Garbaye, 2013).

2.1. Ectomycorhizes

Les ectomycorhizes sont diversement disposées sur les systèmes racinaires (Figure 02). (Du grec “ecto”, signifie extérieur) les espèces végétales impliquées sont généralement des arbres ou des arbustes sont très représentées que ce soit dans les forêts montagne, froides, tempérées ou tropicales, mais aussi elles comprennent les communautés des arbustes nain arctique-alpine, la végétation méditerranéenne et de nombreuse espèces dans les Dipterocarpeacea et les légumineuses (Caesalpinoideae) dans les forêts tropicales (Finaly, 2008).



Figure 02 : Différents types d'ectomycorhizes en manchon sur des racines d'arbres (Marc-André Selosse, 2020).

2.2. Ectendomycorhizes

Comme le nom l'indique, ce sont des formes intermédiaires qui possèdent à la fois des caractères d'ecomycorhize, la présence du manteau fongique, du réseau intercellulaire (réseau du Hartig), et des endomycorhizes, la colonisation des cellules racinaires par les hyphes mycéliennes (suçoirs intra cellulaires) (**Wilhelm et Nuktsch ,1998**). Ce type d'association symbiotique est formé par des champignons mycorhiziens de type Basidiomycètes (**Mikola, 1988**). Il a été envisagé comme une interaction moins importante chez les conifères, mais juste une colonisation précoce des plantules (**Smith et Read, 1997**).

2.3. Endomycorhizes

Ce sont des champignons qui pénètrent dans les cellules des racines, elles existent Chez environ 80 % de toutes les plantes vasculaires (**Raven et al, 2007**). Et ne formant pas de manchon fongique mais dont les hyphes pénètrent dans les cellules du cortex racinaire (**Redon, 2009**). Les endomycorhizes se développent sur sols minéraux, et concernent 200 à 500 espèces fongiques (**Jany, 2002**). Elles forment des arbuscules, des vésicules ou des hyphes spiralés (**Béreau et al, 2003**). Il existe trois types d'endomycorhizes : Les endomycorhizes à vésicules et arbuscules, les endomycorhizes à pelotons (orchidées), Les endomycorhizes éricoïdes (**Philippe et Fabienne, 2013**). Les endomycorhizes sont classés en :

2.3.1. Endomycorhizes à pelotons (orchidées)

Les orchidées ont souvent un système racinaire réduit le nombre d'entre elles poussent dans des milieux particulièrement pauvres comme des pelouses sèches ou sur des branches d'arbres (**Dedelin et selosse, 2011**).

2.3.2. Endomycorhizes éricoïdes

Les mycorhizes éricoïdes sont caractérisés par la pénétration du champignon dans les cellules épidermiques du chevelu racinaire fin. Des pelotons sont formés dans ces cellules et les champignons ne se propagent pas de cellule à cellule (**Smith et Read, 2008**).

2.3.3. Endomycorhizes arbusculaires et à vésicules (CMA)

C'est la forme la plus répandue parmi les endomycorhizes. Le champignon forme dans l'écorce de la racine des vésicules elliptiques et des hyphes intracellulaires finement ramifiées en arbuscules qui représentent des suçoirs. Tous les endomycorhizes CMA appartiennent à

l'ordre des Endogoniales (Figure 03). Ces dernières ont été observées dans presque toutes les familles d'angiospermes, par contre seulement dans des rares cas chez les Gymnospermes (**Wilhelm et Nuktsch , 1998**).

Enfin, nous nous intéressons plus particulièrement aux champignons (endo) mycorhiziens à arbuscules (CMA) qui constituent le type de mycorhizes le plus répandu et le plus ancien, qui auraient coévolué avec les plantes terrestres depuis au moins 460 millions d'années (**Redecker et al., 2000**) et qui sont maintenant incapables de survivre sans plante hôte (ce sont des symbiotes obligatoires).

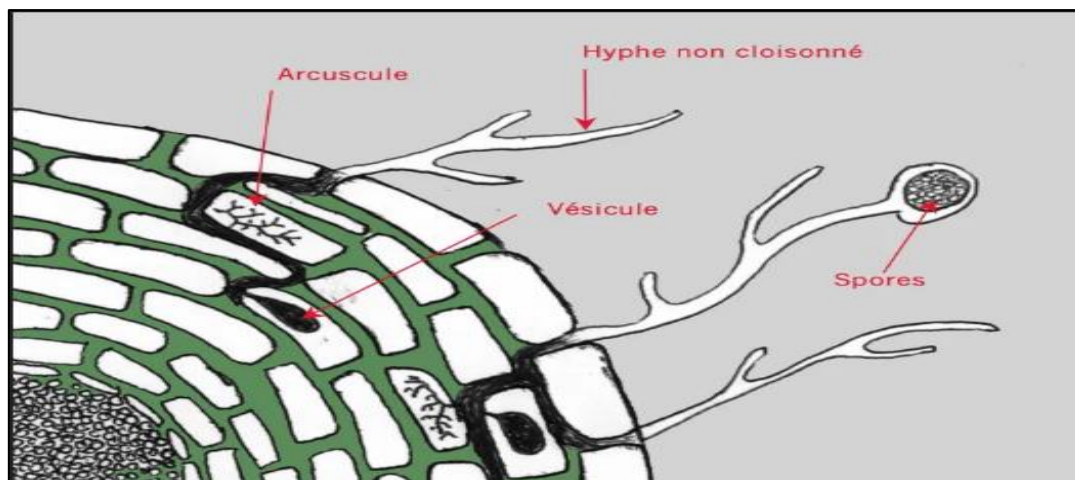


Figure 03:Schéma de la structure du mycorhize arbusculaire dans une coupe racinaire (<https://cultiver-les-champignons.com/mycorhize/>)

3. Mycorhizes à arbuscules

3.1 .Généralités

La grande majorité des végétaux terrestres vivent en étroite collaboration avec de nombreux organismes du sol parmi lesquels existent les champignons mycorhiziens jouent un rôle primordial. L'étude de fossiles du Dévonien supérieur a révélé que les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) et les plantes sont devenus étroitement liés, interdépendants, il y a de cela plus de 460 millions d'années (**Redecker et al., 2000**). C'est ainsi que les CMA ont directement contribué à l'évolution du monde vivant, au développement de la biodiversité, à la survie des végétaux et par conséquent à l'équilibre des écosystèmes actuels. Ces champignons biotrophes obligatoires sont capables de coloniser près de 90% des plantes terrestres (**Smith et Read, 2008**) et sont présents dans différents milieux tels que les forêts boréales, tropicales et tempérées ainsi que les

toundras, les prairies et de nombreuses terres cultivées (**Read et Perez-Moreno, 2003**). Cette symbiose mycorhizienne est observable chez de nombreuses espèces végétales, qu'il s'agisse des mousses, des fougères, des gymnospermes et des angiospermes (monocotylédone et dicotylédone) (**Brundrett, 2009**). Cette symbiose est d'ailleurs retrouvée chez des plantes cultivées à grande échelle, comme le blé, le maïs, le riz et le soja (**Bonfante et Perotto, 1995; Garcia-Garrido et al., 2000; Smith et Read, 2008**). Parmi les espèces végétales formant peu ou pas ce type d'association, nous pouvons distinguer les plantes qui appartiennent aux familles des Brassicaceae, Chenopodiaceae et Urticaceae, sans oublier le genre *Lupinus*, une exception de la famille des Fabaceae habituellement mycotrophe (**Sumbaliet al., 2009**).

Récemment une nouvelle taxonomie basée sur l'analyse de la sous-unité 18S de l'ADNr a permis de construire l'arbre phylogénétique des Glomeromycètes (Glomeromycota) qui nécessite encore d'être amélioré (**Schwarzott et al., 2001**) (Figure 4)

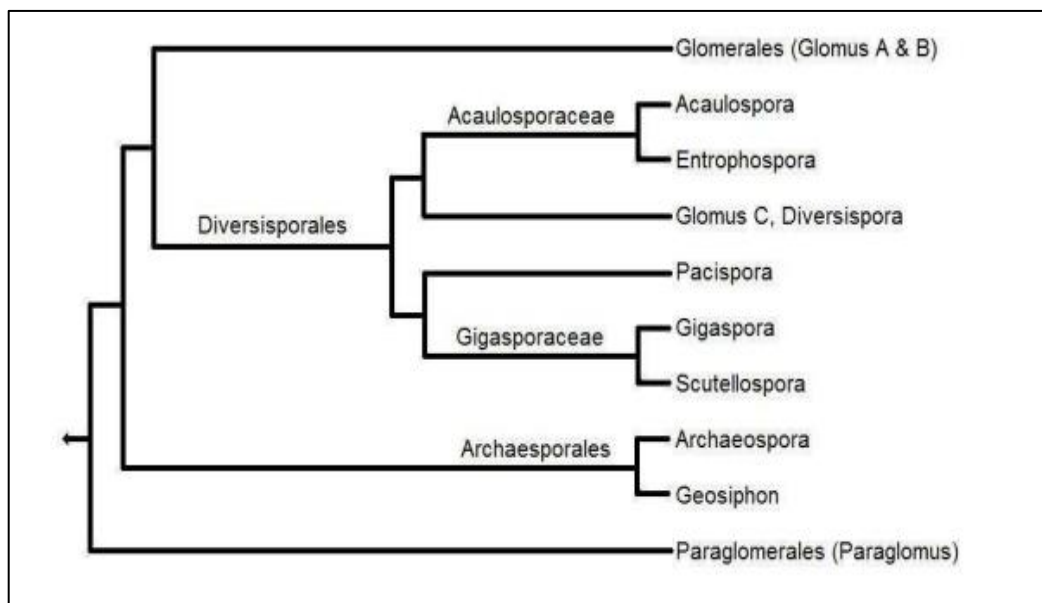


Figure 04: Arbre phylogénétique des Glomeromycota basé sur l'analyse des séquences de la petite sous-unité ribosomale (**Schwarzott et al., 2001**).

3.2. Types de mycorhizes arbusculaires

L'aspect du champignon à l'extérieur de la racine est toujours assez similaire (spores mycélium extracellulaires), mais la forme que prend le champignon à l'intérieur des cellules corticales varie d'une espèce à une autre, ceci définit deux types : type Arum et le type Paris (**Smith et Read, 2008**).

- Le type Arum est caractérisé par des hyphes qui cheminent entre les cellules et émettent des branches latérales qui traversent la paroi cellulosique et se ramifient finement à l'intérieur d'une cellule (Figure 5 A).
- Le type Paris est caractérisé par des hyphes intracellulaires enroulés en spires ou en pelotons lâches (Figure 5 B).

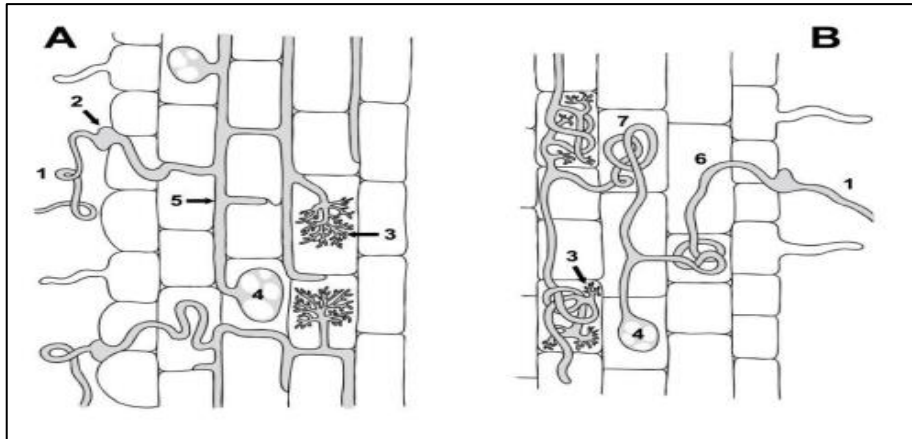


Figure 05 : Deux principaux types de colonisation des racines dans les mycorhizes arbusculaires (Smith et Read, 2008).

A: type -Arum B: type -Paris 1: hyphes extra radiculaires 2: appressorium
 3: arbuscules 4: vésicules 5: hyphe intercellulaire 6: hyphe intercellulaire 7: peloton.

4. Cycle de vie

Chez les CMA, il n'y a pas de spécificité entre la plante-hôte et le partenaire fongique (Mosse, 1981 ; Smith et Read, 2010). Un champignon endomycorhizien peut s'associer à plusieurs plantes et une même plante peut être infectée par plusieurs espèces de CMA. Cependant il ya des différences spécifiques dans la réponse des plantes hôtes aux CMA et vice-versa (Vander Heijden, 1998). Un CMA s'installe grâce à une succession d'interactions entre le champignon et la plante-hôte, qui conduisent à une intégration morphologique et fonctionnelle des deux symbiotes (Gianinazzi-Pearson, 1996) (Figure 6).

4.1. Phase asymbiotique

Les spores peuvent germer spontanément et produire un hyphe germinatif et quelques ramifications primaires sans stimulus exogène (Siquiera *et al.*, 1985). Lorsqu'aucun partenaire végétal est à proximité, les hyphes germinatifs se cloisonnent et le cytoplasme se rétracte dans la spore (Requena *et al.*, 2007). Les spores des CMA sont capables des germer

ou d'entrer à nouveau en dormance de nombreuses fois, si des signaux racinaires ne sont pas perçus (Koske, 1981)

4.2.Phase pré-symbiotique

Avant le premier contact physique, les deux partenaires de la symbiose émettent des signaux dans le sol, qui leur permettent d'être informés de leur présence respective. Un certain nombre de gènes impliqués dans l'établissement de la symbiose seront alors activés (Bonfante *et al.*,1980).

4.3. Phase symbiotique

Les champignons forment une structure renflée au contact de l'épiderme appelée hyphopode. Les cellules végétales réorganisent leur cytosquelette et forment un système membranaire de pré-pénétration, qui va permettre au champignon d'entrer et d'atteindre la zone corticale de la racine pour y développer des structures hyper-ramifiées appelées arbuscules, lieu d'échanges entre les partenaires (Genre *et al.*, 2005).

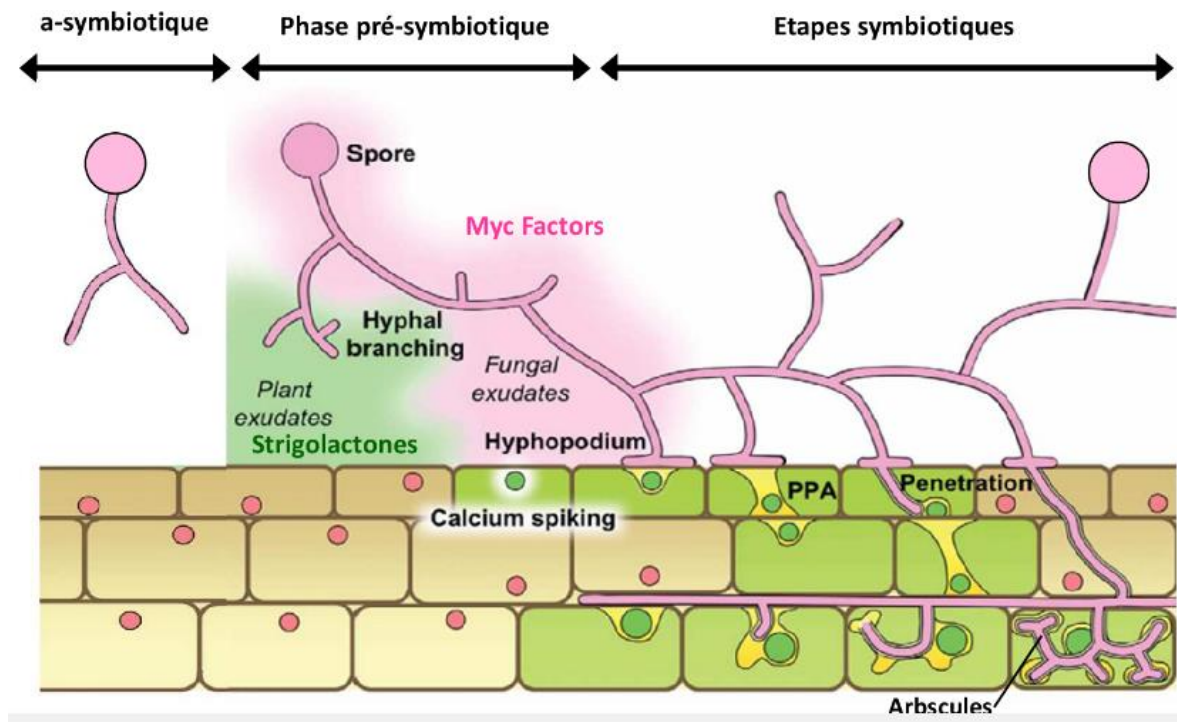


Figure 06:Schéma des différentes étapes de colonisation des CMA (Bonfante et Genre, 2010).

5. Structure des CMA

5.1. Structure intra radriculaire

5.1.1. Pelotons

Dans les cellules corticales périphériques envahies par le champignon, l'hyphe ne se ramifie pas et s'enroule sur elle-même, formant un peloton (**Dexheimer, 1997**).

5.1.2. Arbuscules

L'arbuscule est l'unité au niveau de laquelle se produisent les échanges entre la plante hôte et le champignon. C'est une ramification latérale des hyphes fongiques dans les cellules du cortex racinaire où le champignon pénètre et croit à l'intérieur (**Guissou, 2001**). Ce dernier joue un rôle dans le transfert du phosphore et du carbone entre deux partenaires, mais la durée de vie est quelques jours (**Selosse, 2004**).

5.1.3. Vésicules

Se présentent dans ou à l'intérieur du cortex racinaire, et sont des petits sacs à paroi épaisse, intra- ou intercellulaires, de forme variable et contenant un grand nombre de noyaux et des gouttes de lipides. Elles jouent un rôle dans l'accumulation de réserves en carbone sous forme des lipides suggèrent un rôle de conservation et de dissémination du champignon après la mort de racine. (**Garbaye, 2013**).

5.2. Structure extra radriculaire

5.2.1. Spores asexuées

La spore est une structure unicellulaire de forme généralement globoïde à paroi épaisse formée de plusieurs couches de différentes textures reliées au réseau filamenteux par un hyphe suspenseur de morphologie variée. Les caractères morphologiques étant réduits et varient souvent selon la maturité des spores étudiées (**Blaszkowski, 2008**).

5.2.2. Hyphes

Les hyphes sont des filaments mycéliens intra ou extra-racinaires permettant aux champignons d'explorer le sol et de coloniser la plante hôte. La pénétration du mycélium dans les cellules du cortex racinaire se fait par l'intermédiaire de l'haustorium (suçoir), gonfle en formant des vésicules ou se ramifie en donnant une forme arborescente (**Luttgeet al., 2002**).

6. Bénéfices de la symbiose mycorhizienne à arbuscules

6.1. Pour le champignon

L'interaction mycorhizienne se caractérise par un transfert bi-directionnel de nutriments. En échange du carbone fourni par la plante, les CMA améliorent la nutrition hydrique et minérale de la plante, notamment en phosphore et en azote. Ces échanges nutritionnels sont au centre de l'association mycorhizienne et agissent en tant que régulateurs de la symbiose (**Jakobsen, 1995; Fitter, 2006; Javotet al., 2007**). En effet, pour éviter qu'un partenaire prenne l'avantage sur l'autre, comme c'est le cas pour le parasitisme, une régulation fine des échanges et de l'invasion des tissus de la plante par le champignon est mise en place (**Balerguet al., 2011; Kierset al., 2011**).

6.2. Pour la plante hôte

6.2.1. Mycorhization et amélioration de la nutrition minérale

Dans la plupart des cas, l'effet bénéfique des mycorhizes est dû à une amélioration de la nutrition minérale de la plante-hôte, surtout en ce qui concerne les éléments peu mobiles dans le sol tels que P (Phosphore), Zn (Zinc) et Cu (Cuivre) (**Tinker, 1984 ; Nouaim et Chaussod, 1996**). Il n'est pas exclu que la nutrition azotée puisse aussi être améliorée sous l'effet de la mycorhization (**Nouaim et Chaussod, 1996**). L'efficacité de systèmes racinaires mycorhizés est due principalement à une extension de la surface d'absorption et du volume de sol prospecté grâce aux hyphes fongiques. **Sylvia (1986)** a mesuré une moyenne de 12 mètres d'hyphes de champignons endomycorhiziens par gramme de sol dans une dune subtropicale et estime que la longueur d'hyphes qui se développent autour de la racine peut atteindre 200 à 1000 mètres pour un centimètre de racine. Par ailleurs, dans son étude, **Dodd (1994)** rapporte que le mycélium extracellulaire de *Glomus geosporum* et *G. monosporum* peut s'étendre à une distance de 6 à 9 cm de la racine. L'efficacité des souches pourrait être au moins en partie fonction de leur capacité à former rapidement un réseau important d'hyphes extra-racinaires (**Nouaim et Chaussod, 1996**).

6.2.2. Amélioration de la nutrition phosphatée

Dans toutes les comparaisons plante témoin/ plante mycorhizée, on observe que la quantité de phosphore prélevée est plus importante chez la plante mycorhizée (**Mosse, 1973**). De façon générale, les plantes mycorhizées accumulent plus de phosphore que les plantes non

mycorhizées. Cette accumulation est due à une absorption par le champignon puisqu'elle disparaît par l'application d'un fongicide. Le phosphore est stocké dans les structures fongiques sous forme de polyphosphates, il est ensuite transféré à la plante au niveau de l'interface arbusculaire (Gianinazzi-Pearson et Gianinazzi, 1986 ; Nouaim et Chaussod, 1996).

6.2.3. Amélioration de la nutrition en Oligo-éléments

Si l'amélioration de la nutrition minérale par la symbiose mycorhizienne a été surtout étudiée pour le phosphore, on sait qu'une nutrition équilibrée dépend aussi d'autres éléments tels que le soufre ou les oligo-éléments comme le cuivre, le zinc, le manganèse et le fer (Tinker, 1984 ; Kothari *et al.*, 1990 ; Nouaim et Chaussod, 1996). Ces éléments sont peu mobiles dans le sol et on estime que le mécanisme d'absorption est le même que pour le phosphore, c'est-à-dire que l'augmentation de leur prélèvement est essentiellement due à une meilleure exploration du sol par les hyphes extra-racinaires (Nouaim et Chaussod, 1996).

6.2.4. Mycorhizes et le statut hydrique de la plante

Les champignons endomycorhiziens entraînent une augmentation de la résistance de la plante au manque d'eau (Sylvia *et al.*, 1993 ; Trépanier, 1998). Le mycélium du champignon d'une plante mycorhizée explore un volume de sol beaucoup plus important qu'une plante normale. Les fines hyphes du champignon peuvent aller chercher l'eau à des endroits inaccessibles par les grosses racines de la plante. Une expérience réalisée sur *Rosa hybrida* L. cv Samantha a montré que les champignons endomycorhiziens *Glomus intraradices* Schenk et Smith et *Glomus deserticola* Trappe, Bloss et Menge permettent un maintien de la turgescence au niveau du feuillage lors de déficits hydrique (Augé *et al.*, 1986 . Trépanier, 1998).

6.2.5. Activité hormonale

Les concentrations des phytohormones (cytokinines, gibberélines, éthylène, acide abscissique, auxine, acide jasmonique), dans la plante peuvent varier selon la présence ou non du champignon (Hauser *et al.*, 2006). Chez les endomycorhizes à arbuscules, on constate que l'acide jasmonique ainsi que l'éthylène intervient dans le processus de colonisation et entraîne des modifications biochimiques dans toutes les parties de la plante. Ces modifications hormonales interviennent dans les mécanismes qui contrôlent le degré de colonisation de la plante maintenant ainsi un équilibre entre le champignon mycorhizien et la plante hôte (Fortin *et al.*, 2008).

6.2.6. Résistance aux maladies

De nombreux chercheurs ont découverts que, parfois, la présence du champignon endomycorhizien procure une meilleure résistance envers les pathogènes racinaires. De part l'absorption accrue d'éléments minéraux, les racines mycorhizées peuvent aussi compenser les pertes de la racine causées par le pathogène (**Linderman, 1994 ; Trépanier, 1998**).

La rhizosphère subit aussi d'important changement, entraînant des modifications des populations bactériennes pouvant favoriser la plante (**Meyer et Linderman, 1986 ; Trépanier, 1998**) Par ailleurs, comme bien souvent le champignon mycorhizien et le pathogène occupent les mêmes sites dans la racine, une compétition s'établit entre eux, autant pour l'espace que pour la nourriture (**Cordier *et al.*, 1996 ; Trépanier, 1998**). Ces divers mécanismes peuvent donc entraîner une meilleure résistance envers les pathogènes.

Les CMA démontrent leur importance aux plantes contre les stress biotiques et abiotiques Plusieurs études ont montré le rôle joué par les CMA dans la protection des plantes sous les stress abiotiques tels que la salinité (**Giriet *al.*, 2008**), la température, le calcaire (**Labidiet *al.*, 2011**), la sécheresse (**Ruiz-Sánchez *et al.*, 2010**) et le compactage du sol (**Miransariet *al.*, 2008**).

Ces champignons jouent aussi un rôle de biostabilisateur du sol. Ils possèdent la propriété d'agir sur la macroagrégation des constituants du sol et donc sur sa stabilité (**Tisdall, 1991**). La stabilité du sol ainsi produite permet de lutter contre l'érosion, la perte de nutriments et de la matière organique par lixiviation, qui sont à l'origine d'une baisse de productivité en agriculture (**Schreiner et Bethlenfalvay, 1995**).

II. Généralités sur la vigne

1. Historique

L'histoire de la vigne est intimement liée à celle de l'humanité depuis des millénaires. Elle trouve ses origines dans les régions chaudes du bassin méditerranéen (**Dubois et Deshaies, 1997**), avec des traces remontant jusqu'au Caucase, où des conditions climatiques propices ont favorisé l'émergence d'un cépage particulièrement remarquable, à l'origine des variétés de vignes actuellement cultivées (**Villa, 2005**). Les plus anciens fossiles de Vitacées remontent à environ 100 millions d'années, attestant ainsi de la longue histoire de cette plante (**Coutin,**

2002). En Algérie, l'histoire viticole remonte aux Phéniciens, qui ont introduit les premiers plants sur le territoire(Aouf,1972).

Durant la période coloniale, la culture de la vigne s'est intensifiée, devenant une importante source de richesse pour le pays (Auge *et al.*, 1989) Jusqu'à son indépendance en 1962, l'Algérie était considérée comme une extension du territoire français en matière de production viticole(Boubyet *al.*, 2010), exportant jusqu'à 14 millions d'hectolitres de vin vers la France(Aouf,1972).

À cette époque, le pays comptait environ 350 000 hectares de vignobles à vin, tandis que la culture des vignes destinées à la production de raisins de table était moins développée (Reynier, 2007). La culture de la vigne remonte à 5 à 6 millénaires à partir des zones de refuge situées en Transcaucasie et en Iran, où les premières communautés sédentaires ont découvert l'intérêt alimentaire de cette plante(Auge *et al.*,1989). Les premiers cépages ont été multipliés par bouturage et domestiqués, donnant naissance à une grande variété de variétés, issues des sélections réalisées dans les populations de Lambrusques (Reynier, 2007).

Selon Reynier (2007).Les migrations subséquentes des populations vers le sud (Palestine, Égypte) puis vers l'ouest (Grèce et Empire romain) ont favorisé l'essor de la culture de la vigne et ont permis le transport de ces premiers cépages vers d'autres régions, contribuant ainsi à la diffusion et à la diversification de la viticulture à travers le monde(Boubyet *al.*,2010).

2.Classification de la vigne

La vigne est une plante ligneuse à tiges rampantes, persistante, capable de survivre pendant de nombreuses années dans des conditions de culture normales (Galet, 1993 ; Reynier, 2007).Elle est classée parmi les dicotylédones selon la classification « AngiospermPhylogeny Group classification » APG III (2009) (Tableau01)(Hastonet *al.*, 2009 ; Lacombe, 2012) et appartient à la famille des Vitacées, relevant de l'ordre des Rhamnales(Lacombe, 2012).Cette famille des *Vitaceae* composé 19 genres (Pensec, 2013) et regroupe plus d'un millier d'espèces présentes en Afrique, Asie, Amérique et Océanie (Toumi, 2006). Mais seul le genre *Vitis* composé d'environ 80 espèces(Toumi, 2006). Ce genre est constitué en deux sections, *Euvtis* ou Vraies vignes et *Muscadinia*(Françoise *et al.*, 2011). Parmi les espèces d'*Euvtis*, l'espèce *Vitis vinifera* L. (vigne européenne) originaire de

l'Europe et l'Asie occidentale, est celle largement utilisée dans les secteurs viticoles (Mario, 1996 et Reynier, 2012) (Figure 07).

La grande majorité des vignes cultivées appartiennent au sous-genre *Euvinis*, qui se divise en trois groupes principaux : euro-asiatique (comprenant seulement une seule espèce, *Vitisvinifera*), asiatique et américain (Reynier, 2007).

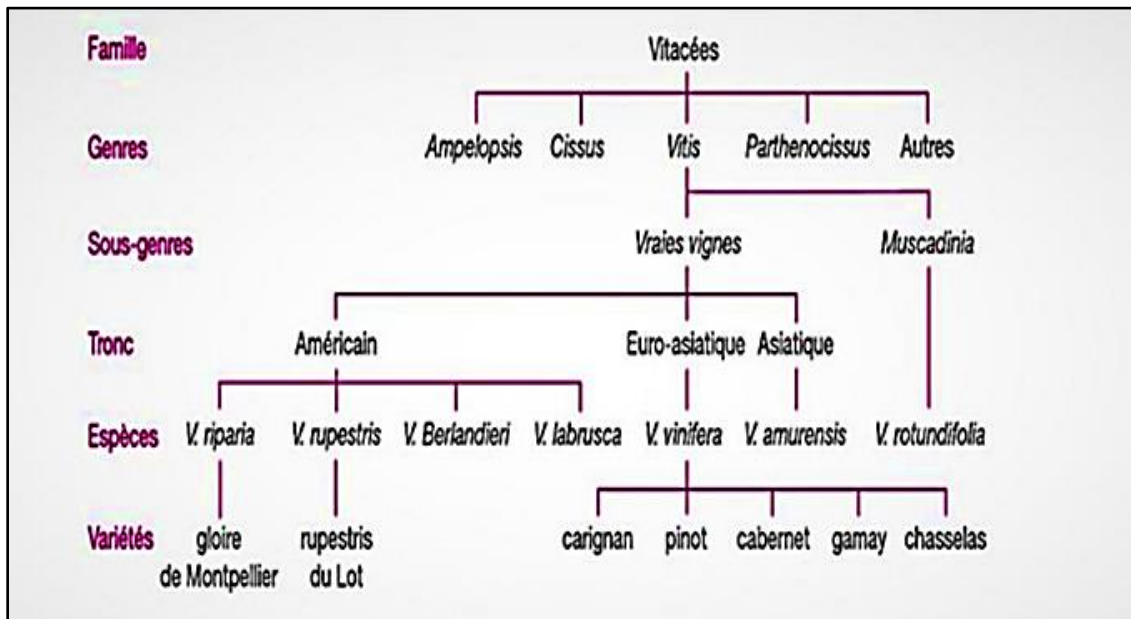


Figure 07 : Classification botanique de la vigne cultivée (Reynier,2007).

Tableau 01 : Classification de *Vitis vinifera* L selon APG III (2009)

Règne	Plantea
Embranchement	Angiospermes
Classe	Dicotylédones
Sous-classe	Archichlamydées
Ordre	Rhamnales
Famille	Vitacées
Genre	<i>Vitis</i>

3. Description la botanique de la vigne

3.1. la morphologie de la vigne

La vigne est une plante ligneuse grimpante, à souche pérenne. Elle est constituée d'un système racinaire en pivot et d'un système aérien avec un tronc et ramifications sarmenteuses (Garcia Cortazar, 2006 et Pallas, 2009). La vigne se multiplie essentiellement par voie végétative : bouturage, provignage, marcottage, ou greffage (Galet, 2000).

3.2. Le système racinaire

Le système racinaire de la vigne est crucial pour sa croissance et sa survie. Les racines s'enfoncent profondément dans le sol, souvent sur plusieurs mètres, pour rechercher l'eau et les nutriments nécessaires. Elles s'étendent également largement autour du pied de vigne. Ce système racinaire ramifié assure l'ancrage de la plante, favorise sa stabilité et lui permet de s'adapter à différents types de sols et de conditions environnementales (Figure 08). En résumé, le système racinaire de la vigne joue un rôle essentiel dans son développement et dans la qualité des raisins qu'elle produit (Schultz, 2000).

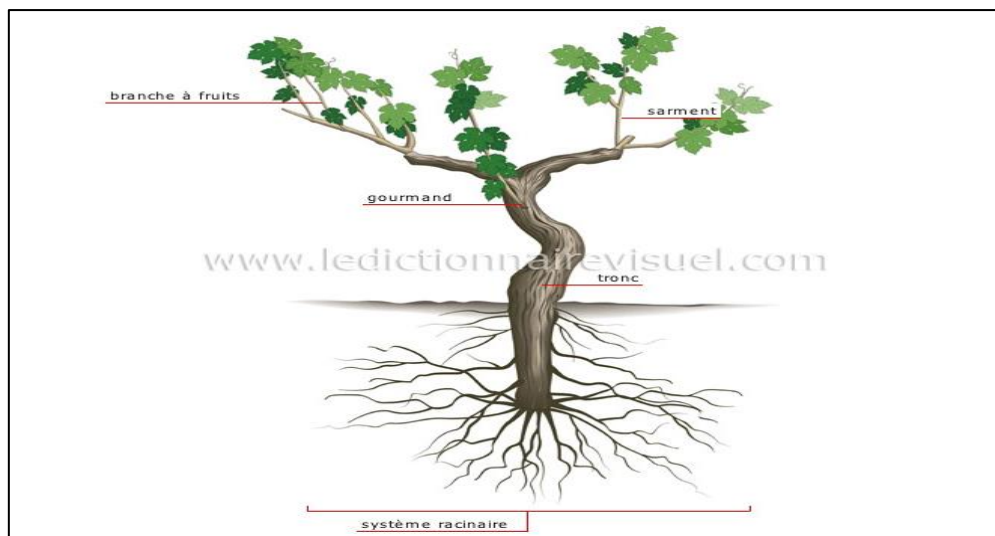


Figure 08 : Système racinaire de *Vitis vinifera* (www.ledictionnairevisuel.com)

3.3. Système aérien

3.3.1. Le tronc

Le tronc est le support principal de tout le système végétatif aérien de la vigne. Il est constitué d'une série de nœuds, tandis que l'espace entre deux nœuds consécutifs est désigné

sous le nom d'entre-nœud ou méristème (Galet, 2000). Aux niveaux des nœuds se situent les bourgeons, les feuilles et les vrilles (Levadoux, 1967). Avec son rôle de support, il sert au transport de la sève brute et élaborée (Figure09). En plus, il joue également un rôle de réservoir pour les substances de réserve (Lekhrif, 2016).



Figure 09:Le tronc de *Vitis vinifera*.

3.3.2.Le sarment

La longueur du sarment de cette plante est peut varier de moins d'un mètre à plusieurs mètre selon l'espèce (Huglin et Schneider, 1998). Le sarment de la vigne est une tige flexible et ligneuse qui pousse à partir des branches principales de la plante. Il joue un rôle crucial dans la croissance et le développement de la vigne. Les sarments fournissent un support pour les nouvelles pousses et les grappes de raisin, les aidants à s'élever au-dessus du sol pour une meilleure exposition à la lumière et à l'air. De plus, les bourgeons présents sur les sarments sont à l'origine de nouvelles pousses et peuvent être utilisés pour la propagation de la vigne. Enfin, les sarments stockent des réserves de nutriments essentiels pour la croissance de la plante, contribuant ainsi à sa survie pendant les périodes de dormance. En somme, les sarments de la vigne sont des éléments indispensables à sa santé et à sa production de raisin (Carole Lambert, Bernard *et al.*, 2011).

3.3.3. Les feuilles

Les feuilles présentent une disposition alternée et sont portées par un pétiole, avec cinq nervures palmées (Figure 10). Elles sont caractérisées par un sinus pétiolaire et peuvent être plus ou moins découpées, composées d'un ou plusieurs lobes plus ou moins découpés (Viala et Vermorel, 1910 ; Simon, 1974 et Galet, 1993).



Figure 10: Feuille de *Vitis vinifera*..

3.3.4. Les vrilles

Les vrilles se situent en opposition par rapport aux feuilles (Simonet *al.*, 1992). Elles s'enroulent autour des supports auxquels elles s'attachent grâce à l'adhérence procurée par les renflements adhésifs à leurs extrémités, puis se lignifient simultanément avec les sarments (Figure 11) (Reynier, 1991; Huglin, 1998 et Galet, 2000).



Figure 11: Vrille de la vigne *Vitis vinifera*.

3.3.5. Les bourgeons

Les bourgeons sont de petits rameaux en miniature qui naissent à l'aisselle des feuilles et sont recouverts par des organes protecteurs tels que des écailles et de la bourre, assurant ainsi leur protection et la pérennité de la vigne (**Galet, 1993**).

Ribereau-Gayon et Peynaud (1971) notent que les bourgeons sont axillaires, c'est-à-dire qu'ils naissent obligatoirement à l'aisselle des feuilles. **Galet (2000)** précise que ces bourgeons assurent la pérennité de la vigne d'une année à l'autre en donnant naissance à des rameaux, des feuilles, des inflorescences et de nouveaux bourgeons. En ce qui concerne les types de bourgeons, plusieurs catégories sont distinguées en fonction de leur potentiel de développement.

3.3.5.1. Bourgeon terminal

Pendant la croissance du rameau, un bourgeon terminal se développe, assurant la formation et la croissance des différents organes du rameau. Ce type de bourgeon se dessèche et tombe au moment de l'aoûtement.

3.3.5.2. Bourgeon prompt

Situé à côté de l'œil latent à l'aisselle des feuilles, ce bourgeon peut se développer l'année de sa formation, donnant naissance à une petite pousse appelée « entre-cœur ».

3.3.5.3. Bourgeon latent

La première année de sa formation, ce bourgeon ne change que de volume et se développera l'année suivante. Ce bourgeon complexe est constitué d'un bourgeon principal au centre avec son cône végétatif et l'ébauche de l'organisation future du rameau. Il est également encadré par un ou deux bourgeons secondaires qui ne se développent que si le bourgeon principal est détruit par le gel ou une cassure. Après une taille très sévère ou la destruction des yeux latents des sarments par le gel, les bourgeons du vieux bois peuvent également se développer.

3.3.6. Les fleurs

Les fleurs de la vigne présentent un petit calice formé de 5 pétales soudés à leur sommet, créant ainsi un capuchon qui protège les 5 étamines et un ovaire contenant 2 carpelles renfermant chacun 2 ovules (Figure 12). Pendant la pleine floraison, les étamines

soulèvent le capuchon de pétales et le font retomber. Cette action ne peut se produire que par temps sec et à une température minimale de 15 °C (**Ribereauet al., 1971**).



Figure 12 : Les fleurs de la vigne

3.3.7. Les fruits

Les fruits sont constitués d'un ensemble de ramifications parmi lesquelles on distingue le pédoncule, l'axe principal ou rachis, ainsi que les pédicelles qui portent les baies ou grains. Le rachis est également appelé la rafle (**Galet, 2000**). La forme et les dimensions de la baie sont assez variables. Les baies sont constituées d'une pellicule entourant la pulpe, de faisceaux vasculaires et de pépins (Figure 13).

La couleur de la pellicule varie du vert au noir en passant par le jaune, le rose, le rouge, le bleu et le violet. C'est dans cette pellicule que sont localisées les substances aromatiques. La pulpe est colorée, uniquement chez les cépages dits « teinturiers » (**Huglin et Schneider, 1998; Galet, 2000**).



Figure 13 : Les fruits de *Vitis vinifera*.

3.4. Le cycle végétatif et reproducteur de la vigne

La vigne, une plante à feuilles caduques, entre en dormance après la chute de ses feuilles. Avec l'élévation des températures au printemps, elle débourre généralement en février-mars, produisant de nouvelles feuilles et une croissance rapide des pousses. La pleine floraison survient habituellement six à huit semaines après le débourrement. Les grappes florales se forment sur les rameaux âgés d'un an du printemps précédent, avec la différenciation des bourgeons floraux se produisant généralement entre avril et juin, variant selon les cépages et les conditions climatiques. La plupart des cultivars de *Vitis vinifera* présentent des fleurs hermaphrodites qui s'autofécondent. La nouaison est suivie de la maturité. Sous réserve des pratiques culturales et des conditions climatiques, la vigne peut vivre plusieurs dizaines d'années. Le rendement en raisin varie selon les cépages (**Quelenis, 2008**).

3.4.1. Le cycle végétatif:

Le cycle végétatif de la vigne est un processus annuel vital qui régule sa croissance, sa floraison et la production de raisin. Il débute par une période de dormance hivernale où la vigne se repose, suivie du bourgeonnement au printemps, marqué par l'apparition de nouveaux rameaux et feuilles. La floraison survient ensuite, où les fleurs s'ouvrent et se polonisent pour former les baies de raisin. Durant l'été, les baies se développent, passant par la véraison, un changement de couleur indiquant le début de la maturation. Enfin, la récolte a lieu à l'automne, lorsque les raisins atteignent leur maturité optimale. Après la récolte, la vigne entre à nouveau en dormance pour le cycle suivant. Ce processus est influencé par divers facteurs climatiques et culturales et est essentiel pour assurer une production de raisin de qualité année après année (Figure 14) (**Coombe, 1995**).



Figure 14 : Stades phénologiques de la vigne (**Carbonneau *et al.* ,2007**)

1- Dormance, **2-** Bourgeon dans le coton, **3-** Pointe verte, **4-** Premières feuilles déployées, **5-** Stade 2 - 3 feuilles déployées, **6-** Stade 4-6 feuilles déployées, inflorescence bien visible, **7-** Allongement del'inflorescence, **8-** Début floraison, chute du premier capuchon 25% floraison, **9-** 80 % floraison, **10-** Nouaison, **11-** Baies de la taille d'un poids (7 - 10 mm), **12-** Fermeture de la grappe, **13 et14-** Véraison - Baies moins fermes, pellicule translucide (baies vertes), apparition de pigments (baies bleues, rouges), **15-** Récolte à maturité

4.l'intérêt de la vigne:

L'intérêt de la vigne dépasse largement sa simple utilisation pour la production de vin. En effet, cette plante possède une importance économique, culturelle, environnementale et sociale significative. La vigne joue un rôle clé dans la préservation des paysages ruraux et dans le maintien de la biodiversité, en fournissant un habitat à de nombreuses espèces végétales et animales. Sur le plan culturel, la vigne est associée à des traditions séculaires, des pratiques artisanales et des savoir-faire transmis de génération en génération. Enfin, sur le

plan environnemental, les vignobles bien entretenus peuvent contribuer à la préservation des sols, à la gestion de l'eau et à la réduction de l'érosion (**Robinson *etal.*, 2012**).

5. Influence sur le terroir et la qualité de *Vitis vinifera*

L'interaction entre la vigne et les champignons mycorhiziens arbusculaires est une relation symbiotique complexe qui joue un rôle important dans la santé des vignobles, la qualité des raisins et la production de vin. Les CMA peuvent influencer le profil aromatique et la composition des raisins (**Trouvelot *etal.*, 2015**).

Chapitre II

Matériel et Méthodes

I. Objectif

Les objectifs de ce travail sont : en premier lieu, l'évaluation des caractéristiques physicochimiques des sols de *Vitis vinifera* des deux sites moderne et traditionnel, deuxième lieu, l'évaluation du taux de mycorhization de cette espèce végétale (Fréquence de mycorhization, Intensité globale de la mycorhization, la richesse arbusculaire de la partie mycorhizée) et en troisième lieu, étude de l'effet des champignons mycorhiziens (inoculation contrôlée) sur la croissance de *Vitis vinifera*.

II. Présentation de site d'étude Sidi ben adda

1. Situation géographique

Sidi Ben Adda, anciennement connue sous le nom de **Les Trois Marabouts**, est une commune située dans la wilaya d'AïnTémouchent en Algérie. Elle se trouve au nord de la mer Méditerranée et est limitrophe des communes d'OuledKihal, Terga, Chaabat El Leham, Sidi Safi et AïnTolba (Figure 15).



Figure 15 : Localisation de Sidi Ben Adda de la Wilaya de Ain Temouchent.

2. Climat et température

Le site appartient à l'étage bioclimatique méditerranéen semi-aride tempéré chaud. Il est caractérisé par des périodes pluvieuses irrégulières et importantes allant d'octobre à mai avec une pluviométrie annuelle moyenne de 316.2mm (Figure16).

La température annuelle moyenne est de 19.1°C. Les mois de Juillet et août sont les plus secs et les plus chauds (précipitation moyenne de 1 à 2 mm et température moyenne de 25 °C) et janvier est le mois le plus froid avec une température moyenne de 12,3 °C

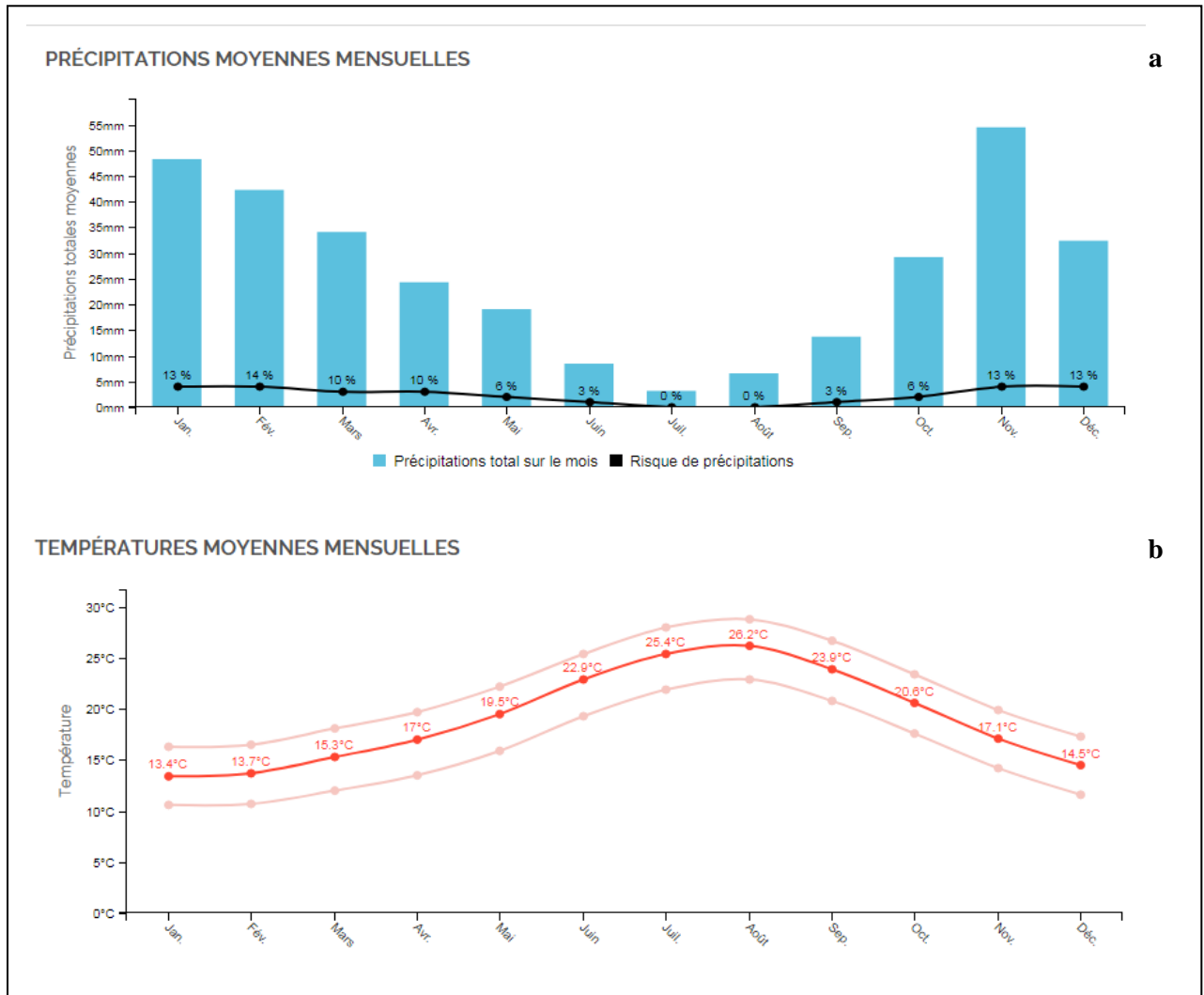


Figure 16: Précipitations (a) et températures (b) moyennes mensuelles de Sidi ben adda Ain temouchent (https://planificateur.a-contresens.net/afrique/algerie/wilaya-de-ain-temouchent/ain_temouchent/2507901.html).

III. Etude comparative entre la méthode traditionnelle (ordinaire) et la méthode moderne (palissage) de plantation de la vigne

1. Site traditionnel

La terre agricole se situe à 700 mètres de la mairie de Sidi Ben Adda dans la coté droite du village, et le sens de la route qui mène à la commune d'ElGhouat, elle est d'une superficie de 2.7 ha spécialisée par la viticulture (Figure 17).



Figure 17: Situation géographique du site traditionnel(googlemaps)

2. Site moderne

Le site moderne (la ferme de Maeroufi) se situe à la commune de Sidi Ben Adda , sur le côté gauche de la route n°96 menant à Beni Saf, elle est d'une superficie de 22ha , destiné à la viticulture , la terre agricole est bien divisée en parcelles , chaque parcelle ayant une superficie précise (Figure 18) .



Figure 18 : Situation géographique du site moderne(googlemaps)

IV. Matériels et méthodes

1. Echantillonnage

1.1. Matériel végétale

Les prélèvements des échantillons végétaux ont été effectués en février 2024 dans la région d'Ain Temouchent.

- ❖ Trois échantillons des racines de *Vitis vinifera*, (Figure19) pour chaque site moderne et traditionnel ont été prélevés d'environ 20 centimètres de profondeur sachant qu'entre 20 et 30 cm on peut trouver les racines les plus fines susceptibles d'être mycorhizes à l'aide d'une hache pour évaluer les paramètres de la mycorhization des racines des deux variétés.
- ❖ Trois échantillons des feuilles de *Vitis vinifera* ont été prélevés pour chaque site moderne et traditionnel.



Figure 19:Présentation de matériel végétal *Vitis vinifera* de la région d'Ain Temouchent.

1.2. Le sol

Trois échantillons de sol ont été prélevés autour de la vigne de site traditionnel et moderne pour les analyses physicochimiques et l'inoculation contrôlée (Figure 20).



Figure 20:Présentation des échantillons des sols de la région d'Ain Temouchent.

1.2.1. Etude physique chimique du sol

Avant de procéder aux analyses physiques et chimiques, les échantillons de sol ont été séchés à l'air libre, puis tamisés avec un tamis à mailles de 2 mm de diamètre, homogénéisés et conservés dans un endroit sec.

Les analyses physicochimiques sont effectuées au laboratoire de pédologie (Université d'Oran). Les analyses chimiques (le phosphore, l'azote) sont effectuées par des appareils automatiques et les autres analyses par des méthodes développées au laboratoire de AFAK CONTROL (laboratoire d'analyses de la qualité Oran)

1.2.1.1. Analyses physiques

1.2.1.1.1. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique du sol a pour but de définir la texture d'un sol, selon la méthode de (**Rouiller *et al.*, 1994**). Elle consiste à classer les éléments du sol d'après leur grosseur et à déterminer le pourcentage de chaque fraction (sable, limon, argile). Elle permet d'expliquer les propriétés physiques de ce sol, son comportement vis à vis de l'eau, de l'air et des racines et d'évaluer sa stabilité structurale c'est-à-dire la solidité de l'état de la structure du sol et sa résistance aux agents de dégradation. Pour cette analyse, de la terre fine est obtenue par tamisage au tamis à mailles de 2 mm de diamètre. La matière organique est éliminée par un oxydant (H_2O_2), la durée d'exposition dépend de la teneur en matière organique (24h à 48h). Les particules minérales sont ensuite dispersées à l'aide d'un dispersant alcalin (hexamétaphosphate de sodium).

Les particules grossières de diamètre supérieur à 50 μm sont séparées par tamisage, les particules moyennes et fines sont obtenues par la mesure de la vitesse de sédimentation. La texture du sol est déterminée d'après le triangle des textures (Annexe 01).

1.2.1.1.2. Mesure du pH

À 20 g de terre fine (séchée à l'air) sont ajoutés 50ml d'eau distillée (pour mesurer le pH eau).

Le contenu est agité pendant quelques minutes, puis laissé à reposer 2h. Le pH est ensuite mesuré à l'aide d'un pH-mètre après une brève agitation (**Callot et Dupuis, 1980**). Le classement de sol par rapport à son pH est fait selon les normes internationales (Annexe 02).

1.2.1.2. Analyse chimique

1.2.1.2.1. Mesure de la conductivité électrique

Le principe consiste à déterminer la conductivité électrique (CE) de l'eau pour déterminer la salinité de l'extrait du sol selon la méthode décrite par **Aubert (1978)**. Elle est effectuée en mélangeant du sol avec l'eau distillée 1 : 4 (V : V).

Après une agitation de quelques minutes la solution est chauffée à une température T (25 °C), une première lecture au conductimètre est réalisée à cette température (CT), puis chauffée à une température T' (35 °C) et une deuxième lecture est réalisée (CT').

Le coefficient de température β est calculé comme suite :

Le conductimètre est réglé à la valeur β et la mesure de la CE est effectuée ; cette dernière s'exprime en milli Siemens (mS). Le degré de la salinité du sol est évalué en se référant aux normes internationales.

1.2.1.2.2. Dosage du calcaire total

Le calcaire n'est pas un constituant toujours présent dans le sol. Par contre pratiquement tous les sols contiennent du calcium si peu soit-il, cet élément se trouve en particulier fixé sur l'argile sous forme d'ion calcique ou en solution sous forme de sels solubles de calcium.

Le calcaire ou carbonate de calcium, CaCO_3 , est un sel insoluble. Mais l'eau chargée de gaz carbonique peut le dissoudre lentement le transformant en un sel soluble, le bicarbonate de calcium. C'est ainsi que peu à peu le calcaire disparaît d'un sol donné. Mais la solution du sol, et l'argile gardent très longtemps du calcium provenant de la dissolution du calcaire.

On utilise la propriété du carbonate de calcium qui se décompose sous l'action d'un acide (HCl) en eau et gaz carbonique, ce dernier est recueilli dans un tube gradué en ml (**Callot et Dupuis, 1980**).

2. Evaluation des paramètres de la mycorhization des racines récoltées de *Vitis vinifera*

2.1. Lavage : les racines échantillonnées sont soigneusement rincées à grande eau de robinier afin d'éliminer les particules de sol. Les racines fines peuvent être coupées en morceaux de 2 à 3 cm de longueur (afin de faciliter leur manipulation ultérieure)(Figure 21).

2.2. La coloration des racines

Les mycorhizes sont systématiquement éclaircis et colorés avant toute observation microscopique. La technique d'éclaircissement et de coloration de (**Philippe et Hayman 1970**) est utilisée(**Figure 2**):

- Les racines sont traitées au bain Marie avec du KOH à 10%, pendant 45 min à 90 °C, pour vider le contenu cellulaire(Figure 20 B et C).
- Elles sont ensuite placées dans l'acide lactique pendant 10 min à température ambiante, afin d'éliminer le KOH(Figure 21 D).

- Coloration au bleu de trypan à 0,01% à 90 °C pendant 20 min et traitement au glycérol, qui enlève l'excès de colorant (Figure 21 E).
- Observation microscopique des structures mycorhiziennes(Figure 21 F).

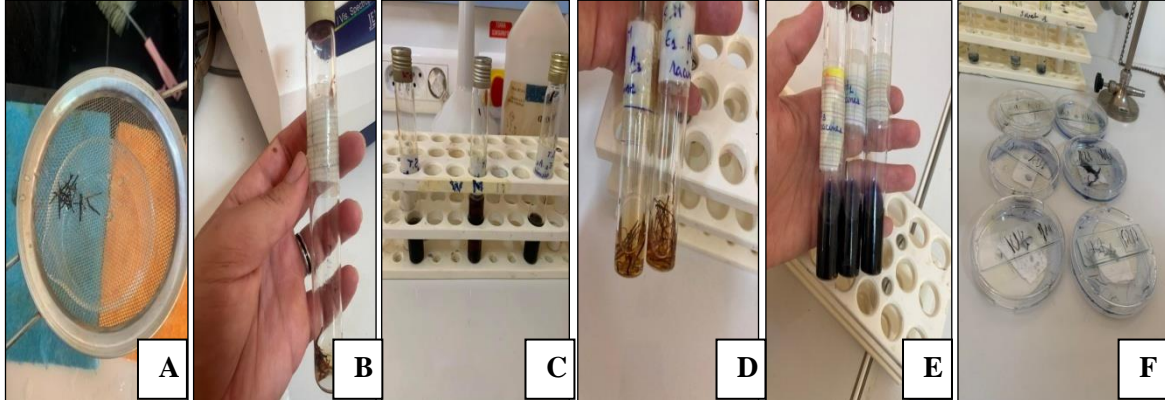


Figure 21: Les différentes étapes de la coloration des racines végétales selon la méthode de (Philippe et Hayman 1970).

2.3. Montage sur lame et l'observation

Montage entre lame et lamelle d'un fragment dans une goutte de glycérol pour une observation microscopique des structures mycorhiziennes. L'observation est effectuée au microscope optique (10X et 40X).

2.4. Estimation de taux de mycorhization

2.4.1. La fréquence de mycorhization (F)

$F\% = (\text{nombre de fragments mycorhizes} / \text{nombre total de fragments observés}) \times 100$

$$F = n/N \times 100$$

2.4.2. L'intensité de colonisation du cortex (M)

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

Ce paramètre traduit le mieux le degré de mycorhization(Figure 22).

$$M\% = [(95 \times n5) + (70 \times n4) + (30 \times n3) + (5 \times n2) + (5 \times n1)]/N$$

n5= nombre de fragments mycorhizes notés 5.

n4= nombre de fragments notés 4.

n3= nombre de fragments notés 3

n2= nombre de fragments notés 2.

n1 = nombre de fragments notés 1.

2.4.3. La richesse arbusculaire de la partie mycorhizés (a%)

$$a\% = (100mA3+50mA2+10mA1)/100$$

mA3, mA2, mA1 sont les % de m respectivement affectés des notes A3, A2, A1. Avec mA3= ((95n5A3+70n4A3+30n3A3+5n2A3+n1A3)/nombre de fragments mycorhizes) ×100/m, de même pour A2 et A1(Figure 22).

2.4.4. La richesse arbusculaire du système racinaire (A%)

Abondance d'arbuscules dans le système racinaire

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

a% :La richesse arbusculaire de la partie mycorhizés

M% :L'intensité de colonisation du cortex

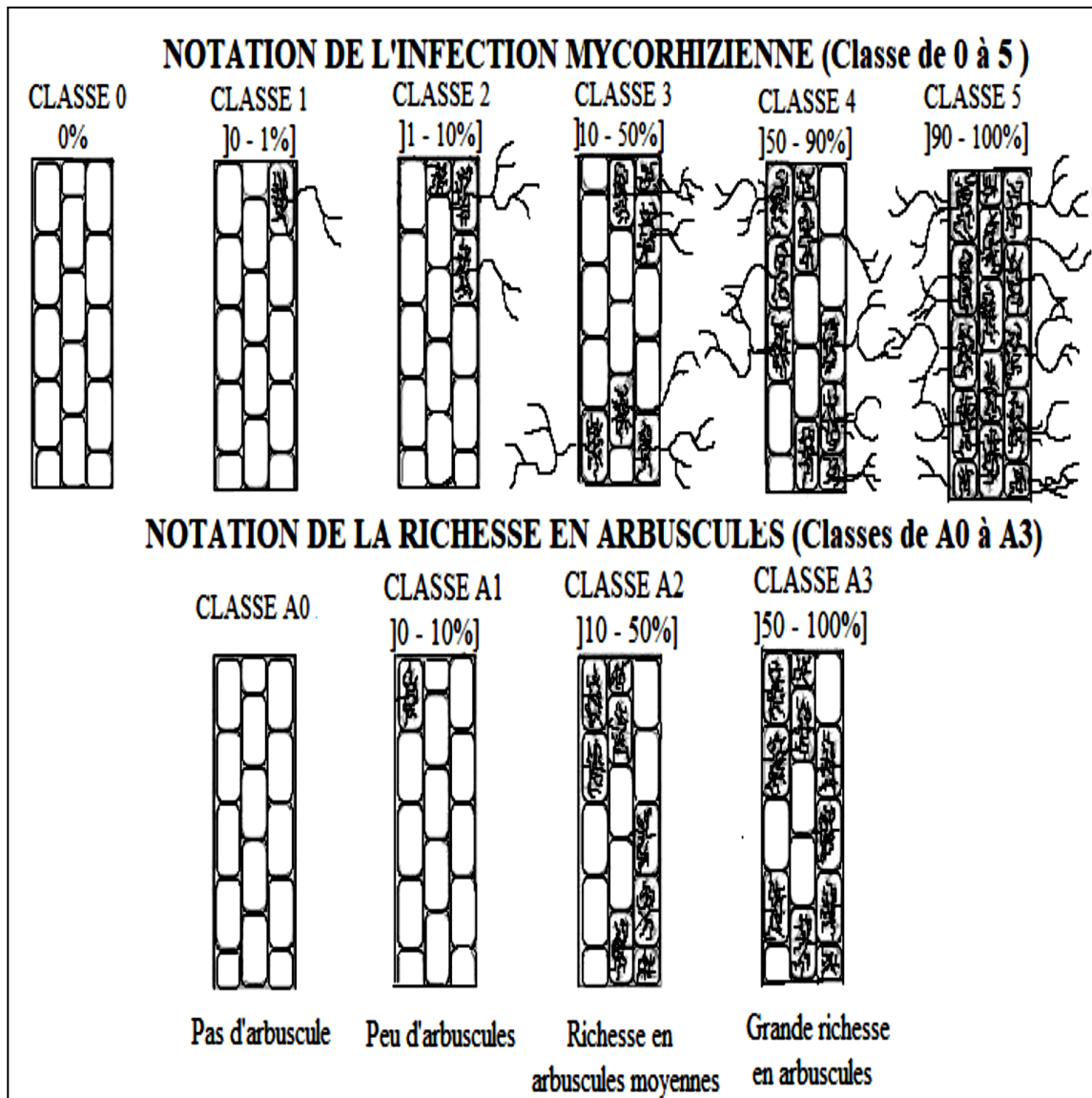


Figure 22 : Répartition en classes de la colonisation du cortex racinaire par les CMA et la présence d'arbuscules (Trouvelot*et al.*, 1986).

2.4. Préparation d'inoculum mycorhizien

Pour la préparation d'inoculum fongique, des racines mycorhizées de *Vitis vinifera* issues des deux sites traditionnel et moderne ont été utilisées après la vérification de leur mycorhization. Ces racines sont découpées en fragments de 1 à 3 mm de longueur. Elles sont rincées soigneusement avec l'eau distillée stérile, désinfectées avec l'hypochlorite de sodium (12 °C) pendant 1 minute suivi d'un rinçage à l'eau distillée stérile (10 fois ou plus), puis utilisées comme inoculum fongique au moment de la plantation de *Vitis vinifera*. Les tiges de *Vitis*

vinifera sont inoculées avec 1 g de racines mycorhizées fraîches au moment du semis dans des pots contenant du sol stérile provenant du deux sites (Cornet *et al.*, 1982; Ouhmane *et al.*, 2006). Des tiges non inoculées et cultivées dans les mêmes conditions servent de témoin. Les plantules sont arrosées tous les deux jours avec l'eau distillée stérile pendant 50 jours.

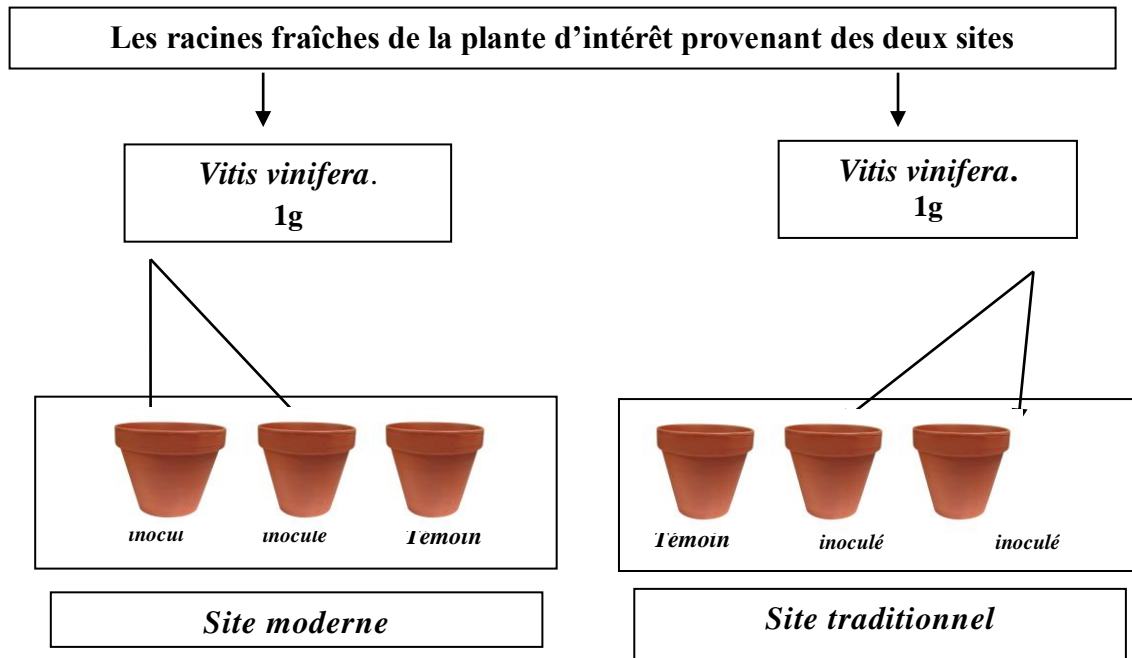


Figure 23: Protocole d'inoculation par les champignons endomycorhiziens de *Vitis vinifera*.

Les paramètres de mesure retenus après 50 jours de culture de *Vitis vinifera* sont :

a) Les paramètres biométriques

- La biomasse fraîche et sèche des plantes effectuée après passage à l'étuve à 60°C pendant trois jours.

b) Les paramètres biologiques

- La mycorhization, l'intensité et la fréquence de mycorhization comme précédemment décrit.

6. Teneur en azote et en phosphore des parties aériennes

Les feuilles des parties aériennes de *Vitis vinifera* sont séchées à 60°C pendant 3 jours puis broyées en poudre pour l'analyse minérale de l'azote total et du phosphore réalisée

au laboratoire d'AFAK CONTROL (laboratoire d'analyses de la qualité Oran) par des appareils automatés.

7. Analyse Statistique

Une ACP (Analyse en Composantes Principales) a été effectuée afin de dégager et d'explorer les liaisons entre les traitements et les relations entre les différents paramètres étudiés avec le logiciel Statistica 7.1.

Chapitre III

Résultat et discussion

I. Résultats

1. Analyse physicochimique des sols

Les résultats des analyses physicochimiques des sites étudiés (moderne et traditionnel) sont représentés dans le tableau 02

Tableau 02: Analyse physico-chimique des sols d'espèce *Vitis vinifera* moderne et traditionnel de la région d'Ain T'émouchent.

Sol		Site moderne	Site traditionnel
Granulométrie %	Sable	44±0.9	40±1
	Argile	38±0.7	39±0.9
	Limon	18±0.7	21±0.19
Conductivité(mS / cm)		0.35±0.001	0.17±0
PH		8,33±0.5	8.6±0.41
Matière organique %		5±0	6.4±0.67
Carbone total %		4.3±0.08	7.89±0.93
Azote total %		0.234±0.006	0.141±0.07
Phosphore assimilable ppm		0.56±0	0.23±0
CaCO3%		12.41±0.71	17.66±0.84

1.1. L'analyse granulométrique

Les résultats de l'analyse granulométrique montrent que pour le site moderne, les taux en sable, argile et limon, sont respectivement de 44%, 38% et 18%. Pour le site traditionnel, ils sont respectivement de 40%, 39%, et 21%.

Selon le triangle des classes fondamentales de texture du sol (**Duchaufour, 1997**) les sols étudiés des deux sites sont limono-argileux.

2. La conductivité

Selon les résultats présentés dans le tableau 02 les valeurs de la conductivité électrique sont de 0.17mS / cm pour le site traditionnel 0.35mS / cm pour le site moderne, le sol des deux sites est non salé selon **Durand (1983)**.

3. Le pH

Le pH (potentiel Hydrogène) exprime l'acidité ou de la basicité d'un sol, est un indicateur d'ambiance qui a une influence directe sur la vie microbienne et les formes chimiques des éléments nutritifs.

Si l'on se réfère à l'échelle proposée par (**Gagnard et al., 1988**), les deux sols prélevés sous l'espèce végétale *Vitis vinifera* (moderne et traditionnel) de la région de Ain temouchent (Sidi ben adda) présentent des pH alcalins et fortement alcalin avec des valeurs 8.33 à 8.6 respectivement (**tableau 02**).

4. Le carbone

La détermination du carbone organique total nous permet d'évaluer la quantité de matière organique présente dans des échantillons de sols et de sédiments. La matière organique amplifie grandement la capacité d'échange cationique du sol et retient les nutriments assimilables par les plantes.

D'après les résultats obtenus dans le tableau 02, la teneur en carbone organique dans le site traditionnel est presque deux fois plus que le site moderne avec des valeurs de 7.89 % et 4.3%.

1.5. La matière organique

Les résultats présentés dans le tableau 02 montrent que dans le sol du site moderne, la teneur en matière organique est 5 %, cette valeur est inférieure par rapport la teneur obtenue dans le sol du site traditionnel qui présente 6.4%.

1.6. L'azote

L'azote est un facteur essentiel de la production végétale. Il occupe une place centrale dans tous les processus biologiques et joue un rôle déterminant au niveau du rendement.

Les quantités d'azote des sols d'espèce étudié *Vitis vinifera* moderne et traditionnel sont respectivement 0.234% sol riche en azote et 0.141% sol moyenne (Tableau 02).

1.7. Le phosphore assimilable

La teneur en phosphore assimilable varie entre 0,23 et 0,56 pour les sols moderne et traditionnel respectivement et ces valeurs sont considérées comme sol pauvre et sol moyen (Tableau 02).

1.8. Le calcaire total

Le calcaire total représente un fragment de dimension quelconque des parties de la roche mère, il présente une source de calcium, sulfate et nitrate. Il favorise la stabilité de la structure et la perméabilité du sol (Baise, 1988 ; Mathieu et Pieltain, 2003). Le tableau 02 montre qu'il y a une variation entre les échantillons du sol où nous enregistrons des valeurs de calcaire de 12.41% pour sol de site traditionnel et 17.66% pour sol de site moderne.

2. Mise en évidence de la colonisation racinaire MA de *Vitis vinifera* des sites moderne et traditionnel de la région d'Ain Témouchent.

2.1. Observation microscopique des structures mycorhiziennes des racines de *Vitis vinifera* des sites moderne et traditionnel de la région de Ain Temouchent.

L'étude microscopique des racines de *Vitis vinifera* prélevées au niveau de la région de Ain Temouchent traitées selon la méthode de Phillips et Hayman (1970) révèle la présence de différentes structures d'endomycorhize les arbuscules (structure d'échange), les vésicules (structure de stockage) et les hyphes (structure de contact et transport) dans les racines colorées au bleu de trypan des deux sites moderne et traditionnel (Figure 24).

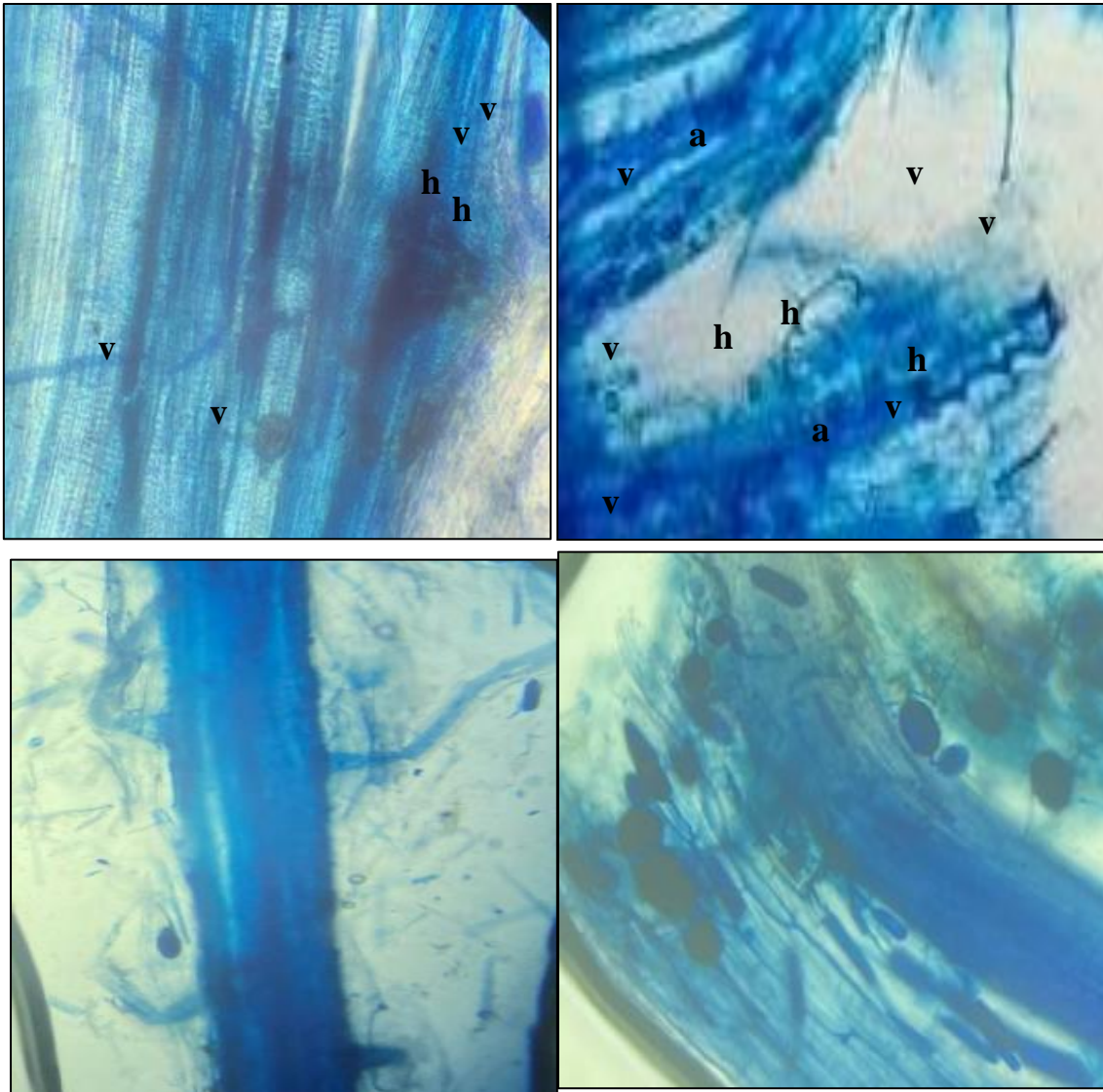


Figure 24 : Les structures endomycorhiziennes dans les racines de *Vitis vinifera* des deux sites moderne (a et b) et traditionnel (c et d) de la région de Ain Temouchent

a : arbuscules, h : hyphe, v : vésicule. Grx10 et Grx40

2.2. Estimation de taux de mycorhization

L'examen microscopique des racines de *Vitis vinifera* présente des différentes structures de mycorhization, des calculs sont réalisés pour montrer la différence entre les deux sites par rapport à la fréquence de mycorhization, l'intensité globale de mycorhization du système racinaire, la richesse racinaire arbusculaire du système racinaire et la richesse arbusculaire de la partie mycorhizées, sont rapportées dans la figure 25.

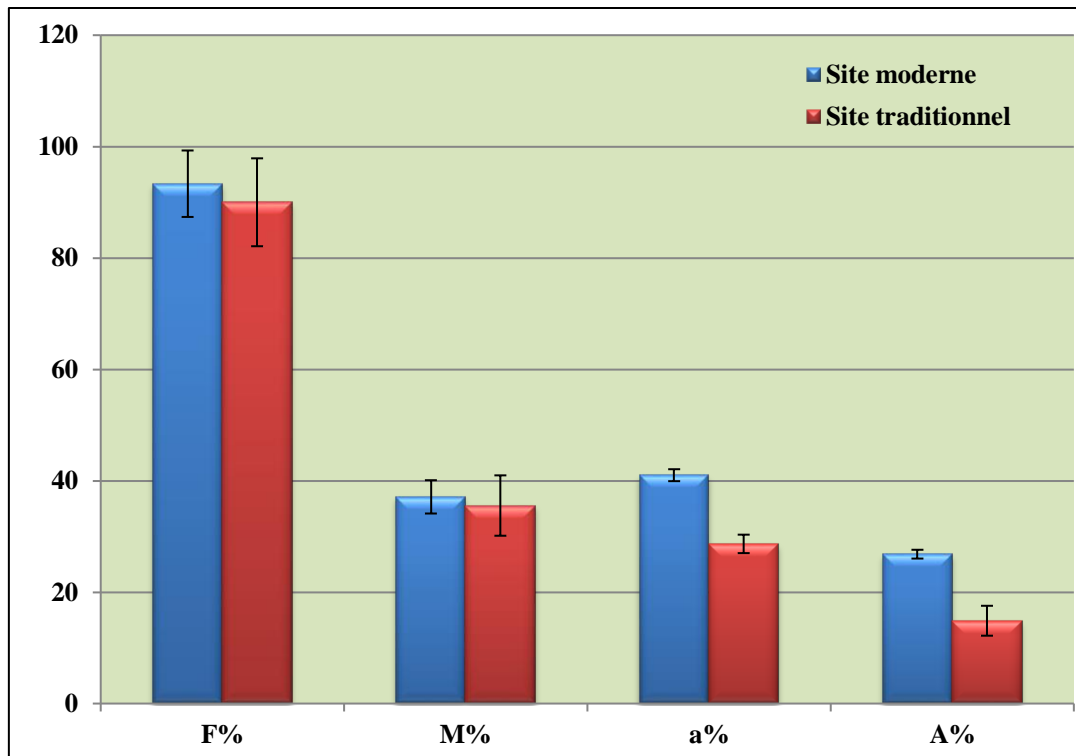


Figure 25: Pourcentage d'infection racinaire de *Vitis vinifera*.

Fréquence de mycorhization (F%), Intensité de la colonisation dans le système racinaire (M%), la richesse arbusculaire de la partie mycorhizée (a%), la richesse arbusculaire du système racinaire (A%).

2.2.1. Fréquence de mycorhization (F%)

Les résultats de la fréquence de la mycorhization sont présentés dans la figure 25 qui est respectivement de 93.33% et 89.99% pour le site moderne et traditionnel des deux sites sont fortement mycorhizés.

2.2.2. Intensité de la colonisation dans le système racinaire (M%)

La figure 25 montre que l'intensité de la colonisation du système racinaire par les champignons mycorhiziens ne dépasse pas 40% pour les deux sites. Elle est plus élevée dans le site moderne avec 37.21%, par rapport au site traditionnel (35.55%).

2.2.3.La richesse arbusculaire de la partie mycorhizées (a%)

La richesse arbusculaire de la partie mycorhizée apportée dans la **figure 25** varie entre 26% et 41% chez l'espèce étudiée. Les résultats montrent que cette richesse arbusculaire bien marqué dans le site moderne avec un taux de 40.99% et le site traditionnel présente 26.82%.

2.2.4.La richesse arbusculaire du système racinaire (A%)

Des arbuscules ont été notées dans les racines de *Vitis vinifera*, la figure 25 montre que la richesse arbusculaire est plus élevée dans le site moderne (28.66%) par rapport au site traditionnel (14.86%)

3.Teneur des parties aériennes en phosphore et en azote

Les taux phosphore et d'azote de la partie aérienne pour les échantillons de *Vitis vinifera* de la région de Ain temouchent sont représentés dans le tableau 03. Le taux d'azote des feuilles de la vigne du site moderne est 4,14% trois fois plus que le site traditionnel qui présente 1,84%. Le taux du phosphore des feuilles de la vigne du site moderne le plus élevé avec 0,56% suivi par 0,23% pour les feuilles du site traditionnel.

Tableau 03 : Teneur en phosphore et en azote des feuilles de *Vitis vinifera* de la région d'Ain Témouchent.

	Azote(%)	Phosphore (%)
Site moderne	4.14%	0.56%
Site traditionnel	1.84%	0.23%

5. Effet de l'inoculation contrôlée sur le poids frais et le poids sec de *Vitis vinifera*

La mise en culture des plantes de cette espèce sur sol stérile contenant des fragments de racines de site moderne a favorisé la croissance des plantes (Figure26).Les plantes mycorhizées(inoculées par les racines du site moderne) présentent un poids frais des parties aériennes de 6.10 g alors que celle du témoin est de 5.01g. Le même profil est observé concernant le poids sec avec 1.45 g pour les plantes de *Vitis vinifera* inoculées et 0.6 g chez le

témoin (Figure26). Un échec est enregistré dans le cas du site traditionnel avec 100% de la mortalité.

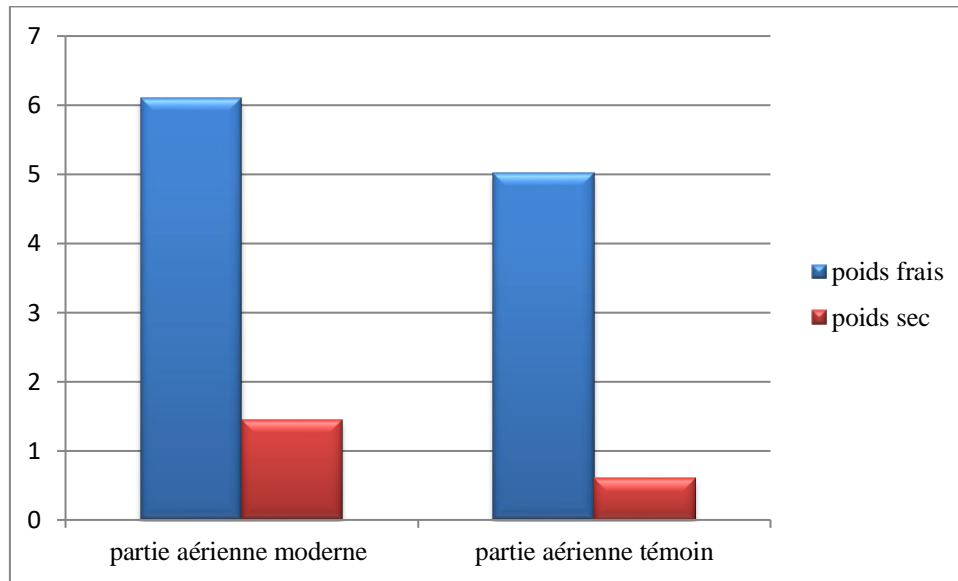


Figure26: Effet de l'inoculation sur le poids frais et le poids sec total après 50 jours d'inoculation de *Vitis vinifera*.

5.1. Mise en évidence des mycorhizes dans les racines de *Vitis vinifera*

L'observation microscopique des racines de *Vitis vinifera* après la coloration avec le bleu de Trypan (Philips, Hayman, 1970) a montré la présence des vésicules et des hyphes caractéristiques de l'infection mycorhizienne, les racines de témoin ne présentent pas des structures mycorhiziennes (Figure27). Les résultats présentés dans la figure 28 montrent que la fréquence mycorhizienne est plus de 90% avec un degré d'intensité de mycorhization élevée qui atteint 87% et la richesse arbusculaire de la partie mycorhizée ne dépasse pas 60%.

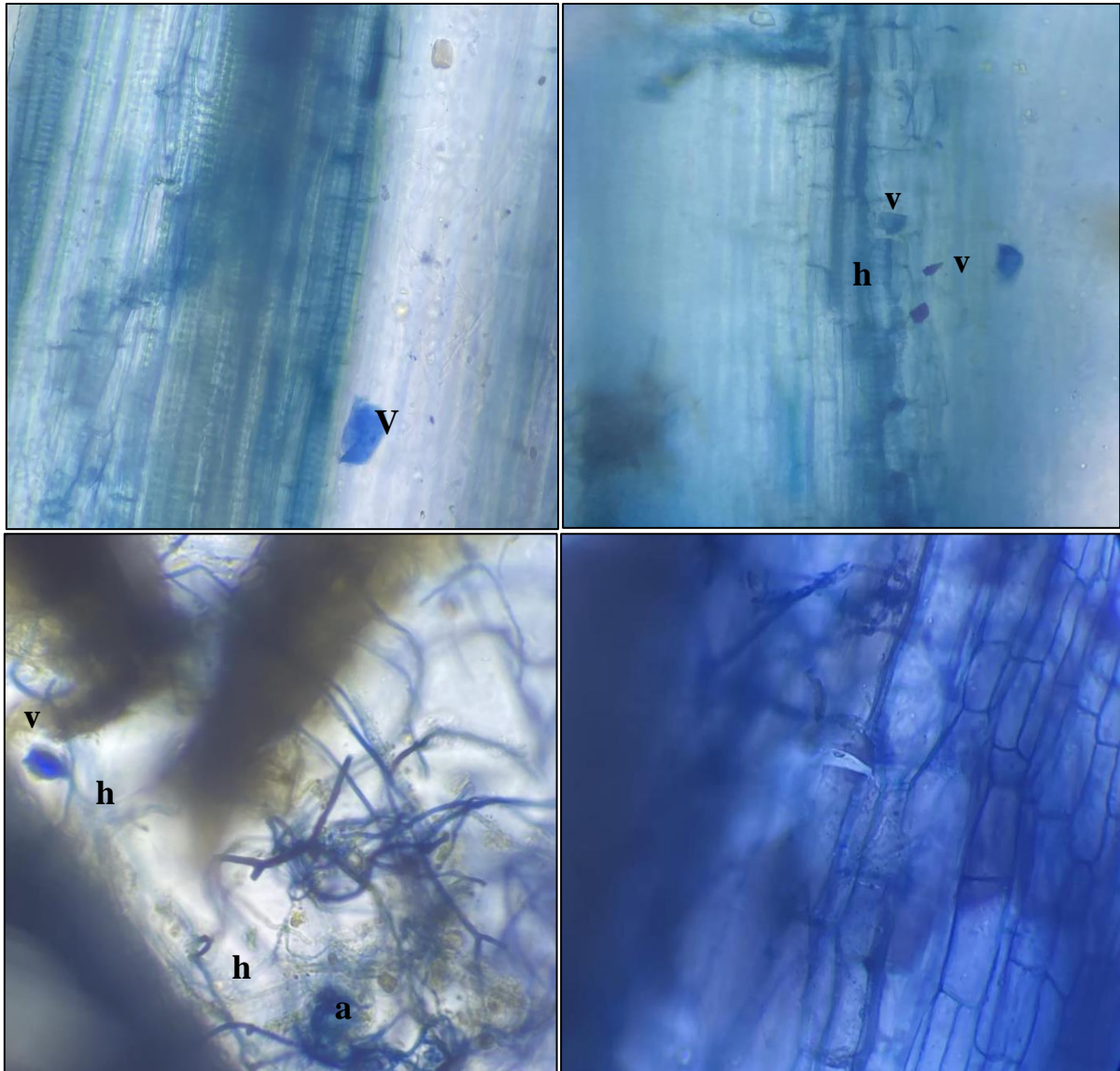


Figure27 :Observation microscopique des structures endomycorhiziennes CMA dans les racines de *Vitis vinifera* après 50 jours de culture. **V** :visicule ; **a** : arbuscule et **h** :hyphe $\times 10$ et $\times 40$.

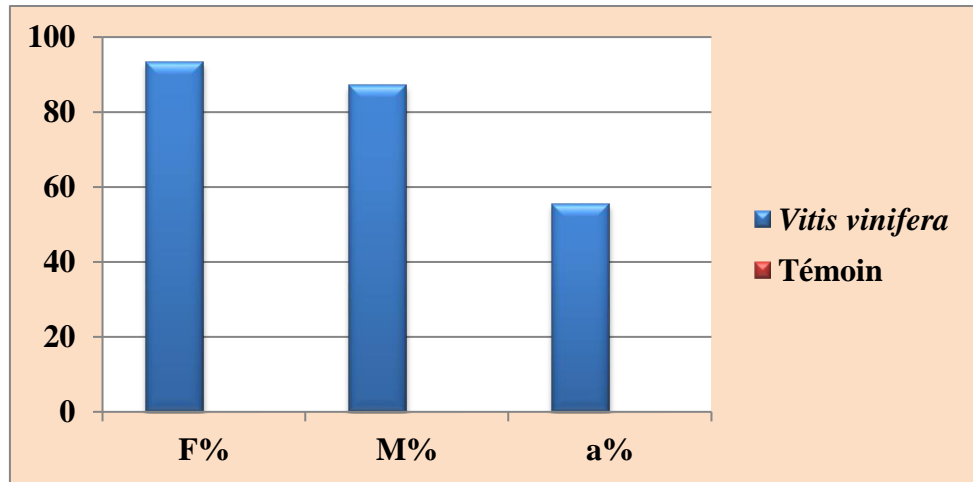


Figure 28 : Pourcentage d'infection racinaire de *Vitis vinifera*.

F%: Fréquence de mycorhization. **M%:** Intensité de colonisation dans le système racinaire **a%:** La richesse arbusculaire des fragments mycorhizés.

5. Analyse en Composantes Principales (ACP)

5.1. Relations entre Les différents paramètres physicochimiques et microbiologiques du sol

La figure 29 montre la projection sur le plan factoriel (F1xF2) des données sur les caractéristiques physicochimique et microbiologique des différents sols de *Vitis vinifera*.

L'analyse en composante principale (ACP) a permis de représenter graphiquement la relation entre les différents paramètres physicochimique et microbiologique des sols étudiés. Les deux axes décrivent 83,29% de la variation totale. Le premier axe exprime le plus important pourcentage de la variation (48.68%). Il a rassemblé le phosphore assimilable, l'azote total, le pH et l'argile qui sont corrélées positivement avec des coefficients de corrélation significatifs qui varient respectivement de 0,84 à 0,89. Le phosphore et l'azote sont négativement corrélés avec l'intensité et la fréquence de mycorhization, avec un coefficient de corrélation significative qui est de -0,74.

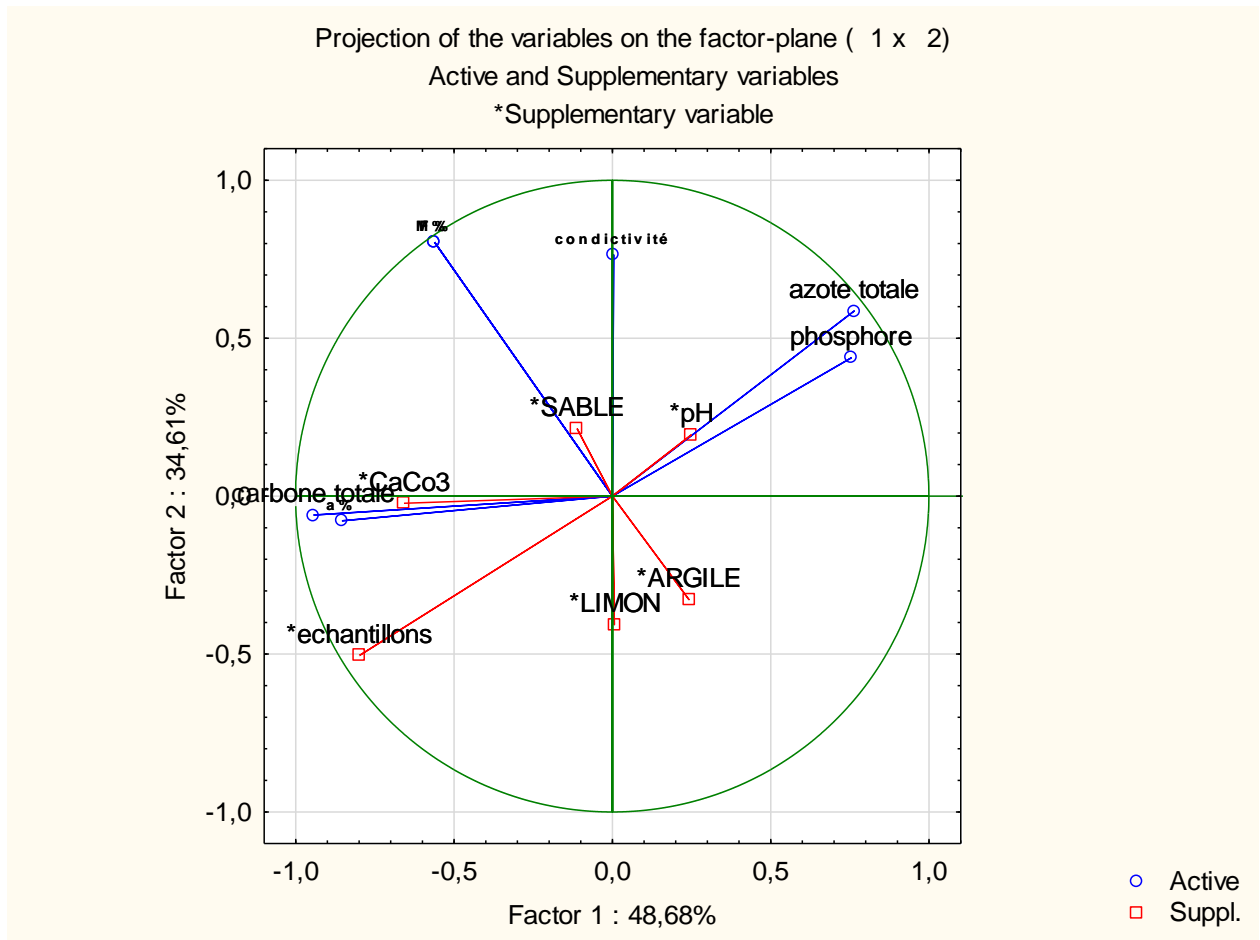


Figure 29 :Analyse en composantes principales entre les paramètres physico-chimiques et microbiologiques du sol de *Vitis vinifera*.

II. Discussion

1. Analyses physicochimiques du sol

Dans notre étude, des changements des caractéristiques physicochimiques sont observés dans les deux sites moderne et traditionnel sous l'influence de plante étudiée *Vitis vinifera* avec leur partenaire fongique, des changements dans les paramètres édaphiques sont observés dans plusieurs travaux suite aux associations symbiotiques plantes-microorganismes (**Hatimi et Tahrouche, 2007 ; Mouffaket al.,2014**).

La granulométrie permet d'évaluer la perméabilité, la rétention en eau, l'aération, la capacité d'échange et en particulier les risques de battance selon la proportion existante entre les argiles et limons (**Calvet et Villemin, 1986**).Les résultats analytiques obtenus révèlent que le sol étudié est caractérisé par une texture limono-argileux. Les sols des deux sites présentent un pourcentage en argile supérieur à 25%, en plus des pourcentages élevés en sable,cette

caractéristique les rend plus compacts et moins accessibles à la prospection racinaire de la culture de la vigne. Ce type de sol conservent l'eau pendant longtemps en hiver et se dessèchent rapidement en été provoquant des fentes de retrait préjudiciables aux racines de la plante (**Mathieu, 2003**).

Les valeurs obtenues de la conductivité ont révélé un sol non salé (**Mathieu et Pieltain, 2003**) au niveau des 2 sites. Lorsque le sol contient une très forte quantité en sels (concentration des cations et des anions dans la solution du sol est élevée), les effets sont généralement défavorables sur les plantes et sur le sol lui-même (**Li et al., 2006 ; SeghirYahi, 2017**).

Le pH en dépit des variations observées dans les différents sites, le pH reste alcalin selon le référentiel pédologique **Gagnardet al ; (1988)**. Selon **Bertschinger et al, (2006)**, il représente un milieu favorable pour l'activité des certains microorganismes (**Faugier, 2010**). Le pH du sol exerce une influence importante sur l'activité du sol, sur la disponibilité de la majeure partie des éléments nutritifs, sur leur assimilation et la composition de la plante. La variation du pH est sous le contrôle de plusieurs facteurs qui sont surtout : la nature de la roche mère, le type du couvert végétal et la position topographique (**Florea et Al Joumaa, 1998**).

D'après les résultats obtenus, le site traditionnel est riche en carbone, on constate que cette richesse est dû à la matière organique. Dans le sol, le carbone organique est le principal constituant des matières organiques. Il représente entre 40 et 50% de la matière végétale sèche non décomposée et entre 50 et 58% de la matière organique du sol. Le sol en contient entre 0,5 et 5% dans l'horizon de surface (**Sparks, 2003**). L'évolution de la matière organique du sol dépend d'un grand nombre de transformation physico-chimiques et biologiques qui affectent le devenir du carbone et de l'azote, élément qui ont une origine soit endogène (résidus de culture, exsudats racinaire) soit exogène (amendement, organique, d'origine animal, végétal ou microbienne **Nicolardot et al. (1996)**). La matière organique exerce un rôle très important sur le sol, elle améliore ses propriétés physiques (stabilité structurale, capacité de rétention en eau,...) et chimiques par la libération progressif des éléments nutritifs (**Callot et al., 1982**)

Le taux de la matière organique est élevé dans le site traditionnel à cause de sa nature, qui est résultante de la décomposition des débris animaux et végétaux se présentant à tous les stades d'évolution jusqu'à l'obtention de l'humus qui est généralement associé aux minéraux

argileux pour former le complexe argilo-humique qui joue un rôle essentiel dans la structure du sol (**Morel, 1996**). Cette variable influence une large bande de propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et est le plus important et sensible indicateur de la qualité du sol, de la santé des parcours et leur durabilité (**Rezaei et Gilkes, 2005**). Elle est un facteur de stockage des nutriments surtout dans les sols pauvres (**Zhou et al., 2008**), cas des sols de la région méditerranéenne (**Aranda et Oyonarte, 2005**).

Le sol étudié pour les deux sites de prélèvement présente une teneur d'azote allant de 0.141% dans le site traditionnel et 0.234% dans le site moderne. D'après **Decoopman et al. (2013)**, la quantité d'azote total contenue dans un sol est liée au carbone. Un faible apport d'azote diminue la vigueur de la vigne, la taille des baies et le rendement mais augmente la concentration en sucre, en anthocyanes et en tanins ce qui est favorable à la qualité des baies de raisin, surtout dans l'objectif de produire un vin rouge (**Chonéet al., 2001 ; Hilbert et al., 2003**).

Il s'agit évidemment de la quantité de phosphore en solution pouvant être absorbée par les racines des plantes (Bioassimilable). Il est bien connu que dans les sols basiques (**Rabefiraisana, 2015**), le phosphore assimilable se complexe avec le calcaire, donc non prelevable, d'où les faibles valeurs observées. D'après **Khresat et al. (1998)**, les réactions alcalines du sol réduisent la disponibilité de cet élément, ce qui indique la faible teneur en phosphore dans les deux sites.

Les associations mycorhiziennes jouent un rôle clé dans le fonctionnement et la stabilité des écosystèmes terrestres en intervenant dans les mécanismes régissant l'évolution spatio temporelle des écosystèmes. La présence de plantes supportant déjà des structures mycorhiziennes facilite la régénération des espèces végétales en améliorant l'infection des jeunes plants et leur survie dans des conditions souvent hostiles (**Simard et Durall, 2004**). Les champignons mycorhiziens favorisent la coexistence entre plusieurs espèces végétales, augmentant ainsi la productivité et la biodiversité dans les écosystèmes (**van der Heijden et al., 1998a, b ; Gobat et al., 2003 ; Hart et al., 2003 ; Silvertown, 2004 ; Sanon et al., 2006 ; Kisa et al., 2007**).

2. *Colonisation racinaires des racines par les CMA*

L'étude microscopique des racines *Vitis vinifera* des deux sites moderne et traditionnel dans la région de Ain temouchent montre la présence de différentes structures mycorhizienne les vésicules et les hyphes.

Requenaet al., (1996, 1997) rapportent que dans les milieux méditerranéen, la majeure partie des espèces végétales sont mycotrophes. Il a aussi souvent été démontré que la plupart des plantes dans les écosystèmes terrestres ont des associations mycorhiziennes (**Brundrett, 1991**). Dans cette association le champignon prend le rôle de la racine de la plante et agit comme une extension du système racinaire (**Muchovej, 2004**).

Bohreret al. (2004) ont signalé que plusieurs facteurs influent sur les champignons CMA, à savoir, les espèces végétales, les espèces fongiques et peuvent ainsi contribuer à la variation dans le niveau de colonisation d'un site à un autre.

Les résultats montrent que la fréquence de mycorhization est supérieure à 93% dans le site moderne et 89% pour le site traditionnel. **Bohreret al. (2004)** ont signalé que plusieurs facteurs influent sur les champignons CMA, à savoir, les espèces végétales, les espèces fongiques et peuvent ainsi contribuer à la variation dans le niveau de colonisation d'un site à un autre. Les espèces végétales peuvent avoir une influence directe sur l'abondance et la composition des champignons mycorhiziens (**Lovelocket al., 2003**). En effet, dans cette association, le champignon prend le rôle de la racine de la plante et agit comme une extension du système racinaire (**Muchovej, 2004**). Les associations mycorhiziennes jouent aussi un rôle significatif dans la décomposition et la minéralisation de la matière organique tellurique, mobilisant ainsi les nutriments au bénéfice de la plante hôte (**Gobat et al., 2003 ; Lambers et al., 2008**). L'efficacité de la colonisation CMA dépend des caractéristiques chimiques du sol (**Pons et Gianinazzi-Pearson, 1984**) concernant surtout le phosphore. L'azote et le pH. Selon ces auteurs, les fortes concentrations de phosphore et le pH acide inhibent la germination de certaines espèces de spores. Les teneurs élevées en phosphore des sols, et le pH alcalin, peuvent être la cause d'une relative moyenne intensité de mycorhization.

3. *Teneur des parties aériennes en phosphore*

Nos résultats montrent que les teneurs des feuilles en azote et du phosphore plus élevées dans le site moderne comparées au site traditionnel. Le taux du phosphore est faible pour les deux types des sols. Selon **Dupré et al. (1993)**, **Puttseppet al. (2004)** et **Garcia-Motero et**

al.(2009), la carence en phosphore du milieu favorise la colonisation des champignons mycorhiziens. **Cartmillet *al.* (2008)** affirme que l'un des principaux mécanismes mis en place par les plantes pour contrer le stress abiotique est une meilleure absorption du phosphore. Les mêmes résultats est observés par (**Clark et Zeto, 1996**) qui ont trouvé une grande différence de la teneur en phosphore entre les plantes mycorhizées et non mycorhizées. Ces résultats est en adéquation avec notre études.

Conclusion

Conclusion

Le but de ce travail est d'étudier l'effet de l'association symbiotique mycorhizienne (CMA) sur les caractéristiques physicochimiques et microbiologiques des deux sites moderne et traditionnel de *Vitusvinifera* de la région de Sidi ben adda wilaya d'Aintemouchent. Et vice versa, d'étudier l'effet des deux méthodes de transplantation sur les micro-organismes CMA. Les principaux résultats sont :

- ✓ L'analyse des sols montre une texture limono-argileuse, sol non salé, PH alcalin, riche en azote et riche en matière organique et en carbone, avec une faible teneur en phosphore assimilable. Ce qui augmente la présence des champignons mycorhiziens à arbuscules.
- ✓ l'examen microscopique des racines des espèces étudiée prélevées et colorés au bleu de trypan ; Revel une forte colonisation par les champignonsmycorhiziens. La colonisation racinaire exprime en taux de mycorhization par l'espèce étudiée avec plus de 80 % pour les deux sites, la mycorhization se manifesta par différentes structures est des arbuscules et vésicules.
- ✓ l'inoculation des plantes avec des fragments de racines du site moderne améliore positivement la croissance des plantes, tant en poids frais qu'en poids sec. Ces résultats mettent en évidence l'importance des champignons mycorhiziens présents dans les racines pour la croissance de *Vitis vinifera*.

Ces résultats mettent en évidence l'importance des champignons mycorhiziens pour la croissance de *Vitis vinifera* et montrent comment différents paramètres du sol influencent ces interactions

A la lumière des résultats obtenues il serait intéressant de :

- poursuivre l'identification des espèces de CMA par l'extraction et l'identification des spores.
- Multiplication des espèces de CMA isolées à partir du sol.
- Production des inoculum fongique « culture monospore » pour améliorer la croissance de cette espèce végétale.

*Références
bibliographique*

- [1] **AOUF M., 1972.** La conversion-reconstitution du vignoble algérien. Option méditerranéenne Pp.65-67.
- [2] **Aouissi Nora, (2018).** Biotechnologie de l'inoculation mycorhizienne: Production et application en cultures maraîchères. Cas de la pomme de terre. 2018. Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar, Annaba.
- [3] **APG III, (2009).** An Update of Angiosperm Phylogeny Group classification for orders and families of flowering plants. Bot.J. Linn. Soc
- [4] **Aranda, E., Oyonarte, (2005).** Role of arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus custos* in the dissipation of PAHs under root-organ culture conditions. Environmental Pollution. 181, 182–189.
- [5] **Aubert, G. 1978.** Méthodes d'analyses des sols, Marseille. édition : C.R.D.P. 191p
- [6] **AUGE R, BEACHESNE G, BOCCON-GIBO D., 1989.** La culture in vitro et ses applications horticoles. Ed. France. 225P
- [7] **Aurélie Faugier, 2010.** Diversité bactérienne des sols : accès aux populations à effectifs monitaires “ the rare biosphere ”. Sciences du Vivant [q-bio]. Ecole Centrale de Lyon Français. ffNNT : ff. fftel-00502105v2f.
- [8] **Baize D, Jabiol B. 1995.** Guide pour la description des sols, Ed. INRA, Paris, 375 p.
- [9] **Balzergue C, Puech-Pagès V, Bécard G, Rochange SF. 2011.** The regulation of arbuscular mycorrhizal symbiosis by phosphate in pea involves early and systemic signalling events. Journal of Experimental Botany 62: 1049–1060.
- [10] **Bertschinger H.T., Jago I., Nothing J.O., Human A., 2006.** Repeated use of the GnRH analogue deslorelin to down-regulate reproduction in male cheetahs (*Acinonyx jubatus*). Theriogenology 66(6-7), 1762-1769.
- [11] **Blaszkowski, J., Czerniewska, B. (2008).** *Glomus eburneum* and *sculospora fulgida*, species of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota), new for Europe, Acta mycol, 43(1), P37-65.

[12]Bohrer, K., Friese, C. F., & Amon, J. P. (2004). Seasonal dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi in differing wetland habitats. *Mycorrhiza*, 14: 329-337.

[13]Bonfante P, Peroto S. 1995. Strategies of arbuscular mycorrhizal fungi when infecting host plants. *New Phytologist* 130: 3–21.

[14]Bonfante-Fasolo P., 1980: Anatomy and morphology of VA mycorrhizae. En: Powell CL, Bagyaraj DJ (eds) VA mycorrhiza, CRC Press, Boca Raton, pp. 5-33.

[15]BOUBY L,TERRAL J.,2010. La vigne sauvage(Vitis vinifera L.):une plante cultivée dans les établissements de la Narbonnaise. Exploitation Du milieu et gestion Des ressources végétales

[16]Brundrett MC, Murase G, Kendrick B. 1990. Comparative anatomy of roots and mycorrhizae of common Ontario trees.*Can.J.Bot.* 68, 551-578.

[17]Brundrett MC. 2009. Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. *Plant and Soil* 320: 37–77.

[18]Callot G., Chamagou H., Maertens C. et Salsac L., 1982. Mieux comprendre les

[19]Callot G, Dupuis M. 1980. The active limestone soils and its significance. *Sc of Soil, Bull AFES.* 1, 17-26.interactions entre sol-racines, incidences sur la nutrition minérale., INRA, Paris., 325P.

[20]Calvet G., et Villemin P., 1986. Interprétation des analyses de terre Ed. SCPA. 24 p

[21]CARBONNEAU A, DELOIRE A, BENOIT J.,2007. La vigne physiologie, terroir, culture, Ed.Dunod, Paris (1). 441 P.

[22]Cartmill, A. D. (2008). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance tolerance of vinca to high alkalinity in irrigation water. *Science Horticulture*, 115: 275-284.

[23]Carole Lambert, Bernard Gény, Jean-Marc Brillouet.(2016) « Le sarment de vigne : un organe ligneux singulier pour l'adaptation de la plante aux contraintes environnementales et aux techniques culturales », *Innovations Agronomiques*, vol. 17, 2011, p. 99-109.

[24]Choné, X., van Leeuwen, C., Tregoat, O., Gaudillère, J. P., & Pernet, D. (2001). "Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux

wine. How can it be assessed for vineyard management purposes?" *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 43(3), 121-134

[25] **Cordier, C., S. Gianinazzi and V. Gianinazzi-Pearson, 1996.** Colonisation patterns of root tissues by *Phytophthora nicotianae* var. *parasitica* related to reduced disease in mycorrhizal tomato. *Plant Soil*, 185: 223-232.

[26] **Coombe, B. G. (1995).** Adoption of a system for identifying grapevine growth stages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1(2), 100-110.

[27] **Cornet F, Diem HG ; Dommergues YR. 1982.** Effet de l'inoculation avec *Glomus mosseae* sur la croissance d'*Acacia holoserica* en pépinière et après transplantation sur le terrain. In : *Les mycorhizes, biologie et utilisation*. V. Gianinazzi-Pearson S. Gianinazzi Eds, INRA Publ. P.287-292.

[28] **Clark, R. B., & Zeto, S. K. (1996).** Mineral acquisition by mycorrhizal maize grown on acid and alkaline soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 28 (10-11): 1495-1503.

[29] **COUTIN R., 2002.** Acariens et insectes de la vigne. *Insectes* 126(3). Pp. 20-23.

[30] **Dedelin, R et Selosse, M.A. (2011).** Orchidées et champignons: une porte vers les réseaux mycorrhiziens, 202, P75-83.

[31] **Dexheimer J. (1997).** Etude structurale et fonctionnelle des interfaces entre le champignon et la plante-hôte, sp, P43-56.

[32] **Diem G.H., Dommergues Y., Duhoux E., 1998.** Les arbres fixateurs d'azote : caractéristiques et rôle dans les écosystèmes méditerranéens et tropicaux. IRD-FAO-CIRAD. 500p

[33] **DUBOIS J, DESHAIES L., 1997.** Guides de vignobles du Québec: sur la route des vins. Les presses de l'université Laval. (QC). 297 P.

[34] **Duchaufour P., 1997.** Pédologie et classification. Ed. Masson, Paris. 477p.

11. Duchaufour. (2004). Introduction à la science du sol, végétation, environnement. édité. Dunod. 83p.

[35] **Duchaufour Ph., 1995.** Pédologie, sol, Végétation et environnement 4ème Edition, MASSON.

- [36] **Duponnois R, 2005.** Généralités sur la symbiose mycorhizienne in Duponnois Robin (ed.), Hafidi M. (ed.), Ndoye I. (ed.), Ramanankierana H. (ed.), Bâ A.M. (ed.), Des champignons symbiotiques contre la désertification : écosystèmes méditerranéens, tropicaux et insulaires, Institut de recherche pour le développement, Marseille, France. Pp : 25-26
- [37] **Dupre, C., Chevalier, G., Palenzona, M., Ferrara, AM., Nascetti, G., Mattiucci 5., & Biocca, E. (1993).** Differenziazione genetica di ascocarpi, miceli e micorrize di differenti specie di Tuber. In: *Compt. Rend. Congr. Internatl.* 145-159.
- [38] **Duponnois, R., Founoune, H., Masse, D. et Pontanier, R. 2005** Inoculation of *Acacia holosericea* with ectomycorrhizal fungi in a semi-arid site in Senegal: growth response and influences on the mycorrhizal soil infectivity after 2 years plantation. *Forest Ecology and Management*, 207: 351- 362*
- [39] **Durand J. B., 1983.** Les sols irrigables étude pédologique., Ed Presse universitaire de France, Paris. France. 339p
- [40] **E.T. Kiers, M. Duhamel, Y. Beesetty, J.A. Mensah, O. Franken, E. Verbruggen, C.R. Feilbaum, G.A. Kowalchuk, M.M. Hart, A. Bago, et al (2011)** . Reciprocal rewards stabilize cooperation in the mycorrhizal symbiosis ; *Science*, 333 , pp. 880-882
- [41] **FAO., 1990.** Gestion des eaux en irrigation. Rome, Italie, 74 p.
- [42] **FINLAY RD. 2008.** Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium. *J Exp Bot* 59: 1115- 1126.
- [43] **Fitter AH. 2006.** What is the link between carbon and phosphorus fluxes in arbuscular mycorrhizas? A null hypothesis for symbiotic function. *New Phytologist* 172: 3–6.
- [44] **Fortin JA, Plenchette C, Piché Y. 2008.** Les mycorhizes : La nouvelle révolution verte. Versailles, FRA, Editions Quae, 131 p. <http://prodinra.inra.fr/record/>
- [45] **Françoise A., Blondon A., Martínez J.M.Z. et Chittaranjan K. 2011.** Genetics, genomics and breeding of Grape. 1er édition, Florida, USA, 360 p

- [46] Frank, E. (1877). Die Pfahlbaustation Schussenried. Stettner in Commiss Piché, Y., Planchette, C., & Fortin, J. A. (2016). Les mycorhizes: L'essor de la nouvelle révolution verte. Les mycorhizes, 1-184.
- [47] Gagnard J., Huguet C. et Ryser J.P., 1988. L'analyse du sol et du végétal dans la conduite de la fertilisation, le contrôle de la qualité des fruits., Secrétariat générale OILB/SROP, Edition - Diffusion ACTA., 87 P.
- [48] Galet P., 1993. Précis de viticulture. 6ème éd. Dehan. Montpellier. 612 p
- [49] GALET P., 1993. Précis de viticulture. Ed. Déhan, Montpellier. 582 P.
- [50] Galet P., 2000. Dictionnaire encyclopédique des cépages, Hachette. 935p
- [51] Galet P., 2000. Dictionnaire encyclopédique des cépages, Hachette. 935p.
- [52] GALET P., 2000. Précis de viticulture. 7ème éd. France. 602 p.
- [53] GALET P., 2000. Précis de viticulture. Ed. JF. 7ème édition. 597 P.
- [54] GARBAYE J. 2013. La symbiose mycorhizienne, une association entre les plantes et les champignons. (Eds) Quae p 41- 280.
- [55] García-Montero, L. G., Quintana, A., Valverde-Asenjo, I., & Díaz, P. (2009). Calcareous amendments in truffle culture: A soil nutrition hypothesis. *Soil Biology and Biochemistry* 41: 1227–1232.
- [56] Garcia Cortazar, A., & Atauri, J. A. (2006). Climate change impact on grape vine suitability in Europe. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 40(3), 157164.
- [57] García Garrido JM, Ocampo JA. 2002. Regulation of the plant defence response in arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Journal of experimental botany* 5: 1377–1386
- [58] Genre A, Chabaud M, Timmers T, Bonfante P, Barker D G. 2005. Arbuscular Mycorrhizal Fungi Elicit a Novel Intracellular Apparatus in *Medicago truncatula* Root Epidermal Cells before Infection. *American Society of Plant Biologists*. 17 (12), 3489-3499
- [59] Giri C, Zhu Z, Tieszen LL, Singh A, Gillette S, Kelmelis JA (2008) Mangrove forest distributions and dynamics (1975-2005) of the tsunami-affected region of Asia. *J Biogeogr* 35(3):519–528. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01806.x>

- [60]-**Gianinazzi S, Gollotte A, Binet MN, van Tuinen D, Redecker D, Wipf D (2010).** Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza* 20: 519-530. DOI: 10.1007/s00572-010-0333-3
- [61]-**Gianinazzi-Pearson, V., & Gianinazzi, S. (1986).** Physiological and genetical aspects of mycorrhizae : proceedings of the 1st European Symposium on Mycorrhizae, Dijon, 1-5 July 1985.
- [62] **Gianinazzi-Pearson V, Dumas-Gaudot E, Gollotte A, Tahiri-Alaoui A, Gianinazzi S (1996).** Cellular and molecular defence-related responses to invasion by arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol* **133**: 45–57
- [63]**Gianinazzi. S., 1996.** Cellular and molecular defence-related root responses to invasion by arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol* 133 : 45–57.
- [64]**Gobat J M., Argno M., Mathey W., 2010.** Le livre le sol vivant ; Bases de. Gobran, W Wenzel, E Lombi (Eds) Trace Elements in the Rhizosphere. CRC Press, Boca Greenland D.J. 1981. Soil management and soil degradation. *J. Soil Sci.*, 32 : 301-322.
- [65]**Guessoum A.,2001.** L'effet de l'irrigation sur la salinité du sol dans la région de Saada - Biskra., Thèse ing,Agro,Univ Batna., 50 P.
- [66]**Guisso T., Ba A. M., Planchette C., Guink S., Duponnois R. (2001).** Effet des mycorhizes à arbuscules sur la tolérance à un stress hydrique de quatre fruitiers, *Science et changements planétaire sécheresse*,12(2), P121-127
- [67]**Hatimi A, Tahrouch S. 2007.** Caractérisations chimique, botanique et microbiologique du sol des dunes littorales du Souss- Massa. *Biomatec Echo.* 2 (5), 85-97.
- [68]**Hijri, I., Z. Sykorova, F. Oehl, K. Ineichen, P. Mader, A. Wiemken and D. Redecker (2006).** Communities of arbuscular mycorrhizal fungi in arable soils are not necessarily low in diversity.*Molecular Ecology* 15:2277-2289.
- [69]**Hause, B., Mrosk, C., Isayenkov, S.V., & Strack, D. (2007).** Jasmonates in arbuscular mycorrhizal interactions. *Phytochemistry*, 68 1, 101-10 .
- [70]**Huglin, P. et Schneider, C.1998.** Biologie et écologie de la vigne. Edit. Lavoisier et Tec. Et Doc., 43-81 p.

- [71]Harley JL, Harley EL, 1987. A check-list of mycorrhiza in the British flora. The New Phytologist (supplement) 105: 1-102.
- [72]Haston, E., Richardson, J. E., Stevens, P. F., Chase, M. W., & Harris, D. J. (2009). The linear sequence of Angiosperm Phylogeny Group III (APG III). Botanical Journal of the Linnean Society, 161(2), 128-131.
- [73]Hinsinger P., 2001. -Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root induced chemical changes: a review. Plant Soil 237: 173–195.
- [74]HUGLIN P. et SCHNEIDER C., 1998. Biologie et écologie de la vigne, 2eme éd. Lavoisier TEC & DOC. N° 260. Paris. 370p
- [75]HUGLIN P., 1998. Biologie et écologie de la vigne. Ed. Payot Lausanne. Paris. 371p
- [76]Javot H, Penmetsa RV, Terzaghi N, Cook DR, Harrison MJ. 2007. A Medicago truncatula phosphate transporter indispensable for the arbuscular mycorrhizal symbiosis. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 104: 1720–1725.
- [77]Jochems-Tanguay, L. (2014). Les inoculants mycorrhiziens pour une agriculture québécoise plus productive et moins dépendante aux engrais minéraux phosphatés .
- [78]Khresat, S. A., Rawajfih, Z., & Mohammad, M. (1998). Land degradation in northwestern Jordan: causes and processes. Journal of Arid Environments (1998) 39: 623–629. Article No. ae980385. Jordan University of Science and Technology, Irbid, Jordan. (Reçu le 3 octobre 1997, accepté le 25 février 1998).
- [79]Koske R.E.1981. Gigaspora gigantea: observations on spore germination of a V Amycorrhizal fungus. Mycologia., 73:288-300p.
- [80]KOTHARI, S. K., MARSCHNER, H., & GEORGE, E. (1990). Effect of VA mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganisms on root and shoot morphology, growth and water relations in maize. New Phytologist, 116(2), 303–311. doi:10.1111/j.1469-8137.1990.tb04718.x . 10.1111/j.1469-8137.1990.tb04718.x
- [81]Lacombe T., 2012. Genetic variation and biogeography of the disjunct Vitis subg. Vitis (vitaceae). Journal of Biogeography, vol 38 (n°3): 471-486.

- [82] **Lambers H., Raven JA., Shaver GR., Smith SE., 2008.** -Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age. *Trends in Ecology & Evolution* 23: 95-103.
- [83] **Lambers H, Raven JA, Shaver GR, Smith SE. 2008.** Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age. *Trends in Ecology & Evolution*. 23, 95-103.
- [84] **Levadoux L., 1967.** Possibilité naturelles offertes à la culture des raisins de table en Algérie
- [85] **Leyval C, Joner EJ, 2001.** Bioavailability of heavy metals in the mycorrhizosphere. In: GR
- [86] **Lery., 1982.** L'agriculture au Maghreb ou pour une agronomie méditerranéenne. Ed.
- [87] **Lekhrif. Z . 2011.** Contribution à la caractérisation de la diversité variétale des vignes locales par la mise au point d4 un modèle bio-informatique et statistique a base de donnée ampélographique (DATA OIV). Mémoire Magistère. Univ. Biskra. P13.
- [86] **Li L.Y, and Li R.S., 2006.** The role of clay minerals and effect of H⁺ ions on removal
- [87] **Li, H., Smith, S.E., Holloway, R.E., Zhu, Y., Smith F.A. 2006.** Arbuscular mycorrhizal fungi contribute to phosphorus uptake by wheat grown in a phosphorus-fixing soil even in the absence of positive growth responses. *New Phytologist* 172, 536-543
- [88] **Li Q, Ling W, Gao Y, Li F and Xiong, W. 2006.** Arbuscular mycorrhizal bioremediation and its mechanism of organic pollutants-contaminated soils. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*.17(11), 2217-2221
- [89] **Lionello,P ; Malanotte,R-P ; Boscolo,R.2006.** méditerranéen climate variability.développements in Earth and environmental Sciences. 4émé ed.439p
- [90] **Lovelock CE, Andersen K, Morton JB. 2003.** Arbuscular mycorrhizal communities in tropical forests are affected by host tree species and environment. *Oecologia*. 135, 268
279.doi:10.1007/s00442-002-1166-3.
- [91] **Luttge, U., Kluge, M., Bauer, G. (2002).** Botanique, 3ème Edition, Lavoisier, Paris,571P.
- [92] **Meyer, J.R. et R.G. Linderman. 1986.** Response of subterranean clover to dual inoculation with vesicular arbuscular mycorrhizal fungi and a plant growth-promoting

bacterium *Pseudomonas putida*. *Soil Biol. Biochem.* 18 : 185-190.10.1016/0038-0717(86)90025-8

[93]Miransari M ; H. Bahrami ; Farhad Rejali ; M.J. Malakouti (2008). Using arbuscular mycorrhiza to alleviate the stress of soil compaction on wheat (*Triticum aestivum* L.) growth. 40(5):1197-1206. 10.1016/j.soilbio.2007.12.014

[94]Mosse B. 1973. Plant Growth Responses To Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza .

New phytologist. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1973.tb02017.x>

[95]Meyer S., Reeb C., Bosdeveix R. (2008) : Botanique, biologie et physiologie végétales,Ed.Maloine, pp462.

[96]Mathieu C., (2003). Analyse physique des sols. Pp : 19-20.

[97]Mathieu, C., & Pielain, F. (2003). Analyse chimique des sols. Tec/Doc, Cachan, France.

[98]Mathieu, C., Pielain, F., & Jeanroy, E. (2003). Analyse chimique des sols: Méthodes choisies. Tec & doc

[99]Mikola. (1988). Ectendomycorrhiza of conifers, *Silvai fennica*, 22, P 19-27.

[100]Mohamed Seghir S.,Yahi H., 2017.Caractérisation physico-chimique des sols et des Eaux d'irrigation de la Zone Kef Tiour wilaya de M'sila, Mémoire mastère, 100p.

[101]Mouffak AA, Tsaki H, Bekki A, Krabia Laid. 2014. Bio-Revegetation Impact on the Physicochemical Characteristics of a Sandy Quarry Soil in Terga Beach Region in Algeria. *Journal of Agricultural Science.* 6, 2014.

[102]Morel R., 1996. Les sols cultivés, 2éme édition, paris : Technique et documentation, ISBN : 2-7430-149-6

[103]Muchovej, R. M. (2004). Importance of mycorrhizae for agricultural crops. SS-AGR-170, Agronomy Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida

- [104] **Nannipieri, P., Grego, S., and Ceccanti, B. (1990)** . Ecological significance of the biological activity in soils. In *Soil Biochemistry*, J.M. Bollag, and G. Stotzky, eds. (New York: Marcel Dekker), p.293–355.
- [105] **Nouaim R., Chaussod R., 1996.** Effet de la mycorhization contrôlée sur la croissance de l'arganier (*Argania spinosa*) après sa transplantation en sol non désinfecté. *Al Awamia*, 96 : 65-76.
- [106] **Nicolardot B., Mary B., Houot S., Recous S., 1996.** La dynamique de l'azote dans les sols cultivés. In : maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes. Ed INRA, Paris. of heavy metal (Pb²⁺) from contaminated soil. *Can. J. Geotech/Rev.* 37 296-307.
- [107] **Ouahmane L, Hafidi M, Thioulouse J, Ducouso M, Kisa M, Prin Y. 2006.** Improvement of *Cupressus atlantica* Gaussen growth by inoculation with native arbuscular mycorrhizal fungi. *J. Appl. Microbiol.* 103, 683-690. 10.1111/j.1365-2672.2007.03296.x
- [108] **Pensec, F. 2013.** Les triterpénoïdes chez la vigne: quantifications, voies de biosynthèse et intérêt pour la lutte contre des bioagresseurs. Thèse de doctorat, université de Haute Alsace, France, 276 p.
- [109] **Phillips JM., Hayman D.S. 1970** .Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 55:158-160p.
- [110] **Pierat, A. (2012).** Interaction mycorhizatiennne nutrition phosphore et adaptation de la plante à la toxicité du nickel sur substrat ultramafique vers une optimisation de la mycorhization d'*Alphitonia neocaledonia*, université de la nouvelle-calédonnie, 76P.
- [111] **Pons F., Gianinazzi- Pearson V.1984.**Influence du phosphore, du potassium, de l'azote et du pH sur le comportement in vitro de champignons endomycorhizogènes à vésicules et arbuscules. *Cryptogamie mycologie.*5(2) :87-100.
- [112] **Püttsepp, Ü., Rosling, A., & Taylor, A. (2004).** Ectomycorrhizal fungal communities associated with *Salix viminalis* L. and *S. dasyclados* Wimm. clones in a short-rotation forestry plantation. *Forest Ecology and Management*, 196, 413-424.

- [113]QUELENIS N., 2008. La vigne dans le monde : CCI. Champagne-Ardenne. Quncirence of togninia minima perithecia in esca affected vineyards in California,PlantDis.89.Pp.857-871 Raton, pp. 165-185.
- [114]Read DJ, Perez-Moreno J. 2003 – Mycorrhizas and nutrient cycling in ecosystems – a journey towards relevance? New Phytologist 157, 475–492.
- [115]Read, D.J., & Pérez-Moreno, J. (2003). Mycorrhizas and nutrient cycling in ecosystems - a journey towards relevance? The New phytologist, 157 3, 475-492 .
- [116]Reynier, A. (2012). Manuel de viticulture : Guide technique du viticulteur (11eédition). Paris :Lavoisier.
- [117]Rouiller J, Souchier B, Bruckert S, Feller C, Toutain F, Védry JC. 1994. Méthodes d'analyses des sols. In « Pédologie -Tome 2, Constituants et propriétés du sol», Bonneau, M. et Souchier, B. Masson (Ed.). p 619-652.
- [118]Ruiz-Sánchez, M., Aroca, R., Muñoz, Y., Polón, R., & Ruiz-Lozano, J. M. (2010). The arbuscular mycorrhizal symbiosis enhances the photosynthetic efficiency and the antioxidative response of rice plants subjected to drought stress. Journal of plant physiology, 167(11), 862–869. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.01.018>
- [119]Raven., Evert., Eichhorn. (2007). Biologie Végétale, In, les champignons, De Boeck & larciers.a., Paris, P221- 295.
- [120]Redecker D, Kodner R, Graham LE, 2000. Glomalean fungi from the Ordovician. Science 289: 1920-1921.
- [121]Requena N., Serrano E., Ocón A., Breuninger M. 2007. Plant signals and fungal perception during arbuscularmycorrhiza establishment.Phytochemistry. , 68:33-40p.
- [122]Requena N, Jeffries P, Barea JM. 1996. Assessment of natural mycorrhizal potential in a desertified semiarid ecosystem. Appl Environ Microb. 62, 842–847.
- [123]Requena N, Jimenez I, Toro M, Barea JM. 1997. Interactions between plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR), arbuscular mycorrhizal fungi and Rhizobium spp. in the rhizosphere of Anthyllis cytisoides, a model legume for revegetation in mediterranean semi-

arid ecosystems. *New Phytol.* 136, 667–677.

[124]REYNIER A., 1991. Manuel de viticulture. 6eme éd. Lavoisier TEC & DOC. France.396P

[125]REYNIER A., 2007. Manuel de viticulture. 10ème éd. Lavoisier Tec & Doc. Paris. 600p

[126]REYNIER A., 2007. Manuel de viticulture. Ed.TEC & DOC. Paris. 10ème. Ed. 527 P.

[127]Reynier A., 2007. Manuel de viticulture. Edit, Tec. doc, Paris, 532 p.

[128]RIBEREAU-GAYON J. et PEYNAUD E., 1971. Sciences et techniques de la vigne, traité d'ampélogie. Tome 1. Ed. DUNOD. Paris. 725p

[129]Robinson, J., Harding, J., Vouillamoz, J. F. (2012). *Wine Grapes: A Complete Guide to 1,368 Vine Varieties, Including Their Origins and Flavours*. Ecco Press.

[130]Schuâler A., schwarzotti and Walker C., 2001. A new fungal phylum, the Glomeromysta: phylogeny and evolution *Mycol. Res.* 105 (12): 1413- 1421

[131]Schultz .C, 2000.dans la revue "Revue Suisse de Viticulture, Arboriculture, Horticulture" , volume 32, numéro 4, pages 233-238,

[132]S. GIANINAZZI, A. TROUVELOT et V. GIANINAZZI-PEARSON ; (1983). Les endomycorhizes: importance dans la croissance et le développement des arbres fruitiers.*Fruits.* 3, 38:(9) 659-662.

[133]Saraoui N., 2006. Vision-perspective de développement de la viticulture. *Revue : Green Algérie.Agriculture et destin commun os.* 18-20p.

[134]Schuâler A., schwarzotti and Walker C., 2001. A new fungal phylum, the Glomeromysta: phylogeny and evolution *Mycol. Res.* 105 (12): 1413- 1421.

[135]S.E. Smith and D.J. Read 1998. . Mycorrhizal Symbiosis.. *Plant Growth Regulation* 25, 71.<https://doi.org/10.1023/A:1005933001413>.

[136]Schreiner RP, Bethlenfalvay GJ (1995) Mycorrhizal interactions in sustainable agriculture. *Crit Rev Biotechnol* 15:271–285

[137]Schwarzott D, Walker C, Schüßler A, 2001. *Glomus*, the largest genus of the arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales), is nonmonophyletic. *Molecular Phylogenetics and*

Evolution 21: 190-197.

[138]Selosse, M.A., Duhoceux, E., Oriche, N. (2004). Intractin rhiziennes, In, atlas de biologie et interaction chez les plants, Dunod, Paris, P54-78.

[139]Simard SW., Durall DM., 2004. -Mycorrhizal networks: a review of their extent, function, and importance. Canadian Journal of Botany 82: 1140-1165

[140]Simon J., 1974 . Viticulture. Imp. Déhan Montpellier. 990 p.

[141] Simon J.-L., Schwarzenbach J., Mischler M., Eggenberger W. & Koblet W., 1977. Viticulture. Payot, Lausanne, 195 p.

[142]SCHWARZENBA CH. J., 1992. Viticulture. 3ème Ed. Payot Lausanne la Maison Rustique. Paris. 223p.

[143]Sylvia D.M., Wilson D.O., Graham J.H., Maddox J.J., Millner P., Morton J.B., Skipper H.D., Wright S.F., Jarstfer A.G. (1993). Evaluation of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in diverse plants and soils. Soil Biol. Biochem., 25: 705–713.

[144]Smith SE, Read DJ. 2008. Mycorrhizal symbiosis. San Diego, CA: Academic Press.

[145]Soltner D., 2000. Les bases de la production végétale, T I : le sol et son amélioration., 22 e Edition, Editions sciences et techniques agricoles (Le clos Lorelle)- 49130 saintGemmessur-Loire.,472p.

[146]Tinker PB. 1984. Soil chemistry of phosphorus and mycorrhizal effects on plant growth. In. FE. Sanders, eds. Endomycorrhizas. London . Academic Press. 353–371.

[147]Tisdall, J.M.1994. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. Plant Soil 159,115–121 . <https://doi.org/10.1007/BF00000100>

[148]Toumi M., 2006. Evaluation de l'état nutritionnel du vignoble de table. Thèse de doctorat d'Etat en sciences agronomiques. Institut National Agronomique El Harrach. Alger.

[149]Trouvelot, S., Varnier, A. L., & Gianinazzi-Pearson, V. (2015). Assessing the Effects of Different Ectomycorrhizal Fungi on *Vitis vinifera* L. Grafted Onto SO4 Under Greenhouse Conditions. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1-11.

[150]Trépanier M. (1998). Effets des champignons endomycorhiziens sur le bouturage et la croissance de plantes ligneuses ornementales. Mémoire de grade Master Science. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation. Université Laval, Canada, 90 p.

[151]Van der Heiden MGA, Streitwolf-Engel R, Riedl R, Siegrist S, Neudecker A, Ineichen K, Boller T, Wiemken A, Sanders IR, 2006. The mycorrhizal contribution to plant productivity, plant nutrition and soil structure in experimental grassland. *New Phytologist.*, 172: 739-752.

[152]VIALA P,VERMOREL V.,1910. *Traité général d'ampélographie*. Ed. Masson vol.2,Paris, 255 P.

[153]Villa P.,2005.*La culture de la vigne*. Ed. De Vecchi,156 P.

[154]Vosatka M.,Albrechtova J.,2009. Benefits of Arbuscular Mycorrhizal fungi to Sustainable Crop Production. Chapter 10.M.S. Khan et al.(eds.), *Microbial Strategies for Crop Improvement*,205- 225.

[155]Wilhelm et Nultsch. (1998). L'hétérotrophie, In, *Botanique Générale*, De Boeck Université s.a, paris, p360-379.

[156]Yang, Y., Tang, M., Sulpice, R., Chen, H., Tian, S., and Ban, Y. (2014). Arbuscular mycorrhizal fungi alter fractal dimension characteristics of *Robinia pseudoacacia* L. Seedlings through regulating plant growth, leaf water status, photosynthesis, and nutrient concentration under drought stress. *J. Plant Growth Regul.* 33, 612–625.

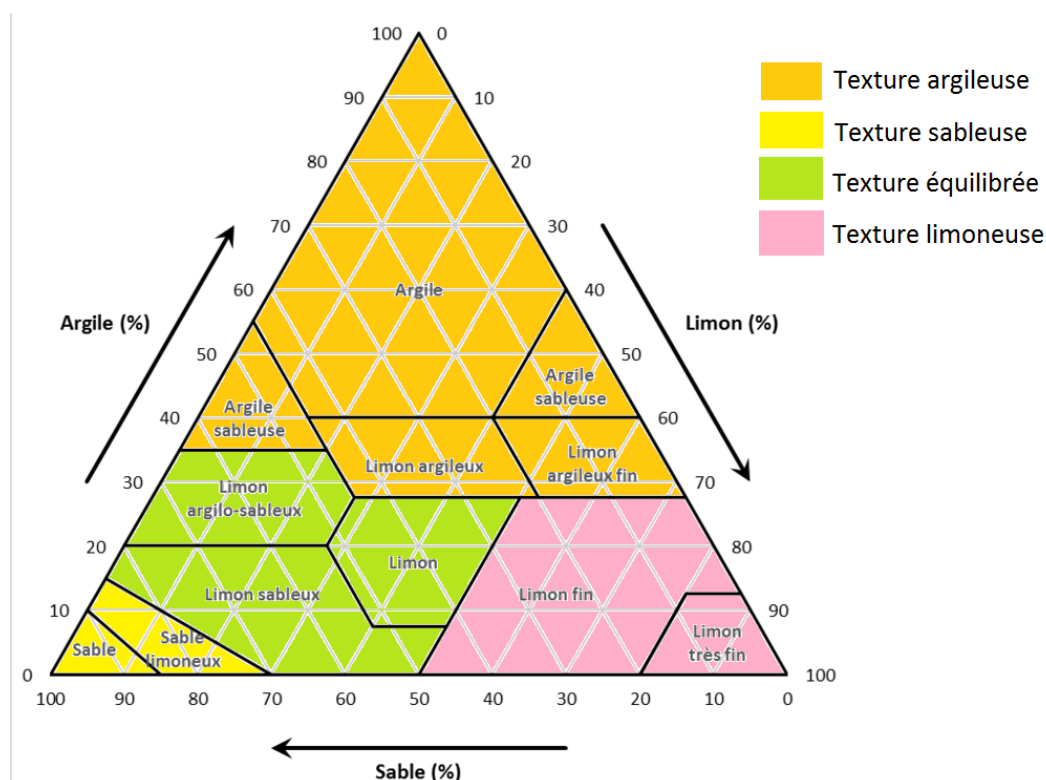
[157]Ziane, H., Meddad-Hamza, A., Beddiar, A., & Gianinazzi, S. (2017). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and fertilization levels on industrial tomato growth and production. *International Journal of Agriculture and Biology*, 19(2).

[158]Zhou RL; Li YQ; Zhao HL, Drake S. 2008. Desertification effects on C and N content of sandy soils under grassland in Horqin , northern China. *Geoderma.* 145, 370-375.

[159]Zornoza, R., Acosta, J.A., Bas da, F., Domin guez, S.G., Toledo, D.M., and Faz, A. (2015). Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. *Soil (Gottingen)* 1 (1), 173–185 <https://doi.org/10.5194/soil-1-173-2015>.

Annexes

Annexe n°01: le triangle des classes fondamentales de texture du sol



Annexe n°02: classification du sol selon le pH

pH	Qualité du sol
$\text{pH} < 5$	Fortement acide
$5 < \text{pH} < 5,9$	Franchement acide
$6 < \text{pH} < 6,5$	Légèrement acide
$6,6 < \text{pH} < 7,3$	Neutre
$7,4 < \text{pH} < 7,7$	Légèrement alcalin
$\text{pH} > 7,7$	alcalin

Annexe n°03: Norme d'interprétation pour la matière organique

M.O %	Niveau
0,7	Sol très pauvre
0,7 _ 1,5	Sol pauvre
1,5 _ 3,0	Sol moyennement pauvre
3,0 _ 6	Sol bien pourvu
6	Sol très bien pourvu

Annexe n°04: Classification des sols selon le pourcentage de calcaire (CaCo₃)

Taux de CaCo ₃ %	Nature du sol
0 à 5	Peu calcaire
5 à 15	Moyennement calcaire
15 à 30	Calcaire
> 30	Très calcaire

Annexe n°05: Normes d'interprétation pour le phosphore assimilable Olsen

	Qualification du sol
0 - 5	Très basse
5 - 10	Basse
10-22	Moyen
> 22	Elevé

Annexe n° 06 : Niveau de conductivité électrique des sols

CE (mmho/cm)	niveau
<0,1	Très faible
0,2	Faible à moyen
0,5	Moyen à élevé
0,5 _ 1	Très élevé
>1	Très forte salinité

Annexe n°07: Norme d'interprétation pour les éléments nutritifs

Nature du sol	Sol très pauvre	Sol pauvre	Sol moyen	Sol riche	Sol très riche
Azote (%)	<0,05	0,05 à 0,1	0,1 à 0,15	0,15 à 0,25	>0,25
Potassium (meq/100g)	-	<0,25	0,25<K<0,5	0,5<K<1	>1

Résumé

L'objectif de cette étude est tout d'abord, d'évaluer les caractéristiques physico-chimiques des sols de *Vitis vinifera* de la région de Sidi ben adda (Ain Temouchent) sur deux sites, l'un moderne et l'autre traditionnel ; ensuite, de déterminer le taux de mycorhization de cette espèce végétale, en mesurant la fréquence de mycorhization, l'intensité globale de la mycorhization, et la richesse arbusculaire de la partie mycorhizée ; afin d'examiner l'effet des champignons mycorhiziens arbusculaires CMA (par inoculation contrôlée) sur la croissance de *Vitis vinifera*. Les analyses des sols prélevés sous l'espèce végétale *Vitis vinifera* des deux sites moderne et traditionnel dans la région de Sidi ben adda Ain temouchent indiquent que le sol a une texture limono-argileux et le phosphore assimilable et d'azote présentent des taux faibles. Les examens microscopiques des fragments de racines de *Vitis vinifera* de site moderne et traditionnel, ont révélé la présence de structures caractéristiques des mycorhizes arbusculaires, incluant principalement des hyphes, des arbuscules, des vésicules et des spores. Les fragments de site moderne et traditionnel sont fortement mycorhizés, L'analyse en composante principale (ACP) a permis de visualiser les relations entre les paramètres physicochimiques et microbiologiques des sols étudiés. Deux axes principaux expliquent 83,29 % de la variation totale observée. Le premier axe, qui explique 48,68 % de cette variation, regroupe plusieurs paramètres : le phosphore assimilable, l'azote total, le pH et l'argile, tous corrélés positivement avec des coefficients de corrélation significatifs allant de 0,84 à 0,89. En revanche, le phosphore et l'azote sont négativement corrélés avec l'intensité et la fréquence de mycorhization, avec un coefficient de corrélation significatif de -0,74.

Mots clés : CMA, *Vitis vinifera*, Les analyses physicochimiques du sol, analyses microbiologique, inoculation contrôlée

المخلص

هدف هذه الدراسة هو أولاً، تقييم الخصائص الفيزيائية والكيميائية لتربة نبات *vitis vinifera* في منطقة سيدي بن عدة (عين تموشنت) في موقعين، أحدهما مزروع بطريقة حديثة و الآخر بطريقة تقليدية، ثم تحديد معدل التعايش الجذري لهذه النبتة، بهدف دراسة تأثير الفطريات الشجرية الجذرية CMA (عن طريق التلقيح المنظم) على نمو نبات *vitis vinifera* تشير تحاليل التربة المأخوذة من النبات المدروس في الموقعين الموجودين في منطقة سيدي بن عدة عين تموشنت إلى أن التربة لها قوام طمي-طيني وأن الفسفور المتاح والنيتروجين يظهر بمعدلات منخفضة. كشفت الفحوصات المجهرية لقطع جذور نبات *vitis vinifera* من الموقعين الحديث والتقليدي عن وجود هياكل مميزة للتعايش الجذري الشجري، تشمل بشكل أساسي الخيوط الفطرية، الأشجار الفطرية، الأكياس البكتيرية والجراثيم. قطع الجذور من الموقعين الحديث والتقليدي متعايشة جذرياً بشكل كبير وقد سمح تحليل المكونات الرئيسية ACP برؤية العلاقات بين الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية للتربة المدروسة. يفسر محوران رئيسيان 83.29% من التغير الإجمالي المرصود. المحور الأول، الذي يفسر 48.68% من هذا التغير، يجمع بين عدة معايير: الفسفور المتاح، النيتروجين الكلي، درجة الحموضة والطين. جميعها مرتبطة إيجابياً بمعاملات ارتباط دلالة تتراوح من 0.84 إلى 0.89. بالمقابل، يرتبط الفسفور والنيتروجين بشكل سلبي مع شدة وتكرار التعايش الجذري، بمعامل ارتباط ذي دلالة قدره -0.74.

الكلمات المفتاحية : CMA، *Vitis vinifera*، التحاليل الفيزيائية والكيميائية للتربة، التحاليل الميكروبيولوجية، التلقيح المنظم

Abstract

The objective of this study is, first, to evaluate the physicochemical characteristics of the soils of *Vitis vinifera* in the Sidi ben Adda region (Ain Temouchent) at two sites, one modern and the other traditional; and then to determine the mycorrhization rate of this plant species by measuring the frequency of mycorrhization, the overall intensity of mycorrhization, and the arbuscular richness of the mycorrhized part; in order to examine the effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) (through controlled inoculation) on the growth of *Vitis vinifera*. Soil analyses taken from under the *Vitis vinifera* plant at the modern and traditional sites in the Sidi ben Adda Ain Temouchent region indicate that the soil has a loamy-clay texture and that the available phosphorus and nitrogen levels are low. Microscopic examinations of root fragments of *Vitis vinifera* from the modern and traditional sites revealed the presence of characteristic structures of arbuscular mycorrhizas, mainly including hyphae, arbuscules, vesicles, and spores. The root fragments from both the modern and traditional sites are highly mycorrhized. Principal component analysis (PCA) allowed visualization of the relationships between the physicochemical and microbiological parameters of the studied soils. Two main axes explain 83.29% of the total observed variation. The first axis, which explains 48.68% of this variation, groups several parameters: available phosphorus, total nitrogen, pH, and clay, all positively correlated with significant correlation coefficients ranging from 0.84 to 0.89. Conversely, phosphorus and nitrogen are negatively correlated with the intensity and frequency of mycorrhization, with a significant correlation coefficient of -0.74.

Keywords: AMF, *Vitis vinifera*, soil physicochemical analyses, microbiological analyses, controlled inoculation