

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR – ANNABA

جامعة باجي مختار عنابة



FACULTÉ DES SCIENCES
DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE
LABORATOIRE DE BIOLOGIE VÉGÉTALE ET ENVIRONNEMENT

Thèse En vue de l'obtention d'un Diplôme de Doctorat

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biologie Végétale et Pharmacognosie

Intitulé

**Invasion par *Acacia mearnsii* (De Wild) : Quels risques sur
Quercus suber L. dans le Parc National d'El Kala au Nord-
Est Algérien ?**

Presentée par : Mme SAHRI Fatima Zohra ep REFES

Directrice de thèse : BOUDIAF Iméne (MCA, Université Badji Mokhtar -Annaba)

Devant un jury composé de :

Pr. SERIDI Ratiba	Présidente	Université Badji Mokhtar - Annaba
Pr. LAZLI Amel	Examinatrice	Université Chadli Benjdid EL Taref
Dr. NOURI Nada	Examinatrice	Université Chadli Benjdid EL Taref
Dr. TLILI Nadia	Examinatrice	Université Badji Mokhtar – Annaba

Année universitaire : 2022/2023

REMERCIEMENTS

Le travail présenté dans cette thèse a été réalisé au laboratoire de Biologie Végétale et Environnement (LBVE) du département de Biologie de la faculté des sciences de l'Université Badji Mokhtar, Annaba-Algérie.

A l'issue de la rédaction de cette recherche, je suis convaincue que la thèse est loin d'être un travail solitaire. En effet, je n'aurais jamais pu réaliser ce travail doctoral sans le soutien d'un grand nombre de personnes dont la générosité, la bonne humeur et l'intérêt manifestés à l'égard de ma recherche m'ont permis de progresser.

Les mots sont souvent insuffisants pour exprimer ses remerciements aux personnes qui vous ont aidés à grandir et mûrir, et se sentir bien en place dans la vie comme au travail

*Je commencerai par ma famille, ma mère **Akoula** et mon père **Noureddine** qui ont toujours cru en moi et toujours donné les moyens d'aboutir à ce que j'avais décidé de réaliser dans la vie. Jamais je ne vous en remercierai assez.*

Que dieu vous préserve Yoma et Baba

*Mon époux **REFES Chakib** pour son soutien, sa compréhension, ses encouragements continus tout au long la préparation de la thèse, je n'oublierai jamais son aide qu'il m'a apporté dans les périodes d'échantillonnage
Ce n'était pas facile mon chéri, merci encore*

*Mes enfants **Semsouma** et **Kika** que j'aime plus que tout*

Vous êtes ma raison de vivre

*Un grand merci à ma deuxième maman **Nafissa**, pour l'oreille attentive, les conseils et le soutien inestimable ; Très fière d'avoir une belle-mère comme toi*

A mes sœurs et frères : Sana, Lynda, Noucha, Ilyes, Adel et Saïfou

Je vous aime beaucoup

*Je tiens à exprimer ma deuxième reconnaissance à ma directrice de thèse Madame **BOUDIAF Imène**. Docteur à l'Université Badji Mokhtar-Annaba, d'avoir accepté de diriger ce travail. Je serai toujours reconnaissante envers elle. Elle m'a donné l'occasion d'effectuer*

cette recherche avec toute la confiance qu'elle m'a prodiguée. Et grâce à elle, j'ai découvert le monde merveilleux des forêts.

IT IS A WENDERFULL WORLD!

Je la remercie pour son encadrement, sa patience, son immense générosité qu'elle m'a apportée tout au long de ce parcours et surtout son écoute et son soutien ou grâce à dieu puis à elle, les moments de découragement connus furent éphémères, qu'elle soit vivement remerciée. Ces cinq dernières années représentent énormément pour moi, j'ai muri, appris à devenir responsable et je vous en remercie. Merci aussi de m'avoir supporté, épaulé, conseillé, fait rire et pleurer aussi...

MADAM YOU ARE THE BEST!!

*Madame, **BEDDIAR Arifa**, Professeure à l'Université Badji Mokhtar, d'avoir accepté de me superviser, je lui exprime ma parfaite gratitude pour son aide, ses propositions et ses conseils avisés. J'estime également sa confiance*

Mes sincères remerciements s'adressent aux membres de jury qui ont bien voulu accepter de lire et juger ce travail :

Leurs remarques, suggestions et conseils sont les biens venus et qu'ils soient vivement remerciés

*Mes remerciements vont également à notre chère directrice du LBVE Madame **SERIDI Ratiba**, Professeure à l'Université Badji Mokhtar d'Annaba, en qualité de présidente du jury je la remercie aussi pour ses encouragements.*

*Je tiens aussi à remercier Madame **LAZZI Amel**, Professeure à l'Université d'EL Taraf de m'avoir fait l'honneur d'examiner ce travail.*

*Que Madame **NOURI Nada**, Maitre de Conférence A à l'Université d'EL Taraf en qualité d'examinatrice trouve ici ma grande gratitude.*

*Je tiens à remercier Madame **TLILI Nadia**, Maitre de conférences A à l'Université Badji Mokhtar d'Annaba, de m'avoir fait l'honneur d'examiner ce travail*

*Mes sincères remerciements vont également à l'adorable Mademoiselle, **Hana KSENTINI** maitre de conférences B à l'Université Badji Mokhtar, grâce à votre aide précieuse en statistique, ce travail a pu être effectué.*

Hana, tu as toujours été là quand il le fallait et tu n'as jamais manqué de me rendre service à chaque fois que je te le demandais. Je te dis plus que "merci". Tu pourras aussi compter sur moi...

Tu es un ange

*Sans oublier aussi la gentillesse, la générosité de monsieur **HAMEL Tarek** professeur à l'université Badji Mokhtar d'Annaba et son aide précieuse qu'il m'a apporté en analyses statistique*

Je vous remercie infiniment Monsieur

*Je tiens à remercier chaleureusement monsieur **HADAF**, Professeur et Directeur du laboratoire de chimie analytique de la faculté de médecine d'Annaba qui a mis à ma disposition tous les moyens, matériels scientifiques pour la bonne exécution de la*

Deuxième partie de ma thèse.

*Je tiens à remercier Madame **GUOUASSMI Zohour**, Docteur à l'université Badji Mokhtar de la faculté de médecine d'Annaba, pour son aide, sa gentillesse et ses conseils tout au long la durée de mon stage*

Vous connaître a été fort plaisant !

Un grand remerciement à ma petite belle-sœur, la femme à mon petit frère pour son aide précieuse dans la reformulation du manuscrit

*Merci beaucoup **Malouka***

Je te souhaite tout le bonheur et la joie du monde

*Je remercie ma collègue de travail **GHRIB Ismehen** ingénieur du laboratoire de LBVE à l'université Badji Mokhtar d'Annaba et ma sœur **KOUT***

***Samia, AMIRAT Sabrina, et BELHADI Foued** doctorants en BVE pour leurs aides et soutien moral*

Je vous adore mes amies

Mes vifs remerciements vont à tous ceux qui ont collaboré à l'achèvement de ce travail , particulièrement Maha, Lylia, Maroua, des résidentes à la faculté de médecine d'Annaba Pour leurs aides

Merci également à tous ceux qui, un jour ou l'autre, nous ont offert leur amitié et des moments inoubliables tout au long de notre cursus universitaire

« Ne craignez pas d'être lent craignez seulement d'être à l'arrêt »

DEDICACE

Je dédie ce travail :

A la mémoire de mon oncle Mohamed El Nacer, parti à la fleur de l'âge.

A mes très chers parents

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagnera toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accordez santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

*A mon époux et mes enfants
Que dieu vous protège*

*A mes très chers beaux parents
Je vous aime*

A mes chers et adorables sœurs et frères
Je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, nous garde ensemble et que rien ne nous sépare.

A mes neveux Abdou, Arselene, Ouadoud, Yacine, Rostom, Alim et Nail

A mes nièces Chamousa, Maram, Alya et Jourii notre petite princesse

*A toute ma grande famille et belle famille
A tous mes amis*

▪ Publications

SAHRI Fatima Zohra, BOUDIAF Imene, ALLIOUT Amina, BEDDIAR Arifa. 2020. Estimation du potentiel mycorhizogène du sol d'une subéraie envahie par *Acacia mearnsii* au Nord-Est algérien. Bulletin Vol. 152, 2020 pp. 176-182 Integrated Protection in Oak Forests. IOBC/WPRS.

SAHRI Fatima Zohra, BOUDIAF Imene, ALLIOUT Amina, BEDDIAR Arifa. 2020. Diversité morphologique des champignons mycorhiziens arbusculaires de deux subéraies du Parc National d'El Kala (Nord-Est algérien). Bulletin Vol. 152, 2020 pp. 196-201, Integrated Protection in Oak Forests. IOBC/WPRS.

▪ Communications Internationals

SAHRI Fatima Zohra, BOUDIAF Imene, BEDDIAR Arifa. 2019. *L'acacia mearnsii* (DE WILD.) menace pour l'écosystème forestier des subéraies du Parc National d'El Kala au nord-est algérien. The 30 th international congress of the Tunisian Society of Biological Sciences (ATSB) held in Sousse, Tunisia on 25-28 march 2019.

FETNACI Imene, **SAHRI Fatima Zohra**, KOUT Samia, BEDDIAR Arifa. 2019. Potentiel symbiotique d'une fabacée fourragère : *Medicago littoralis* L. dans quelques sols environnants le lac Fetzara (Nord-est algérien). Le 8ème congrès international de Biotechnologie et Valorisation des Bioressources (AT-BVBR) du 20 au 23 mars 2019 à Tabarka-Tunisie.

SAHRI Fatima Zohra, BOUDIAF Imene, ALLIOUT Amina, BEDDIAR Arifa. 2019. Diversité morphologique des champignons mycorhiziens arbusculaires de deux subéraies du Parc National d'El Kala (Nord-Est algérien). 9th meeting of the IOBC- WPRS working group integrated protection in oak foress in Portugal du 07 au 11 Octobre 2019 (affiche)

SAHRI Fatima Zohra, BOUDIAF Imene, ALLIOUT Amina, BEDDIAR Arifa. 2019. Estimation du potentiel mycorhizogène du sol d'une subéraie envahie par *Acacia mearnsii* au Nord-Est algérien. 9th meeting of the IOBC-WPRS working group integrated protection in oak foress in Portugal du 07 au 11 Octobre 2019 (orale).

▪ Communications Nationals

SAHRI Fatima Zohra, BOUDIAF Imene, BEDDIAR Arifa. 2019. Influence de *L'Acacia mearnsii* (De Wild.) sur l'écosystème forestier des subéraies du Parc National d'El Kala au Nord-Est algérien. 2 Congrès national de La Protection des végétaux en zones arides et semi-arides Biskra - Algérie 12 novembre 2019.

RESUME

Les écosystèmes des pays du Maghreb arabe abritent une faune et une flore exotique envahissante dont les menaces s'amplifieraient graduellement avec le changement climatique. Les stratégies et les plans d'actions nationaux dédiés à la lutte contre ces espèces sont encore peu mis en œuvre et rencontrent des contraintes diverses. Afin d'établir ces plans d'une manière adéquate, il est nécessaire de porter un regard analytique sur les causes d'invasion pour une meilleure orientation du choix des moyens de lutte. Notre étude vise à approfondir nos connaissances sur l'envahissement des subéraies du Parc National d'El Kala (PNEK) par *Acacia mearnsii*. Pour ce faire, une partie du travail a été consacrée à une analyse saisonnière des propriétés physicochimiques et de la diversité des champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) des sols provenant de deux subéraies (envahie et non envahie par *A. mearnsii*) dans le PNEK. Une deuxième partie a été destinée à l'étude phytochimique de cinq parties de l'arbre d'*A. mearnsii* (racines, gousses, feuilles, fleurs et écorce) ainsi que la recherche de l'effet allélopathique des extraits aqueux des mêmes parties sur la germination des glands de chêne liège.

Les résultats d'analyse des paramètres physicochimiques et la diversité des CMA des deux sols ont montré la présence d'une variation liée à la présence d'*A. mearnsii*. L'évaluation du potentiel allélopathique des extraits aqueux des différentes parties d'*A. mearnsii* a montré des effets inhibiteurs variables sur la germination et la longueur de radicule des glands de chêne liège. Le screening chimique, l'analyse infrarouge transformé à fourrier (IRTF) et le dosage spectrophotométrique des différentes parties de la plante a révélé sa richesse en métabolites secondaires notamment l'extrait d'écorce qui présente un contenu relativement plus important en flavonoïdes (3541mg EAG/g MS), en phénols totaux (1056,9 mg EQ/g MS) et en tanins (521 mg EAT/g MS). L'analyse des extraits aqueux et méthanoliques des racines, des gousses, des feuilles, des fleurs et d'écorce par chromatographique en phase liquide à haute performance (HPLC) a permis d'identifier plusieurs composés tels que l'acide chlorogénique, acide caféique, rutine, hespéridine, Flavanone (2,3-Dihydroflavone), 5,7-dihydroxy-1-méthoxyflavone, quercétine, catéchine, acide férulique et iso-quercétine. Trois molécules ont été détecté par IR : l'acide gallique, l'acide ellagique et le résorcinol.

Mots clés : *Quercus suber*, *Acacia mearnsii*, allélopathie, métabolites secondaires, mycorhizes, invasion biologique.

ABSTRACT

The ecosystems of the Arab Maghreb countries are home to invasive exotic fauna and flora whose threats would gradually increase with climate change. National strategies and action plans dedicated to the fight against these species are still poorly implemented and face various constraints. In order to establish these plans in an adequate way, it is necessary to take an analytical look at the causes of invasion for a better orientation of the choice of means of control. Our study aims to deepen our knowledge on the invasion of the cork oak forests of El Kala National Park (PNEK) by *Acacia mearnsii*.

To do this, part of the work was devoted to a seasonal analysis of the physicochemical properties and the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) of soils from two cork forests (invaded and not invaded by *A. mearnsii*) in the PNEK. A second part was intended for the phytochemical study of five parts of the tree of *A. mearnsii* (roots, pods, leaves, flowers, and bark) as well as research on the allelopathic effect of aqueous extracts of the same parts on the germination of cork oak acorns.

The evaluation of the allelopathic potential of the aqueous extracts of the different parts of *A. mearnsii* showed variable inhibitory effects on germination and rootlet length of cork oak acorns. The results of analysis of the physicochemical parameters and the diversity of the CMA of the two soils showed the presence of a variation linked to the presence of *A. mearnsii*. The chemical screening, fourier transform infrared (FTIR) analysis and spectrophotometric assay of the different parts of the plant revealed its richness in secondary metabolites, in particular the bark extract which has a relatively higher content of flavonoids (3541 mg EAG/g DM), total phenols (1056, 9 mg EQ/g DM) and in tannins (521 mg EAT/g DM).

The analysis of aqueous and methanolic extracts of the roots, pods, leaves, flowers, and bark by high performance liquid chromatography (HPLC) made it possible to identify several compounds such as chlorogenic acid, caffeic acid, rutin, hesperidin, Flavanone (2,3-Dihydroflavone), 5,7-dihydroxy-1-methoxyflavone, quercetin, catechin, ferulic acid and iso-quercetin. Three molecules were detected by IR: gallic acid, ellagic acid and resorcinol.

Keywords: *Quercus suber*, *Acacia mearnsii*, allelopathy, secondary metabolites, mycorrhizae, biological invasion.

الملخص

تعد النظم الإيكولوجية لبلدان المغرب العربي موطنًا للحيوانات والنباتات الدخيلة الغازية التي ستزداد تهديداتها تدريجياً مع تغير المناخ. ولا تزال الاستراتيجيات وخطط العمل الوطنية المكرسة لهذه الأنواع ضعيفة التنفيذ وتواجه قيوداً مختلفة. من أجل وضع خطط مناسبة للمكافحة، من الضروري إلقاء نظرة تحليلية على أسباب الغزو من أجل توجيه أفضل لاختيار وسائل المكافحة. في هذا السياق، تم إدراج دراستنا، والتي تهدف إلى تعميق معرفتنا حول غزو غابات البلوط للمنتزه الوطني في القالة من قبل *Acacia mearnsii* للقيام بذلك، تم تخصيص جزء من العمل لتحليل موسمي للخصائص الفيزيائية والكيميائية وتنوع الفطريات الجذرية للتربة من منطقتين للمنتزه الوطني في القالة: منطقة طبيعية ومنطقة مغزوة من طرف *Acacia mearnsii*.

أما الجزء الثاني فقد خصص للدراسة الكيميائية النباتية لخمسة أجزاء من شجرة أكاسيا مرنسي، (القرون، الأوراق، الجذور، الأزهار واللحاء) وكذلك البحث عن التأثير الأليلوباثي للمستخلصات المائية من نفس الأجزاء على إنبات البلوط الفلبيني.

أظهرت نتائج التحليل الفيزيائية والكيميائية وتنوع الفطريات الجذرية وجود اختلاف يتعلق بغزو أكاسيا مرسي. أما تقييم التأثيرات المثبطة للمستخلصات المائية للأجزاء المختلفة لهذه النبتة على إنبات وطول جذر البلوط الفلبيني أظهرت تاخر في نمو هذه الأخيرة.

بالنسبة لتحليل المركبات الفينولية الثانوية أظهر مستخلص اللحاء احتواءه على أعلى نسبة من مركبات الفلافونويد (521 mg EAT / g MS) والعفص. (1056.9 mg EQ / g MS)، والفينولات الكلية (3541 mg EAG / g MS) حدد تحليل المستخلصات المائية والميثانولية للجذور، القرون، الأوراق، الأزهار واللحاء بواسطة كروماتوغرافيا سائلة عالية الأداء (HPLC) العديد من المركبات مثل حمض الكلوروجينيك، حمض الكافيين، الروتين، الهيسبيريدين، الفلافانون acide férulique، catéchine، quercetine، 5,7-dihydroxy-1-methoxyflavone، (2,3-Dihydroflavone iso-quercetin. و

الكلمات المفتاحية: الفلين، الأكاسيا السوداء، المكونات الثانوية، الميكوريزا، الغزو البيولوجي

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	2
DEDICACE	5
PRODUCTION SCIENTIFIQUE.....	6
RESUME	7
ABSTRACT	8
المخلص.....	9
ACRONYMES D'ABREVIATION	15
LISTE DES FIGURES	16
LISTE DES TABLEAUX	18
INTRODUCTION GENERALE.....	1
PARTIE 1 : EVALUATION DES FACTEURS EDAPHIQUES ET DU POUVOIR MYCORHIZOGENE DU SOL ENVAHI.....	5
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	6
ETAT DE CONNAISSANCE SUR LES SYMBIOSES VEGETALES.....	7
1.1 UN COMPLEXE TRIPARTITE : SOL – PLANTES – MICROORGANISMES.....	7
1.2 LA SYMBIOSE MYCORHIZIENNE.....	8
1.2.1 <i>La symbiose ectomycorhizienne</i>	9
1.2.2 <i>La symbiose endomycorhizienne</i>	10
1.2.3 <i>La symbiose ectendomycorhizienne</i>	11
1.3 LES CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS A ARBUSCULES.....	12
1.4 TAXONOMIE DES ESPECES DE CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS A ARBUSCULES.....	12
1.5 STRUCTURE DES CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS A ARBUSCULE.....	15
1.6 CYCLE DE DEVELOPPEMENT DES CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS A ARBUSCULES	16
1.6.1 <i>Les signaux émis par la plante</i>	17
1.6.2 <i>Les signaux émis par le champignon</i>	17
1.6.3 <i>Stade symbiotique</i>	17
1.7 BENEFICES DE LA SYMBIOSE MYCORHIZIENNE.....	19
1.7.1 <i>Bénéfices pour le champignon mycorhiziens à arbuscules</i>	19
1.7.2 <i>Bénéfices pour la plante</i>	20
ETAT DE CONNAISSANCE SUR L'INVASION BIOLOGIQUE ET LES PLANTES EXOTIQUES.....	22
1.1 ECOSYSTEME FORESTIER	22
1.2 SYMBIOSE MYCORHIZIENNE ET ECOSYSTEME FORESTIER	23

1.3 ECOSYSTEME FORESTIER EN ALGERIE	25
1.4 ETAT DES FORETS ALGERIENNES.....	26
1.5 L'INVASION UN NOUVEL ENJEU POUR L'ECOSYSTEME FORESTIER	29
1.5.1 En Afrique.....	29
1.5.2 En Maghreb arabe.....	34
1.5.3 En Algérie.....	34
1.6 INVASION DES FORETS DU NORD-EST ALGERIENS	35
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES	38
DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE : LE PARC NATIONAL D'EL-KALA	39
1.1 CADRE DE L'ETUDE	39
1.2 CARACTERES CLIMATIQUES ET BIOCLIMATIQUES	40
1.2.1 Climat	40
1.2.2 Pluviosité	40
1.2.3 Température :	41
1.3 DESCRIPTION DES SITES D'ETUDE	42
METHODOLOGIE	45
1.1 ECHANTILLONNAGE	45
1.2 ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES	46
1.3 ESTIMATION DU POTENTIEL MYCORHIZOGENE DES SOLS	46
1.3.1 Potentiel infectieux mycorhizogène (PIM ₅₀).....	46
1.3.2 Matériel végétal.....	47
1.3.3 Récolte et traitement du système racinaire.....	48
1.3.4 Calculs	49
1.4 PROSPECTION DES SPORES.....	50
1.5 MESURES DE LA DIVERSITE ECOLOGIQUE	51
1.6 ANALYSES STATISTIQUES	52
CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSION	53
RESULTATS	54
1.1 ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES	54
1.2 ESTIMATION DU POTENTIEL MYCORHIZOGENE	57
1.2.1 Potentiel Infectieux mycorhizogène (PIM ₅₀).....	57
1.2.2 Prospection des spores.....	60
1.2.3 Mesure de la diversité sporale.....	61
1.2.4 Corrélation entre le nombre de spores total PIM ₅₀ et les paramètres physicochimiques étudiés .	64
DISCUSSION	67

1.1 ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DU SOL	67
1.2 PROSPECTION DES SPORES	71
1.3 CORRELATIONS ENTRE LES CARACTERISTIQUES PHYSICOCHIMIQUES DU SOL, LE PIM ₅₀ ET LE NOMBRE DE SPORES	72
PARTIE 2 : ETUDE PHYTOCHIMIQUE ET POUVOIR ALLELOPATHIQUE D'A. MEARNsii.....	74
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	75
ETAT DE CONNAISSANCE SUR LE PHENOMENE.....	76
1.1 DEFINITION	76
1.2 CARACTERISTIQUES DES SUBSTANCES ALLELOCHIMIQUES ET LEURS IMPACTS	76
1.3 LES EFFETS DES SUBSTANCES ALLELOPATHIQUES (MECANISMES D'ACTION)	77
1.4 PLANTES ENVAHISSANTES ET ALLELOPATHIE	78
COMPOSES PHENOLIQUES (METABOLITES SECONDAIRES).....	79
1.2 CLASSIFICATION ET STRUCTURE CHIMIQUE.....	79
1.2.1 Les Acides Phénoliques	79
1.2.2 Les Flavonoïdes	80
1.2.3 Les tanins.....	80
1.3 ROLE DES COMPOSES PHENOLIQUES DANS LA PHYSIOLOGIE DE LA PLANTE.....	81
1.4 EXTRACTION ET CARACTERISATION DES COMPOSES PHENOLIQUES.....	81
1.4.1 Extraction liquide-liquide.....	81
1.4.2 Extraction solide-liquide	84
1.5 METHODES DE QUANTIFICATION ET D'IDENTIFICATION	84
1.5.1 Méthodes spectrophotométriques.....	84
1.5.2 Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR ou IRTF).....	84
1.5.3 Chromatographie liquide à haute performance (HPLC).....	85
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	86
DEMARCHES EXPERIMENTALES.....	87
1.1 ECHANTILLONNAGE	87
1.2 SECHAGE	87
EFFETS DES EXTRAITS AQUEUX D'A. MEARNsii (DE WILD.) SUR LA GERMINATION DES GLANDS DE CHENE LIEGE (QUERCUS SUBER L.).....	88
1.1 PREPARATION DES EXTRAITS	88
1.2 STERILISATION DES GLANDS	89
1.3 TEST DE GERMINATION	89
1.4 CALCULS	90
1.3 ETUDE STATISTIQUE.....	90

ETUDE PHYTOCHIMIQUE D'A. MEARNSII.....	91
1.1 EXTRACTION	91
1.2 RENDEMENT DES EXTRAITS D'A. MEARNSII	91
1.2.1 Préparation de l'infusé	91
1.3 ANALYSE QUALITATIVE DES EXTRAITS D'A. MEARNSII	92
1.3.1 Screening phytochimique	92
1.3.2 Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR ou IRTF).....	94
1.4 ANALYSE QUANTITATIVE : DOSAGE DES COMPOSES PHENOLIQUE TOTAUX.....	95
1.4.1 Préparation de l'extrait méthanolique (EM).....	95
1.4.2 Calculs de rendement.....	95
1.4.3 Dosage des polyphénols totaux	95
1.4.4 Dosage des tanins	98
1.4.5 Dosage des flavonoïdes.....	100
1.5 QUANTIFICATION DES COMPOSES PHENOLIQUES PAR CHROMATOGRAPHIE EN PHASE LIQUIDE A HAUTE PERFORMANCE (HPLC).....	101
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	103
EFFET DES EXTRAITS SUR LE DEVELOPPEMENT DES GLANDS DE Q. SUBER	104
1.1 RESULTATS.....	104
1.2 DISCUSSION.....	109
ETUDE PHYTOCHIMIQUE D'A. MEARNSII.....	112
1.1 RENDEMENT DES EXTRAITS D'A. MEARNSII	112
1.2 ANALYSES QUALITATIVE DES EXTRAITS D'A. MEARNSII.....	113
1.2.1 Screening phytochimique	113
1.2.2 Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF).....	115
1.3 DISCUSSION.....	122
1.4 ANALYSE QUANTITATIVE	124
1.4.1 Dosage des polyphénols totaux (PPT)	124
1.4.2 Dosage des tanins.....	126
1.4.3 Dosage des flavonoïdes.....	127
1.5 Discussion	129
1.6 QUANTIFICATION PAR HPLC DES COMPOSES PHENOLIQUES.....	133
1.6.1 Analyses des extraits de feuille	133
1.6.2 Analyse des extraits de fleurs.....	135
1.6.3 Analyse des extraits de racine.....	136
1.6.4 Analyse de l'extrait des gousses.....	137
1.6.5 Analyse de l'extrait d'écorce	138

1.7 Discussion	142
1.8 SYNTHÈSE DE LA PARTIE	145
CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES.....	148
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE	151
ANNEXES.....	195

ACRONYMES D'ABREVIATION

PNEK	Parc National D'El Kala
CMA	Champignon Mycorhizien Arbusculaire
PIM₅₀	Potentiel Infectieux Mycorhizogène
CPHL	Chromatographie en Phase Liquide à haute Performance
EAG/gr MS	Milligramme équivalent d'acide gallique par 100 gr de matière végétale sèche
EQ/gr MS	Milligramme équivalent de quercétine par 100 gr de matière végétale sèche
EAT/gr MS	Milligramme équivalent d'acide tannique par 100 gr de matière végétale sèche
NI	Non identifié
IG	Inhibition de de la germination
ILR	Inhibition de la longueur de la racicule
LR	Longueur de la racicule
% I	Pourcentage d'inhibition
G	Germination
UV	Ultrat violet
GEE	Glycérol, Ethanol, Eau
RFD	Réactif de Folin-Dennis
V/V/V	Volume par volume par volume
R₂	Coefficient de corrélation
N	Azote
P	Phosphore
K	Potassium
MO	Matière Organique
Cond	Conductivité
H₂O₂	Eau oxygéné
UPIM	Nombre des unités du PIM ₅₀
KOH	Hydroxyde de potassium
IRTF	Infrarouge transformé en fourrier
PPT	Polyphénols totaux

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Mycorhizes associées aux racines des plantes supérieures (Leroux, 2013)	8
Figure 2: Shéma représentatif de la symbiose mycorhizienne (lien 01).....	9
Figure 3: Schéma de la structure d'une ectomycorhize dans une coupe racinaire (lien 02)	9
Figure 4: Principales formes d'endomycorhizes arbusculaire associés aux racine des plantes supérieures (Hallé, 2008).....	10
Figure 5: Différence entre un ectoendomycorhise et un endomycorhize (lien 03).....	11
Figure 6: Structure d'une ectoendomycorhize dans une coupe racinaire (lien 04).....	11
Figure 7: Schéma de structure mycorhizienne à arbuscule (lien 05).....	15
Figure 8: Cycle de développement des CMA (Bouabdeli, 2019)	16
Figure 9: Shéma des différentes étapes de colonisation des champignons MA (adapté d'après Bonfante et Genre ,2010).....	19
Figure 10: Schéma récapitulant les principaux processus d'échanges de nutriments dans l'ensemble des symbioses mycorhiziennes (Florent ,2010).....	20
Figure 11: Fonctionnement d'un ecosystème forestier (lien 06)	23
Figure 12 : Etablissement d'une symbiose mycorhizienne dans un écosystème forestier (Lien 07).....	24
Figure 13 : Carte représentative des principaux écosystèmes forestier de l'est-Algérien (Lalla Ahmed et al,2016)	26
Figure 14 : Forêt algérienne de chêne liège (DGF, 2012).....	28
Figure 15: Représentation schématique des principales barrières limitant la propagation des espèces exotiques introduites.	31
Figure 16: Carte d'invasion du PNEK par <i>Acacia mearnsii</i> (Chekcheki, 2020)	37
Figure 17: Carte géographique de la zone et sites d'étude	39
Figure 18: Diagramme pluviométrique enregistré pendant l'année 2000 jusqu'au 2023 dans la région dd'EL KAla (EWX Lite Next Generation Viewer)	41
Figure 19: Diagramme thermique moyen enregistrée pendant l'année 2000 jusqu'au 2022 dans la région d'EL kala (EWX Lite Next Generation Viewer)	42
Figure 20 : Photographie des sites d'étude A : S1 (Brabtia) et B : S2 (Boumalak).....	43
Figure 21: Echantillonnage effectué dans les deux sites d'étude S ₁ et S ₂	45
Figure 22: Germination des graines.....	48

Figure 23: Coloration des racines selon la méthode de Philips et Hayman ,1976	49
Figure 24: Racines récupérées du PIM ₅₀	49
Figure 25: Etape de tamisage humide (Sahri,2019)	51
Figure 26: Racines mycorhizées observées au microscope optique (400x)	58
Figure 27: Régressions linéaires des deux sites d'étude réalisé durant les quatre saisons	59
Figure 28: Diversité des spores des deux sites d'étude S ₁ et S ₂ durant les quatre saisons	61
Figure 29: Spores des CMA issus des deux sites S ₁ et S ₂	63
Figure 30: Corrélation de Pearson entre le nombre total de spores, le PIM ₅₀ et les paramètres physicochimiques	64
Figure 31: Carte de l'Analyse Canonique des Correspondances (ACC) des 2 sites x 4 stations x 20 variables environnementales	65
Figure 32: Voies possibles pour la liberation des allélochimiques dans l'environnement par une plante donneuse selon (Kobayachi, 2004).....	78
Figure 33: Classification simplifiées des composés phénoliques (Laguna Osca, 2019)	80
Figure 34: Echantillonnage de matériel végétal.....	87
Figure 35: Différents extraits aqueux d' <i>A. mearnsii</i>	88
Figure 36: Dispositif expérimental du test de germination	89
Figure 37 : Etapes de préparation des extraits méthanoliques	97
Figure 38: Dispositif expérimental du dosage des polyphénols totaux	98
Figure 39: Dispositif expérimental du dosage des tanins	99
Figure 40: Dispositif expérimental du dosage des flavonoïdes	100
Figure 41: Mesure de la radicule sur un papier millimétrique	104
Figure 42: Effet des extraits d' <i>A. mearnsii</i> sur la germination des glands de <i>Q. suber</i> durant trois semaines	105
Figure 43: Effet des extraits d' <i>A. mearnsii</i> sur la longueur de radicule de <i>Q. suber</i> durant trois semaines	106
Figure 44: Effet inhibiteur des extraits d' <i>A. mearnsii</i> sur la germination des glands de <i>Q. suber</i>	107
Figure 45: Effet inhibiteur des extraits d' <i>A. mearnsii</i> sur la longueur de la radicule de <i>Q. suber</i>	107

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Classification des Gloméromycota (Redecker et SchuBler, 2014).....	13
Tableau 2: Caractéristiques de taxonomie des principaux types de symbioses mycorhizienne (Fortin et al, 2008).....	14
Tableau 3 : Liste des espèces envahissantes classées parmi les plus nuisibles dans le monde (Invasive Species Specialist Group – ISSG,2007).....	32
Tableau 4: Nombre d'especes végétales invasives dans les cinq pays de l'Union Maghrébin Arabes (UMA) (Pysek et al, 2017).....	34
Tableau 5: Pluviométrie enregistrée pendant l'année 2000 jusqu'au 2023 dans la region d'EL Kala (EWX Next Generation Viewer).....	40
Tableau 6: Température moyenne enregistrée pendant l'année 2000 jusqu'au 2022 dans la région d'EL Kala (EWX Lite Next Generation Viewer)	42
Tableau 7: Résumé du plan expérimental de la méthode PIM ₅₀	47
Tableau 8: Mesure de la diversité écologique d'après Dandan, 2019	51
Tableau 9: Relation entre les paramètres physicochimiques saisonnières, la saison de prélèvement et les sites d'étude S ₁ et S ₂	56
Tableau 10: Potentiel infectieux mycorhizogène (PIM ₅₀) de S ₁ et S ₂	57
Tableau 11: Dénombrement des spores en fonction de la couleur et la taille (50 à 250 µm) dans les sites d'études S ₁ et S ₂	60
Tableau 12: Abondance relative (%) des deux sites d'étude S ₁ et S ₂	61
Tableau 13: Mesure des indices de la diversité écologique par saison	62
Tableau 14: Mesure des indices de la diversité écologique globale par site	62
Tableau 15: Rôle de quelques composés phénoliques dans la physiologie de la plante	83
Tableau 16 : Dilutions des extraits préparées pour le dosage des polyphénols totaux	98
Tableau 17 : Dilutions des extraits préparés pour le dosage des tanins	99
Tableau 18 : Dilutions des extraits préparés pour le dosage des flavonoides.....	101
Tableau 19 : Caractéristiques organoleptiques des extraits d' <i>A. mearnsii</i> obtenus	112
Tableau 20 : Résultats du screening phytochimique des feuilles, des fleurs, des racines, des gousses et de l'écorce d' <i>A. mearnsii</i> . (+) : Présence (-) : Absence	114
Tableau 21 : Bandes d'absorption caractéristiques des composés phénoliques identifiées dans les cinq parties d' <i>A.mearnsii</i> (Tondi et Petutschnigg, 2015).	118
Tableau 22 : Récapitulatif de dosage de polyphénols des cinq parties	128

Tableau 23 : Récapitulatif des composés phénoliques présents dans les cinq parties d'*A.mearnsii* dans les extraits méthanoliques.139

Tableau 24 : Récapitulatif des composés phénoliques identifiés dans les cinq extraits aqueux d'*A.mearnsii* par HPLC. Tr : temps de rétention. NI : non identifié.....140

Tableau 25 : Récapitulatif des composés phénoliques présents dans les cinq parties d'*A.mearnsii* dans les extraits méthanoliques et aqueux141

INTRODUCTION GENERALE

La diversité biologique reste au centre de l'intérêt des scientifiques depuis une vingtaine d'année (Wilson 1988 ; Lubchenco et al. 1991), ainsi que celui de la communauté politique internationale (CNUED, Rio de Janeiro (Brésil) en 1992). Selon le paradigme scientifique, la Biodiversité contribuerait de manière majoritairement positive au fonctionnement des écosystèmes (Di Castri et Younès 1990). Cette biodiversité est devenue une « préoccupation commune à l'humanité », et sa conservation un enjeu planétaire. La compréhension des mécanismes influençant la biodiversité est une base nécessaire pour mettre en place des stratégies et des programmes efficaces de sa gestion. Comprendre dans quelle mesure et par quels mécanismes l'évolution de la diversité biologique peut affecter les équilibres biogéochimiques et la stabilité des écosystèmes est indispensable. En effet, la disparition d'une espèce d'un cortège floristique constitue sans doute une perte du patrimoine phylogénétique (Ockinger et Smith 2007).

Les ligneux exotiques ont été pour longtemps recommandée pour réhabiliter et restaurer des milieux dégradés pour donner suite à des événements naturels ou à des activités anthropiques. Ces espèces végétales à croissance rapide, à cause de leur adaptation aux conditions peu favorables du milieu (faible pluviométrie, sols pauvres en nutriments, ...) ont été utilisées pour fournir du bois ou du fourrage, pour lutter contre l'érosion hydrique et éolienne et la désertification (Parrotta, 1993). En effet, cette introduction et dispersion des organismes exotiques d'origine anthropique attire de plus en plus l'attention de la communauté scientifique du fait ses impacts écologiques négatifs sur les organismes indigènes (Callaway et Ridenour, 2004 ; Remigi et al., 2008). Les plantes exotiques peuvent menacer les écosystèmes, et plus particulièrement les habitats ou les autres espèces végétales à cause de : *i*) leur forte croissance et leur grande capacité d'installation dans les sites d'introduction, *ii*) des interférences chimiques directes ou indirectes (allélopathie) avec les organismes indigènes influençant ainsi la structure, la composition et la dynamique de ces communautés (Del Moral et Muller, 1970), et *iii*) des perturbations dans la capacité de résistance aux invasions et dans la résilience des écosystèmes hôtes (Levine et D'Antonio, 1999). Il a été suggéré que ces plantes pouvaient modifier la composition, la structure et le fonctionnement des communautés microbiennes telluriques affectant ainsi les associations de type symbiotique (Richardson et al., 2011 ; Callaway et Ridenour, 2004).

Les avantages de l'utilisation de ces espèces ne doivent pas occulter les dangers qu'elles peuvent présenter pour la flore native, la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes locaux. En effet, les espèces introduites qui présentent des avantages adaptatifs, comme c'est le cas pour les acacias australiens, peuvent se révéler catastrophiques pour le milieu en raison de leur propension à être invasives lorsqu'elles arrivent à se reproduire naturellement dans les zones d'introduction (Van der Waal, 2009). C'est le cas des mimosacées figurent parmi les familles regroupant le plus de plantes ligneuses envahissantes dans le monde (Binggeli, 1996), dont *Acacia mearnsii* classé parmi les espèces invasives les plus dangereuses dans le monde (Richardson et al., 2011).

Au Nord-Est de l'Algérie, les subéraies constituent par excellence un écosystème où se concrétise un remarquable équilibre entre ses différentes composantes naturelles (climat, végétation, sol...). Ils agissent également comme un tampon écologique en raison de la variété des espèces présentes dans la forêt et fournit une quantité importante de sous-bois avec un avantage économique précieux. Ce précieux cadeau de la flore méditerranéenne a une valeur intégrale dérivée du liège (Ouelmouhoub, 2005), qui est de loin, le plus favorisé des produits forestiers. Malheureusement, ce patrimoine ne cesse de se dégrader en raison de la conjonction de divers facteurs : incendies, surpâturages, défrichements, déséquilibres climatiques, la surexploitation, notamment l'écorçage mal entrepris et d'autres pratiques. En plus de ces éléments de dépérissement s'ajoute une menace de poids, à savoir l'introduction des essences non indigènes de type invasif.

Acacia mearnsii (De Wild) a été introduit dans le parc national d'El Kala lors du projet de reboisement industriel de 1970 à base d'*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Destiné à la production de pâte à papier. Il a été planté en mélange avec ce dernier afin de rendre le sol plus fertile en raison de sa qualité d'arbre fixateur d'azote moléculaire (Searle, 1997) et permettre ainsi un bon démarrage de l'eucalyptus. Depuis 1983, *A. mearnsii* a manifesté un comportement invasif. En effet, ces dernières décennies, cet arbre s'est développé d'une manière spectaculaire et menace l'avenir du parc (Boudiaf, 2012 ; Boudiaf et al. 2013). Il s'agit d'une espèce d'origine australienne de la famille des Mimosaceae, à croissance initiale très rapide (Tassin, 2002). C'est une espèce dont la durée de vie est relativement courte (Searle, 2000), qui se reproduit par rejets de souche et / ou par des graines (Wagner et al., 1999 ; Midgley et Turnbull, 2003). Le succès d'invasion d'*A. mearnsii* -tel il est le cas de la majorité des espèces d'acacia invasives- est due à son adaptation aux conditions climatiques difficiles (la longue saison sèche dans la région), sa croissance vigoureuse avec une phase

juvénile courte, sa forte production de semences dotées d'une grande longévité et l'efficacité de sa dispersion par allochorie et barochorie (Tassin, 2002). A cela, s'ajoute un phénomène peu étudié chez cette espèce à savoir l'effet « allélopathique ».

Le phénomène d'allélopathie peut être considéré comme une stratégie naturelle protégeant les plantes contre les concurrentes (Prince and Pohnert, 2010). La compréhension de l'allélopathie apparaît comme un facteur clé dans plusieurs domaines, tels que la physiologie des plantes, l'écologie et la biochimie, afin de mieux comprendre les processus physiologiques et métaboliques ainsi que la complexité de la structure de l'écosystème (Scognamiglio et al., 2013). C'est un mécanisme établi de longue date chez les plantes (Rice, 1979) qui, entre autres, inhibe la germination des graines et la croissance des espèces végétales adjacentes, modifiant ainsi profondément les propriétés fonctionnelles des communautés microbiennes telluriques, la composition des populations végétales et le fonctionnement global des écosystèmes hôtes (Callaway et al., 2003).

L'objectif principal de notre recherche est de comprendre le comportement et les stratégies adaptatives de l'espèce exotique *Acacia mearnsii* jugée envahissante dans la région d'El Kala depuis quelques années. L'incidence sur l'environnement de l'introduction des plantes envahissantes, est surtout évaluée pour leur impact sur la biodiversité végétale et les caractéristiques physico-chimiques des sols, mais rarement en ce qui concerne la composition de la microflore. Parmi les microorganismes du sol, constituant une composante clé du système sol – plante : « les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA)) (Johansson et al., 2004). Ils jouent un rôle clé vis-à-vis des mécanismes biologiques régissant la fertilité chimique des sols et leur productivité, facteurs de stabilité des écosystèmes terrestres (Duponnois et al., 2013) et pouvant jouer un rôle primordial dans l'invasion par d'autres espèces (Boudiaf, 2012). Pour cette raison nous avons fixé quelques objectifs spécifiques : *i*) Analyse des variations saisonnières des propriétés physicochimiques des sols provenant de deux subéraies une naturelle non envahie, et une totalement envahie par l'*A. mearnsii* dans la région d'EL-Kala (wilaya d'EL-Taref) ; *ii*) Exploration de l'état mycorhizogène des sols envahi et non envahi, *iii*) Evaluation de l'effet allelopathiques de différentes parties d'*A. mearnsii* sur la germination des glands de *Quercus suber* et enfin ; *iv*) Identification et caractérisation des composés phénoliques d'*A. mearnsii* pouvant intervenir dans son pouvoir envahissant. Cette thèse est organisée en deux grandes parties :

La première partie traite l'évaluation des facteurs édaphiques et du pouvoir mycorhizogène du sol envahi. Elle est structurée en trois chapitres : le premier représente une analyse

bibliographique sur la symbiose mycorhizienne et l'invasion biologique par des espèces végétales exotiques. Le second décrit les méthodes expérimentales employées pour répondre aux premiers objectifs et le troisième chapitre est consacré à la présentation des résultats obtenus et leurs analyses.

La seconde partie expose une étude phytochimique et une évaluation du potentiel allélopathique de différents organes d'*A. mearnsii*. Elle est composée d'une synthèse bibliographique sur le phénomène d'allélopathie et les substances allélochimiques. Suivi d'une étude expérimentale employée pour tester l'effet allélopathique d'*A. mearnsii* sur la germination des glands de chêne liège et une étude phytochimique de l'espèce envahissante, la partie se termine par une présentation et interprétation des résultats.

Enfin, l'ensemble des objectifs et des résultats obtenus sont regroupés dans une conclusion générale à la fin de ce manuscrit. Nous avons proposé également, des perspectives donnant quelques pistes sur la poursuite de ce travail.

Les différentes valorisations et communications auxquelles j'ai participé durant mes cinq années de thèse seront présentées en annexe.

**PARTIE 1 : EVALUATION DES FACTEURS EDAPHIQUES ET DU
POUVOIR MYCORHIZOGENE DU SOL ENVAHI**

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

ÉTAT DE CONNAISSANCE SUR LES SYMBIOSES VÉGÉTALES

1.1 Un complexe tripartite : sol – plantes – microorganismes

Le sol est l'une des propriétés les plus précieuses dans la nature. Il permet la vie des plantes, des animaux et des humains sur Terre (Osman, 2013). C'est un environnement complexe par sa structure physique, sa composition chimique et sa diversité en organismes vivants (notamment en microorganismes) (El Amine Cherif et al., 2009). Il provient de la décomposition et de l'altération des roches mères par l'action de l'eau, de l'air et des êtres vivants (Imtiaz et al., 2016). C'est un compartiment essentiel des écosystèmes en raison des multiples phénomènes dont il est le siège ; ces phénomènes sont à l'origine des fonctions environnementales et rhizosphérique des écosystèmes (Calvet, 2003).

Trop souvent considéré comme un environnement minéral, le sol est aussi un lieu de vie. Il héberge une très forte diversité d'organismes vivants, notamment les microorganismes (Imtiaz et al., 2016). Les microorganismes du sol sont représentés par les eucaryotes (champignons, algues et protozoaires) et les procaryotes (bactéries et cyanobactéries). Leur biodiversité est considérable ainsi que leur distribution qui est en fonction non seulement de la présence de substrats énergétiques (essentiellement des résidus végétaux) et d'éléments minéraux, mais aussi de nombreux facteurs physiques et chimiques caractérisant chaque sol, notamment la structure, l'aération, le pH, la température et la teneur en eau (Seyed Ali Ghoreishi et al., 2017). Les microorganismes du sol assurent des fonctions clés dans la circulation du flux d'énergie et de la matière dans l'environnement comme : la biodégradation de la matière organique, la production de nutriments pour les plantes, la fixation de l'azote, la biodégradation des polluants, etc. (Hien et al., 2010). En outre, il a été démontré que la structure du sol est non seulement influencée par les constituants minéraux du sol mais aussi par la présence de micro-organismes telluriques qui favorisent la formation d'agrégats et de pores (Chesnokova et al., 2016).

Certains des groupes fonctionnels qui composent le microbiote tellurique jouent un rôle important dans la promotion de la croissance et de la survie des plantes. En particulier, l'augmentation de la biodisponibilité des éléments minéraux est souvent la principale contrainte au bon développement des plantes. De ce point de vue, de nombreux microorganismes du tellure ont été considérés comme des biofertilisants potentiels dans le cadre d'une agriculture durable à faibles intrants (Rodriguez et al., 1999). Il s'agit notamment

des champignons mycorhiziens qui améliorent l'apport hydrique et minéral des plantes (Duponnois et al., 2005) et la protection des plantes (Leyval et al., 2001). Bactéries fixatrices d'azote qui captent l'azote atmosphérique et le rendent disponible pour les plantes (Samba et al., 2002). Des processus de mobilisation de nutriments à partir de formes complexes de phosphate organique et inorganique ont également été mis en évidence chez ces microorganismes (Chabot et al., 1996). (Fig.1)

1.2 La symbiose mycorhizienne

Le terme mycorhize (du grec myco, qui signifie champignon, et rhiza qui signifie racine) a été utilisé pour la première fois par le botaniste allemand Frank en 1885 pour décrire les organes mixtes racines-champignons cités par ses prédécesseurs depuis plusieurs décennies. Cependant, c'était les ectomycorhizes qui ont été d'abord reconnues comme une symbiose mutualiste entre les plantes et les champignons. En 1877, Frank a été le premier à attribuer à la mycorhize arbusculaire le statut de symbiose 'symbiotismus' (du grec sym qui signifie ensemble, et bio qui signifie vie) comme un terme neutre n'impliquant pas de parasitisme mais qui est basé sur la coexistence régulière d'organismes différents. La façon avec laquelle le champignon interagit avec les racines de la plante hôte, et en particulier la nature de l'interface qui se forme entre la plante hôte et le champignon confère à la mycorhize une organisation qui lui est propre. Les champignons utilisent les ressources carbonées que les plantes synthétisent grâce à la photosynthèse. Ceci est essentiel pour son métabolisme et sa fructification. Les hyphes fongiques, à leur tour, augmentent le volume du sol étudié et augmentent la teneur en eau et en minéraux de la plante hôte en produisant diverses enzymes extracellulaires (protéinases, phosphatases, etc.) qui peuvent mobiliser des nutriments à partir de composés complexes du sol (Manjunath et al., 1989). Ainsi, quatre grands types de

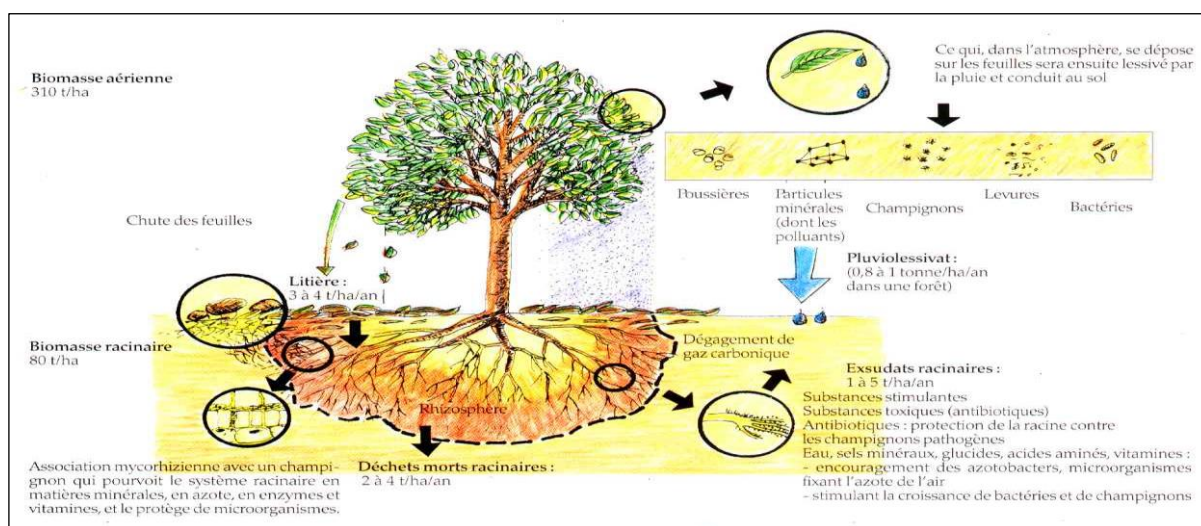


Figure 1: Mycorhizes associées aux racines des plantes supérieures (Leroux, 2013)

symbioses mycorhiziennes peuvent être distingués (Fig. 1 et 2).

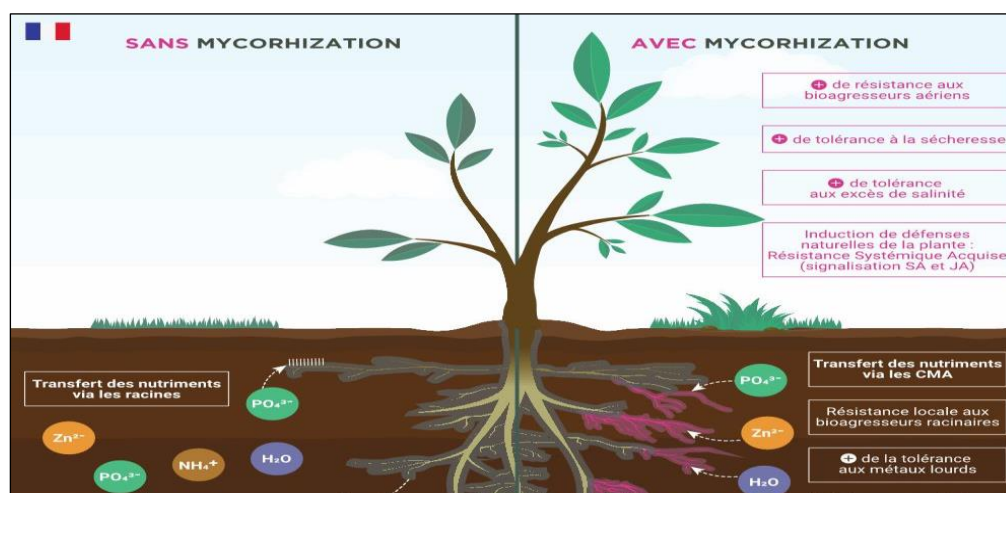


Figure 2: Schéma représentatif de la symbiose mycorhizienne (lien 01)

1.2.1 La symbiose ectomycorhizienne

La symbiose ectomycorhizienne Les hyphes fongiques ne pénètrent pas dans les cellules mais s'insinuent dans les espaces intercellulaires épidermiques corticaux pour former un système complexe appelé réseau de Hartig (Fig. 3). Ce réseau constitue le siège des échanges nutritifs bidirectionnels entre le champignon et la plante (Burgess et al., 1994 ; Dell et al., 1994 ; Smith et Read, 1997a). Les hyphes extra racinaires recouvrent complètement la radicelle pour former un manteau d'hyphes étroitement entrelacées, à partir duquel elles prolifèrent et s'étendent dans le sol à la recherche des éléments nutritifs. Plus de 5000 espèces de champignons appartenant principalement aux Basidiomycètes, mais aussi aux Ascomycètes et Zygomycètes forment des ectomycorhizes avec les plantes des familles Pinaceae, Fagaceae, Betulaceae, Salicaceae, et Tiliaceae ainsi que des espèces des Rosaceae, Leguminoseae, Ericaceae, Juglandaceae, et autres familles (Brundrett, 2009).

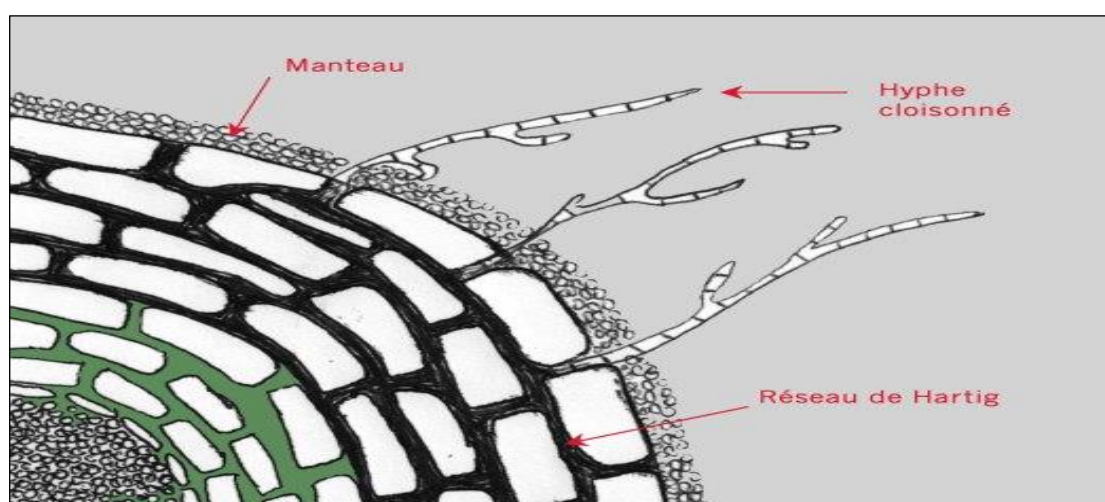


Figure 3: Schéma de la structure d'une ectomycorhize dans une coupe racinaire (lien 02)

1.2.2 La symbiose endomycorhizienne

La symbiose endomycorhizienne à l'inverse des ectomycorhizes, les hyphes des endomycorhizes pénètrent à l'intérieur des cellules où leur prolifération conduit à la formation d'arbuscules ou de pelotons. Le réseau de Hartig et le manteau fongique sont absents, seul un lâche réseau d'hyphes extra racinaire entoure les racines. Il existe plusieurs types d'endomycorhizes qui diffèrent en de nombreux points. Les plus connus sont, les endomycorhizes à arbuscules, les endomycorhizes éricoïdes et les endomycorhizes orchidoïdes ou mycorhizes vésiculaires-arbusculaires (Redecker et Schüßler, 2013). Le terme vésiculaire a finalement été abandonné car il est devenu clair que certains taxa ne forment pas de vésicules. Le terme arbusculaire, retenu pour désigner ce type de mycorhizes, réfère aux structures situées à l'intérieur des cellules corticales des racines appelées arbuscules (arbres nains). La grande majorité des plantes terrestres (environ 80 % des espèces végétales) sont capables de former des mycorhizes arbusculaires (Brundrett, 2009). Seules quelques plantes ne forment pas d'associations mycorhiziennes ; les plantes vasculaires aquatiques et les membres des familles Brassicaceae, Chenopodiaceae, Cyperaceae, Juncaceae, Caryophyllaceae, Cruciferaeae, Chenopodiaceae, Polygonaceae, Portulacaceae, Urticaceae. Ce type de mycorhizes est assuré par un petit nombre de CMA caractérisés par leur spécificité d'association relativement faible envers leurs hôtes (Smith et Read, 1997b). Cependant il y a des différences spécifiques dans la réponse des plantes aux CMA et vis-versa (Van der Heijden et al., 1998).

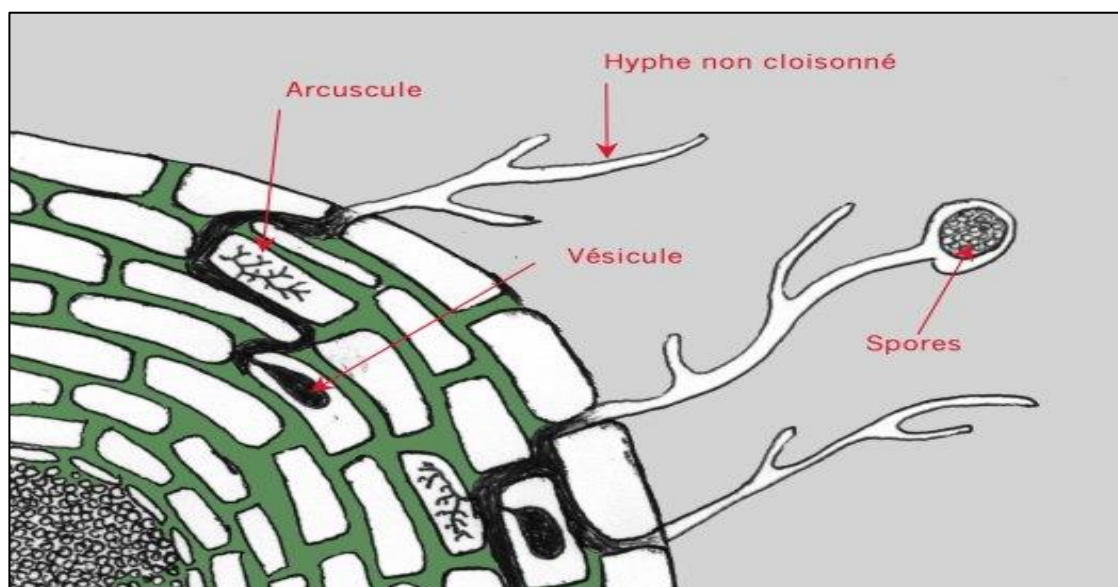


Figure 4: Principales formes d'endomycorhizes arbusculaire associés aux racine des plantes supérieures (Hallé, 2008)

1.2.3 La symbiose ectendomycorhizienne

Les ectendomycorhizes sont des formes intermédiaires qui possèdent à la fois les caractéristiques des ectomycorhizes, c'est-à-dire, un réseau de Hartig bien développé et un manteau fongique plus ou moins épais, ou absent dans quelques cas, et les caractéristiques des endomycorhizes soit, la pénétration à l'intérieur des cellules corticales par les hyphes (Laiho, 1965 ; Mikola, 1965 ; Yu et al., 2001). Ces derniers, présentent à l'intérieur des cellules différents degrés de prolifération. Ils sont soit très courts (mycorhizes monotropoïdes), ou sous forme de pelotons (mycorhizes arbutoïdes). Les champignons ectendomycorhiziens appartiennent aux deux ordres d'Ascomycètes, Pezizales et Leotiales (Yu et al., 2001). Quelques espèces de Basidiomycètes peuvent former ce type de mycorhize (**Fig.5 et 6**).

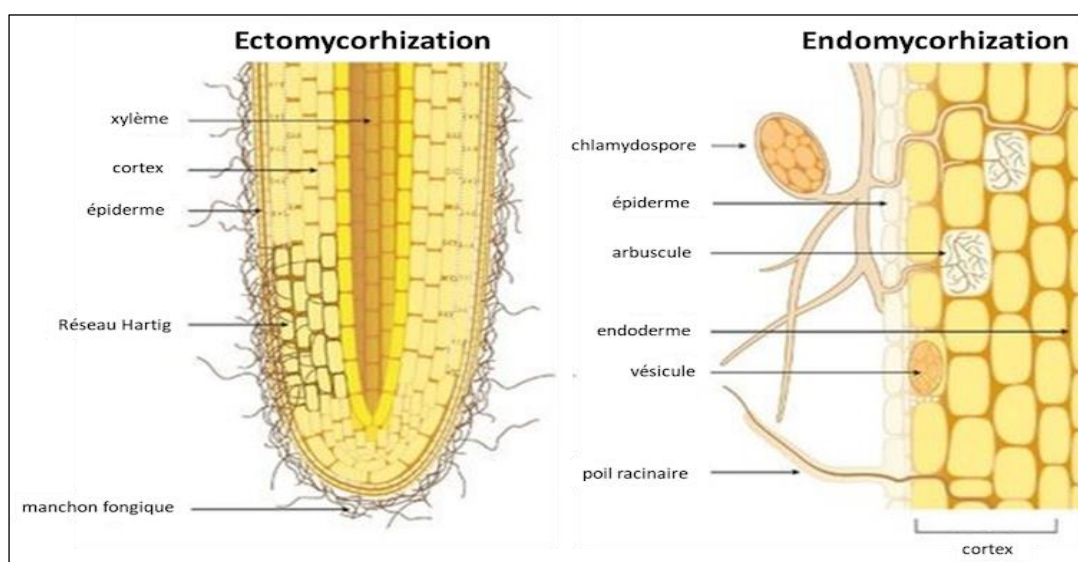


Figure 6: Différence entre un ectomycorhize et un endomycorhize (lien 03)

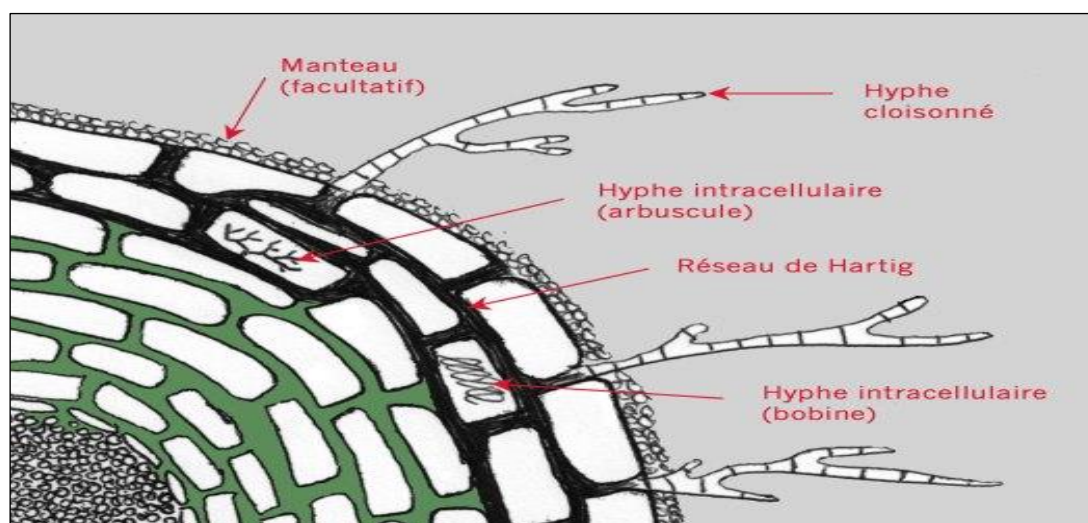


Figure 5: Structure d'une ectoendomycorhize dans une coupe racinaire (lien 04)

1.3 Les champignons mycorhiziens à arbuscules

Il semble que les champignons mycorhiziens à arbuscules datent de plus de 1000 millions d'années. Ils ont probablement joué un rôle important dans la colonisation des milieux terrestres par les plantes grâce à leur rôle dans l'absorption des éléments nutritifs (Smith et Read, 2008a). Leur croissance est essentiellement hypogée, mais certains CMA forment des sporocarpes, fructifient à la surface du sol (Redecker et Schüßler, 2014). La reproduction des CMA est asexuée et est assurée par les spores. Cependant, quelques groupes se reproduisent par les hyphes ou les fragments racinaires déjà colonisés. On utilise le terme propagule pour désigner ces structures puisqu'elles servent toutes à la propagation de l'espèce (Fortin et al., 2008). Leurs spores multinucléées et riches en globules lipidiques et protéiques sont relativement grandes. Elles se rencontrent séparées ou dans des sporocarpes (Redecker et Schüßler, 2014) avec un diamètre compris entre 22 et 1 050 µm (Souza, 2005).

1.4 Taxonomie des espèces de champignons mycorhiziens à arbuscules

En se basant sur des analyses moléculaires, les CMA qui faisaient partie du phylum des Basidiomycètes, ont été déplacés dans un nouvel embranchement créé spécialement pour eux, les Gloméromycètes (Schüßler et Walker, 2010).

Différentes clés d'identification basées sur les caractéristiques morphologiques des spores ont été proposées. Les plus importantes étaient les clés de Trappe (1984), Hall et Fish (1979), et Schenck et Perez (1989). Walker (1983) a proposé une nouvelle terminologie pour la description des espèces sur la base des types distincts de parois formés par les spores. Une classification basée sur les caractéristiques phénotypiques (morphologie des spores et caractéristiques de mycorhization) a été plus tard proposée par Morton et Benny (1990) qui ont été les premiers à introduire l'ordre des Glomales dans les zygomycètes. La taxonomie basée sur des analyses moléculaires, en particulier sur l'analyse de la sous-unité ribosomique de l'ARN 18S, a permis de constituer l'arbre phylogénétique des Gloméromycètes. Cet embranchement compte à ce jour plus de 250 espèces décrites regroupées en 4 ordres : les Glomerales, les diversisporales et deux lignées plus anciennes ; les Paraglomerales et les Archeosporales (**Tab. 1**). La famille Entrophosporaceae dont la position dans la taxonomie des CMA n'est pas encore totalement définie, est décrite comme étant une familia incertae sedis (famille de position incertaine) n'appartenant à aucun des 4 ordres précédemment cités (Redecker et Schüßler, 2014).

Tableau 1: Classification des Gloméromycota (Redecker et SchuBler, 2014)

<i>Ordre</i>	<i>Famille</i>	<i>Nombre approximatif d'espèces estimées</i>
Glomerales	Glomeraceae	108
	Claroideoglomeraceae	06
Diversisporales	Diversisporaceae	10
	Gigasporaceae	53
	Acaulosporaceae	38
	Pacisporaceae	07
Archaeosporales	Archaeosporaceae	02
	Ambisporaceae	09
	Geosiphonaceae	01
Paraglomerales	Paraglomeraceae	03
Familia incertae sedis	Entrophosporaceae	03

Tableau 2: Caractéristiques de taxonomie des principaux types de symbioses mycorhizienne (Fortin et al, 2008)

Types de mycorhizes	Champignons impliqués	Plantes hôtes	Structures fongiques	Structures de l'hôte
Ectomycorhizes	Champignons supérieurs Basidiomycètes Ascomycètes : milliers d'espèces	Arbres gymnospermes et Angiospermes :5%des espèces actuelles	Manchon, mycélium intracellulaire Rhizomorphe, sclérotés, Ascomycètes, Basidiomycètes	Hypertrophie corticale, ramifications dichotomiques ou racémeuse
Arbusculaires	Champignons microscopiques, Glomyromycètes200 espèces	Arbres Gymnospermes et Angiospermes :85% des espèces actuelles	Arbuscules et vésicules Intracellulaires, mycélium et spores ex racinaires	Peu de ramifications, coloration jaune
Ectendomycorhizes	Ascomycètes, quelques espèces	Pin Hélianthèmes	Manchon mince, mycélium intercellulaire, pénétration intracellulaire, Ascomycètes	Hypertrophie Corticale, Ramifications
Arbutoides	Basidiomycètes : quelques espèces	Ericacées	Manchon mince, pénétration intracellulaire	Hypertrophie corticale
Ericoïdes	Ascomycètes : quelques dizaines d'espèces	Ericacées :5% des espèces actuelles	Mycélium intracellulaire, Ascomycètes	Peu de modifications
Orchidoïdes	Basidiomycètes et Mycéliums stériles peu connus	Orchidées : 10% des espèces actuelles	Mycélium intracellulaire pelotonné	Peu de modifications

1.5 Structure des champignons mycorhiziens à arbuscule

La spore sert d'organe de stockage et de propagation des CMA. Elle germe et donne naissance à des filaments mycéliens. Lorsque les hyphes entrent en contact avec une jeune racine, ils forment un appressorium (**Fig. 7**), entre et se propage rapidement, il se différencie à l'intérieur des racines en arbuscules et dans certains cas en vésicules (Harley et al., 1983). L'arbuscule est l'unité au niveau de laquelle se produisent les échanges entre l'hôte et le champignon. C'est une ramification latérale des hyphes fongiques dans les cellules du cortex racinaire où le champignon pénètre et croît à l'intérieur. La membrane de la cellule hôte s'invagine et enveloppe le champignon, ce nouveau compartiment fournit un contact direct entre le champignon et la plante (Bonfante-Fasolo, 1984). La vésicule est une structure de stockage à paroi fine, à contenu lipidique et apparaît généralement dans les espaces intercellulaires (Harley et al., 1983). L'hyphe extra radriculaire produit par le champignon mycorhizien à arbuscule est un des organes de propagation et peut coloniser une plante autre que la plante dont ils sont issus.

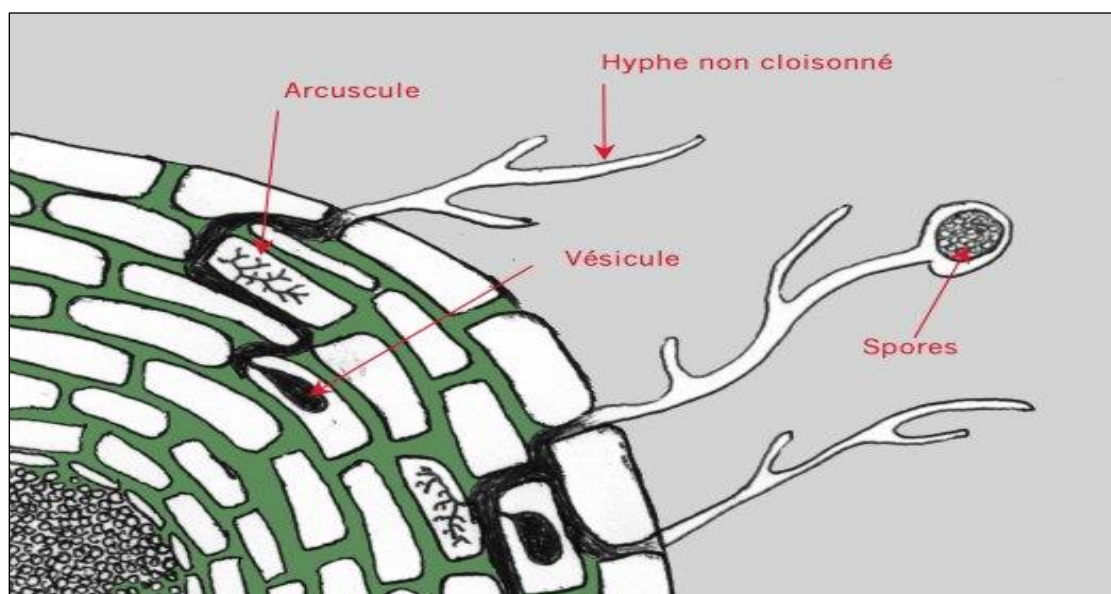


Figure 7: Schéma de structure mycorhizienne à arbuscule (lien 05)

1.6 Cycle de développement des champignons mycorhiziens à arbuscules

Le cycle de développement CMA peut être divisé en deux phases (**Fig.8**) : un stade pré symbiotique impliquant la germination des spores, la ramification et le développement des hyphes reproducteurs, et un stade symbiotique impliquant la prolifération des hyphes dans les racines de l'hôte et leur propagation à l'extérieur des racines. En dehors de ces deux stades, dans des conditions favorables en l'absence de plantes hôtes, les spores de CMA peuvent germer spontanément sans avoir recours à un stockage lipidique (Bécard et al., 2004). Au cours de cette période non symbiotique, le développement de l'appareil reproducteur reste très restreint. Après un certain temps, le protoplasme redevient des spores, qui redeviennent dormantes. Certaines spores peuvent germer jusqu'à 10 fois (Koske., 1985).

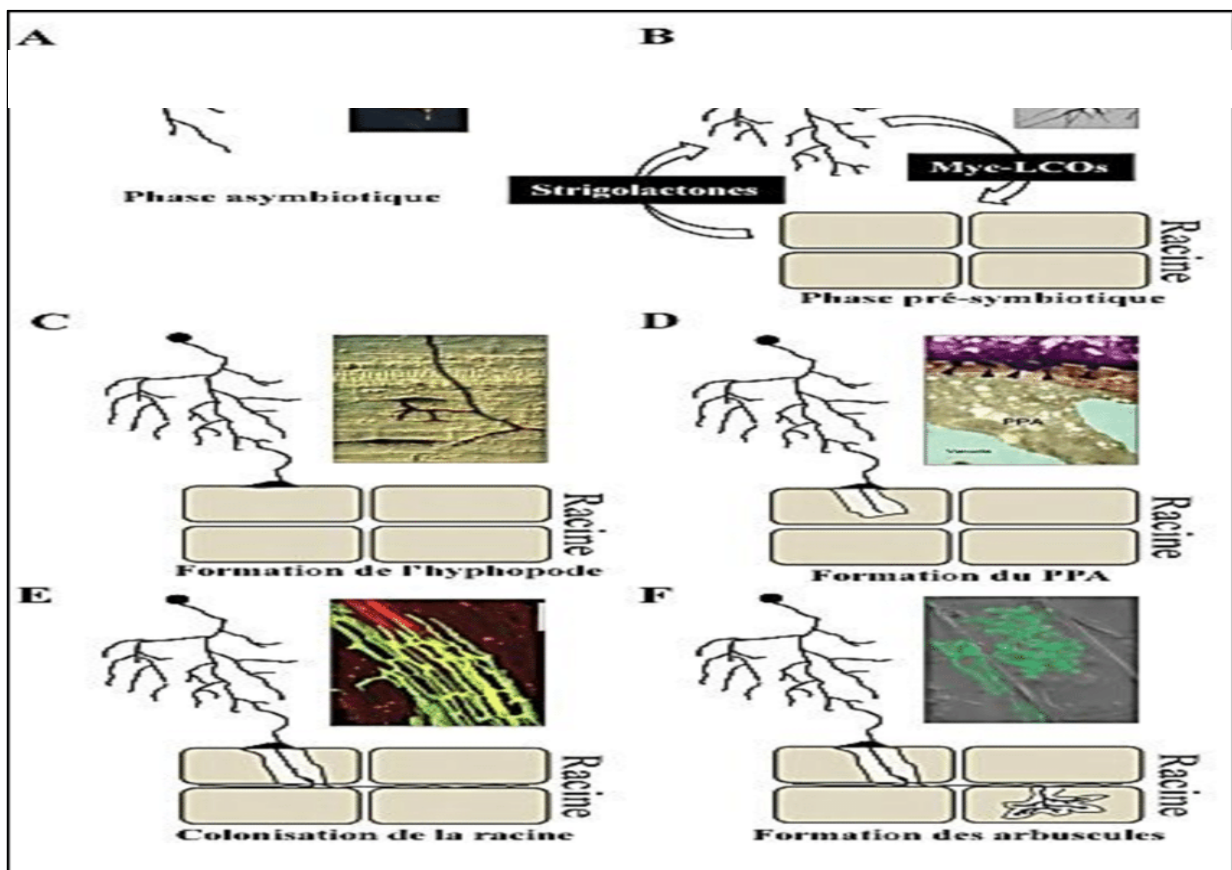


Figure 8: Cycle de développement des CMA (Bouabdeli, 2019)

1.6.1 Les signaux émis par la plante

Le CMA perçoit la présence proche d'une racine grâce aux molécules de signal diffusibles sécrétées par celle-ci (Giovannetti et al., 1993 ; Buée et al., 2000). L'effet stimulateur de ces molécules de signal sur les hyphes des CMA a été reconnu depuis longtemps, mais l'identité moléculaire des facteurs de ramification n'a été identifiée que récemment. Il a été trouvé que les strigolactones sécrétés par les racines de la plante sont responsables de la stimulation de la ramification (Akiyama et al., 2005) et des modifications dans la physiologie du champignon et de l'activité de la mitochondrie (Besserer et al., 2006). Le traitement des hyphes par une très faible quantité d'un strigolactone synthétique (le GR24) stimule la division nucléaire et la croissance du champignon par la stimulation du métabolisme énergétique de la mitochondrie (Besserer et al., 2008). En plus de leur rôle de facteur de ramification des hyphes fongiques, les strigolactones stimulent la germination des spores chez certains CMA (Besserer et al., 2006).

1.6.2 Les signaux émis par le champignon

Les Nod factors produits par les Rhizobiums induisent de nombreuses réponses dans les racines des légumineuses. Ces réponses sont responsables de l'établissement et du développement de la symbiose Rhizobium-légumineuses. Des mutants de *Medicago truncatula* affectés dans la voie de signalisation Nod, se sont avérés incapables d'établir la symbiose mycorhiziennes à arbuscules, montrant le partage d'une voie SYM commune de signalisation de deux symbioses. En analogie avec les signaux rhizobiens appelés Nod factors, les signaux diffusibles fongiques ont été appelés Myc factors. (Genre et al., 2013). Pendant la croissance en direction de la racine, les CMA libèrent des Myc factors qui induisent la réponse des racines de la plante hôte à la symbiose (Gough et Cullimore, 2011). Il semble que le Myc factor est un mélange de lipo-chitoooligosaccharides (LCO) sulfatés et non sulfatés (**Fig. 8**). Il a été démontré qu'en plus de la stimulation de l'établissement de la symbiose mycorhizienne à arbuscules, les Myc factors agissent aussi comme des régulateurs de la croissance des plantes en affectant le développement des racines (Maillet et al., 2011). Les Myc factors pourraient donc déclencher des changements dans l'architecture racinaire pour augmenter le nombre de sites colonisés.

1.6.3 Stade symbiotique

La colonisation de la racine par l'hyphes du champignon s'effectue selon un enchaînement de séquences définies que l'on peut brièvement résumer comme suit (**Fig.9**) : Les hyphes du CMA s'arrondissent et s'aplatissent sur la paroi de la racine pour former une structure

particulière nommée « hyphopodium » ou appresorium. La formation de cette structure indique que le champignon a reconnu une plante hôte potentielle. Durant les 4 à 6 premières heures qui suivent la formation de l'hyphopodium, un appareil de pré pénétration (PrePenetration Apparatus ou PPA) se constitue (Genre et al., 2005). Le PPA est une substructure qui prédétermine le chemin de la croissance du champignon à travers la cellule végétale de la racine. La formation du PPA est précédée par la migration des noyaux des cellules végétales vers le point prévu pour l'entrée du champignon. Les noyaux se déplacent ensuite en avant du PPA comme pour guider son sens de croissance à l'intérieur de la cellule. La PPA est un pont cytoplasmique épais à travers la cellule végétale. Il contient des microtubules cytosquelettiques et des microfilaments qui, ensemble avec le réticulum endoplasmique, forment un tube creux à l'intérieur du PPA. Seulement après que ce tunnel « transcellulaire » soit complet, les hyphes fongiques peuvent pénétrer les cellules de la racine jusqu'aux cellules corticales internes où le champignon forme des structures intracellulaires hautement ramifiées en formes d'arbuscules et représentant la structure la plus importante des CMA (Parniske, 2008). Les arbuscules restent séparés du cytoplasme des cellules par une extension dérivée de la membrane plasmique, la membrane péri-arbusculaire qui entoure les ramifications hyphales constituant le site des échanges nutritionnels entre les deux partenaires (Smith et Read, 2008a). Le développement des arbuscules est accompagné par d'extrêmes changements dans la structure et les fonctions des cellules végétales. Ainsi, une cellule corticale presque entièrement remplie par une vacuole et effectuant principalement un rôle structural dans la racine, est reprogrammée par stimulation symbiotique (Harrison, 2012). La morphologie des structures symbiotiques intra racinaires a été classée en deux types, Paris et Arum, selon les deux plantes où ils ont été décrits pour la première fois. Dans la colonisation de type Arum, le champignon prolifère le long de la racine dans les espaces intercellulaires et l'arbuscule entre dans les cellules par les axes résultants. Dans le type Paris, le champignon diffuse de cellule à cellule, et dans de nombreux cas des pelletons d'hyphes sont formés sans ou avec des arbuscules (Bonfante et Genre, 2008). La plupart des plantes forment une structure intermédiaire entre ces deux modèles, ce qui conduit à la formulation du terme « type Arum-Paris continuum » (Dickson, 2004).

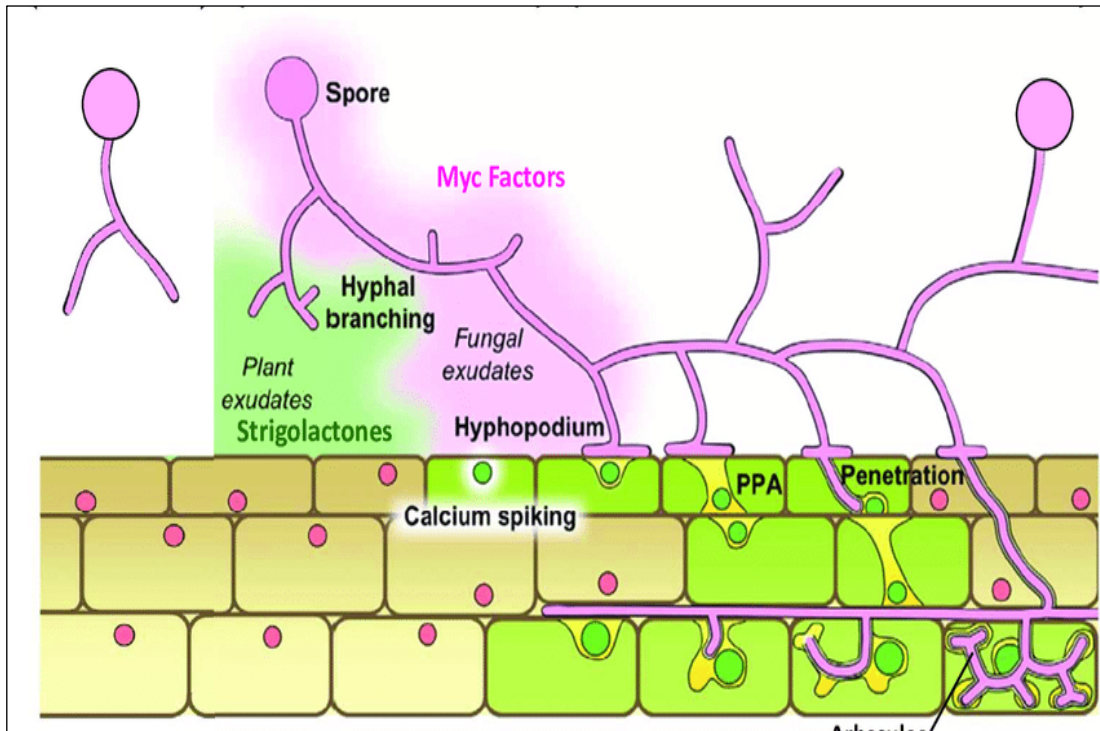


Figure 9: Schéma des différentes étapes de colonisation des champignons MA (adapté d'après Bonfante et Genre ,2010)

1.7 Bénéfices de la symbiose mycorhizienne

1.7.1 Bénéfices pour le champignon mycorhiziens à arbuscules

Les CMA sont caractérisés par un transfert bidirectionnel de nutriments. Le champignon mycorhizien (hétérotrophe) reçoit de la plante (autotrophe) des molécules carbonées issues de la photosynthèse (**Fig.10**). En échange, celui-ci lui procure les éléments minéraux (dont le phosphore et l'azote) et l'eau ainsi que d'autres nutriments puisés dans le sol (ammonium, certains oligoéléments tels le cuivre, le zinc). Les CMA dépendent entièrement de leurs partenaires pour le carbone et sont incapables de compléter leur cycle de vie en dehors de la symbiose. Des études menées dans les années 1970 en utilisant le $^{14}\text{CO}_2$ marqué ont montré qu'une partie du ^{14}C marqué passe des racines des plantes mycorhizées aux structures fongiques puis aux hyphes extra racinaires (Ho et Trappe, 1973 ; Bevege et Bowen, 1975 ; Hirrel et Genderman, 1979). Le carbone alloué au partenaire fongique sous forme d'hexoses est utilisé dans la croissance intra et extra racinaire du mycélium et dans la respiration. Ce

transfert bidirectionnel implique donc des processus complexes au niveau de l'interface symbiotique.

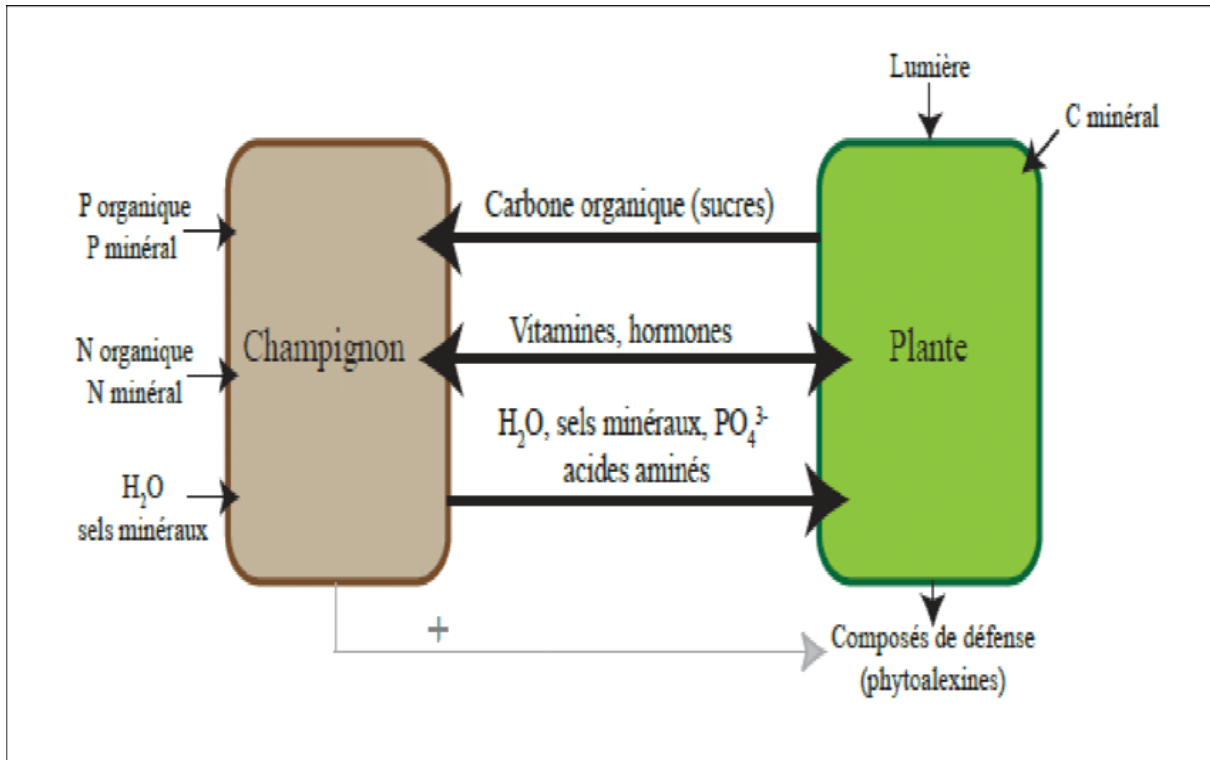


Figure 10: Schéma récapitulant les principaux processus d'échanges de nutriments dans l'ensemble des symbioses mycorhiziennes (Florent ,2010)

L'établissement de la symbiose mycorhizienne à arbuscules présente un coût énergétique pour l'hôte : il a été estimé que près de 20 % du carbone fixé par la plante durant la photosynthèse est alloué au partenaire fongique sous forme de divers hexoses (glucose, mannose, galactose, fructose, xylose, saccharose) (Jakobsen et Rosendahl, 1990 ; Doidy et al., 2012). Une telle perte énergétique ne peut correspondre à un caractère sélectif adaptatif bénéfique que s'il est compensé par un apport très efficace en eau et en éléments minéraux apportés par le champignon (Walder et al., 2012). Pour éviter qu'un des deux partenaires ne prenne l'avantage sur l'autre, une régulation fine des échanges et de l'invasion des tissus par le champignon est mise en place par la plante (Balzergue et al., 2011).

1.7.2 Bénéfices pour la plante

L'amélioration de la croissance et de la nutrition des plantes : L'amélioration de l'absorption des éléments nutritifs chez les plantes mycorhizées conduit, dans la plupart des cas, à une amélioration de la croissance. Les CMA améliorent l'absorption des éléments nutritifs,

surtout ceux de faible mobilité dans le sol comme le phosphore (P) (Fraga-Beddiar et al. 1990 Smith et al., 2011), l'azote sous sa forme ammonium (López-Pedrosa et al., 2006) et acides aminés (Cappellazzo et al., 2008), le potassium, le calcium et le magnésium. (Marschner et al 1994 ; Clark et al 2000). Les mycorhizes peuvent également accélérer la dégradation de la matière organique afin d'augmenter la biodisponibilité pour les plantes (Hodge et al. 2001).

La Protection contre les stress biotiques et abiotiques : la symbiose mycorhizienne contribue à l'amélioration de la tolérance des plantes à la salinité (Giri et al. 2008), au stress thermique (Abdel Latef et al. 2011), aux concentrations élevées de calcaire (Labidi et al. 2011), la sécheresse (Ruiz-Sánchez et al. 2010) et le compactage du sol (Miransari et al. 2008). Elle réduit les effets nocifs des contaminants tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (Verdin et al. 2006), les fongicides (Campagnac et al. 2010) et les métaux traces (Firmin et al. 2015). En plus elle renforce la résistance à certaines maladies latentes (Dalpé, 2005).

La Bio stabilisation du sol : la sécrétion de la glycoprotéine glomérine par le mycélium des CMA, stabilise la macro-agrégation des constituants du sol (Tisdall., 1991). Cela permet aux micro-agrégats de moins de 250 µm de diamètre de s'agréger en macro-agrégats stables de plus de 250 µm (Tisdall., 1994).

Autres bénéfiques : Changements morphologiques et structurels des racines qui peuvent altérer la dynamique de l'infect du microbiion pathogène (Whipps., 2004). L'altération du sol et l'augmentation de la teneur en matière organique du sol peuvent conduire à la stimulation de la production par la microflore de composés ayant une activité antagoniste contre des pathogènes spécifiques des racines (Dalpé., 2005). Modifications architecturales du système racine aux niveaux suivants : Longueur, nombre de racines latérales, diamètre et densité de branches (Wu et al. 2012).

ETAT DE CONNAISSANCE SUR L'INVASION BIOLOGIQUE ET LES PLANTES

EXOTIQUES

1.1 Ecosystème forestier

La définition universelle de la notion de forêt s'impose au préalable afin d'éviter tout amalgame à ce propos. Pour ce faire, le recours à la définition établie par la FAO semble être la solution idoine : « un territoire occupant une superficie d'au moins 50 ares, avec des arbres pouvant atteindre une hauteur supérieure à 5 mètres à maturité in situ, un couvert boisé de plus de 10 % et une largeur moyenne d'au moins 20 mètres ». Cette précision est d'une importance essentielle, au sens où elle lève toute équivoque sur la question, jusqu'à ne plus avoir la moindre confusion entre une forêt et un boisement ordinaire (Clarini, 2014).

Les écosystèmes forestiers sont des zones du paysage dominé par des arbres et constituées de communautés biologiquement intégrées de végétaux, d'animaux et de microbes, ainsi que des sols locaux (substrats) et des atmosphères (climat) avec lesquels elles interagissent. Les écosystèmes forestiers se forment à l'échelle d'un peuplement et à l'échelle d'un paysage, ce dernier étant une mosaïque de peuplements variant par l'âge, la composition des espèces, la structure, la fonction et le temps écoulé depuis la perturbation. Les perturbations périodiques sont une caractéristique essentielle de la plupart des écosystèmes forestiers, et la conservation de leurs caractéristiques et de leurs valeurs historiques passe généralement par le maintien des régimes de perturbation historiques, ou de leurs effets écologiques. Étant donné qu'un écosystème forestier est un système biophysique intégré, une forêt est tout autant un ensemble des processus de l'écosystème qu'un ensemble des composantes de l'écosystème forestier. Les modifications à court terme de la structure de la forêt ne constituent pas une perte de forêt, tant que les processus de l'écosystème forestier continuent de fonctionner de manière acceptable (Kimmins, 2003) (**Fig.11**).

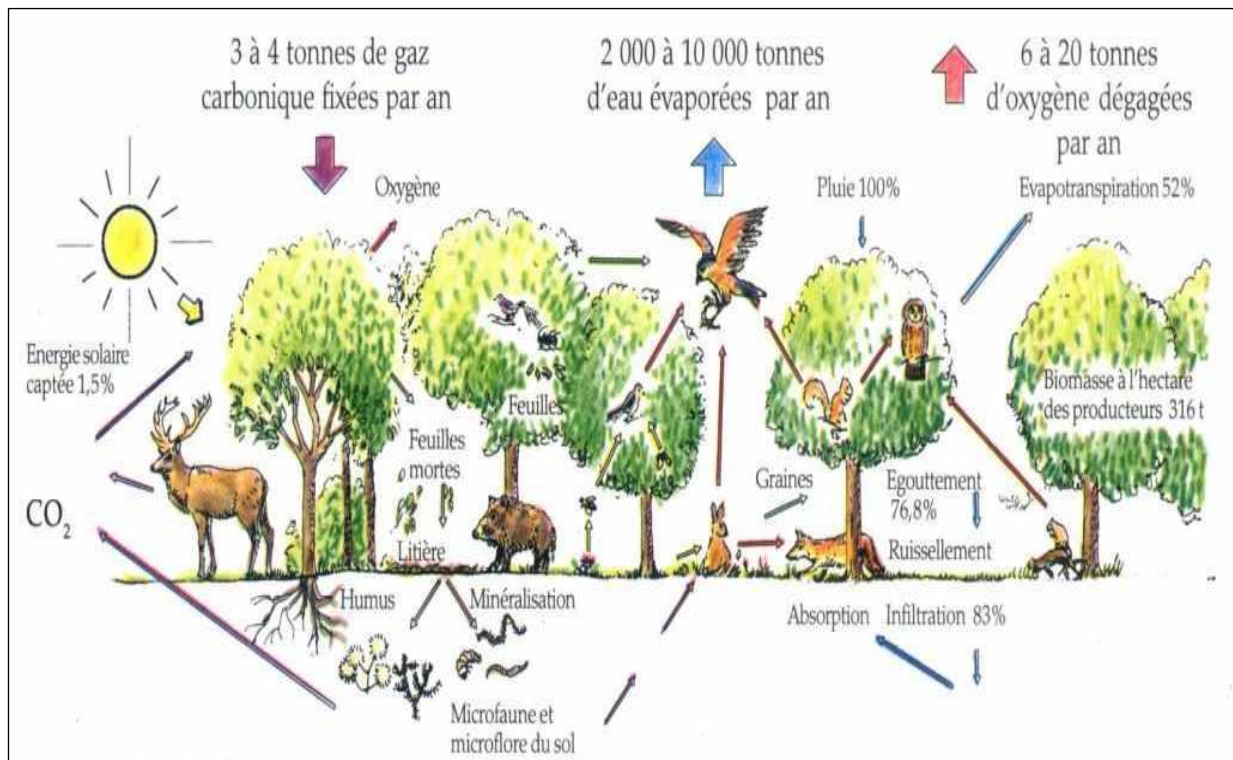


Figure 11: Fonctionnement d'un écosystème forestier (lien 06)

1.2 Symbiose mycorhizienne et écosystème forestier

Les associations mycorhiziennes jouent un rôle clé dans le fonctionnement et la stabilité des écosystèmes forestiers en intervenant fortement dans les relations plante - plante. En effet, l'existence d'arbres adultes supportant déjà des structures mycorhiziennes a été décrite comme un moyen très efficace dans l'établissement des jeunes plants en favorisant notamment l'infection de ces jeunes plants par les champignons mycorhiziens, donc leur survie (Newman, 1988 ; Simard et Durall, 2004). En outre, les champignons mycorhiziens favorisent la coexistence entre plusieurs espèces végétales, améliorant ainsi la productivité et

la biodiversité végétales dans ces écosystèmes (Van der Heijden et al., 1998a, b ; Gobat et al., 2003 ; Hart et al., 2003 ; Silvertown, 2004). Sans la forêt, il n'y aurait certainement aucun champignon mycorhizien, donc il est certain que sur les sols pauvres en éléments nutritifs, les arbres ne pourraient pas prélever suffisamment d'éléments minéraux sans l'aide de leur partenaire symbiotique. Des recherches expérimentales nous ont appris qu'en l'absence de mycorhizes, les arbres forestiers ne pourraient pas se défendre contre les agents pathogènes présents dans leurs racines et qu'ils seraient davantage sensibles à la sécheresse, au gel ou aux influences néfastes de l'environnement. En conséquence, les champignons mycorhiziens sont indispensables aux arbres forestiers et l'on peut supposer que s'ils n'existaient pas, nos forêts auraient un tout autre aspect (Sanon et al. 2006 ; Kisa et al. 2007) (**Fig.12**).

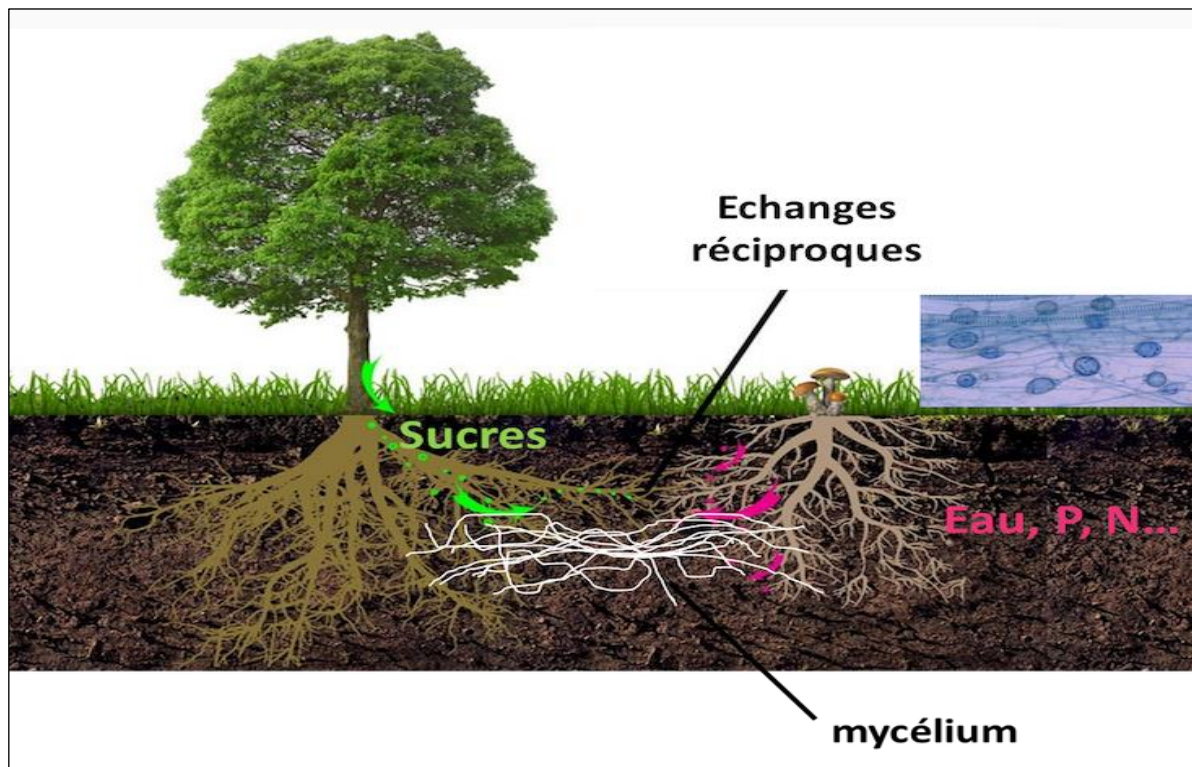


Figure 12 : Etablissement d'une symbiose mycorhizienne dans un écosystème forestier (Lien 07)

1.3 Ecosystème forestier en Algérie

Les forêts algériennes de type méditerranéen sont localisées entièrement sur la partie septentrionale du pays et limitée au Sud par les monts de l'Atlas saharien. Elle est inégalement répartie suivant les différentes régions écologiques (Ouelmouhoub, 2005), la distribution des méso-climats, de l'orographie et de l'action anthropique (Benderradji et al., 2006), ce qui leur confère des taux de boisements très variables. En effet, ces taux décroissent d'Est en Ouest et du Nord au Sud plus particulièrement (Ouelmouhoub, 2005). Selon Louni (1994), la sylve algérienne est formée essentiellement de trois types de formations végétales : la forêt, le maquis et les broussailles. Elles sont composées essentiellement de pin d'Alep (*Pinus halepensis*), de chêne vert (*Quercus rotundifolia*), de chêne zeen et afares (*Quercus faginea* et *Quercus mirbikii*), de chêne-liège (*Quercus suber*) et d'autres espèces forestières très peu représentées comme le pin maritime (*Pinus pinaster*) et le thuya (*Tetraclinis articulata*) (DGF 2010). Quatre classes de forêt apparaissent au niveau du patrimoine forestier algérien. On y distingue :

- **Les forêts de production** ; elles se localisent dans les étages bioclimatiques subhumide et humide avec des rendements moyens en bois d'œuvre.
- **Les forêts de protection** ; Il s'agit des forêts localisées au niveau des zones à forte pente dont le rôle principal est la protection des sols contre toute forme de dégradation (érosion hydrique, érosion éolienne,) et constituées particulièrement de forêts dégradées, maquis et matorrals.
- **Les forêts de conservation**, ce sont des forêts localisées au niveau des aires protégées (Parcs nationaux réserves naturelles, centre cynégétique).
- **Les forêts d'utilité sociale**, ces dernières se trouvent à proximité des agglomérations et qui ont un caractère récréatif.

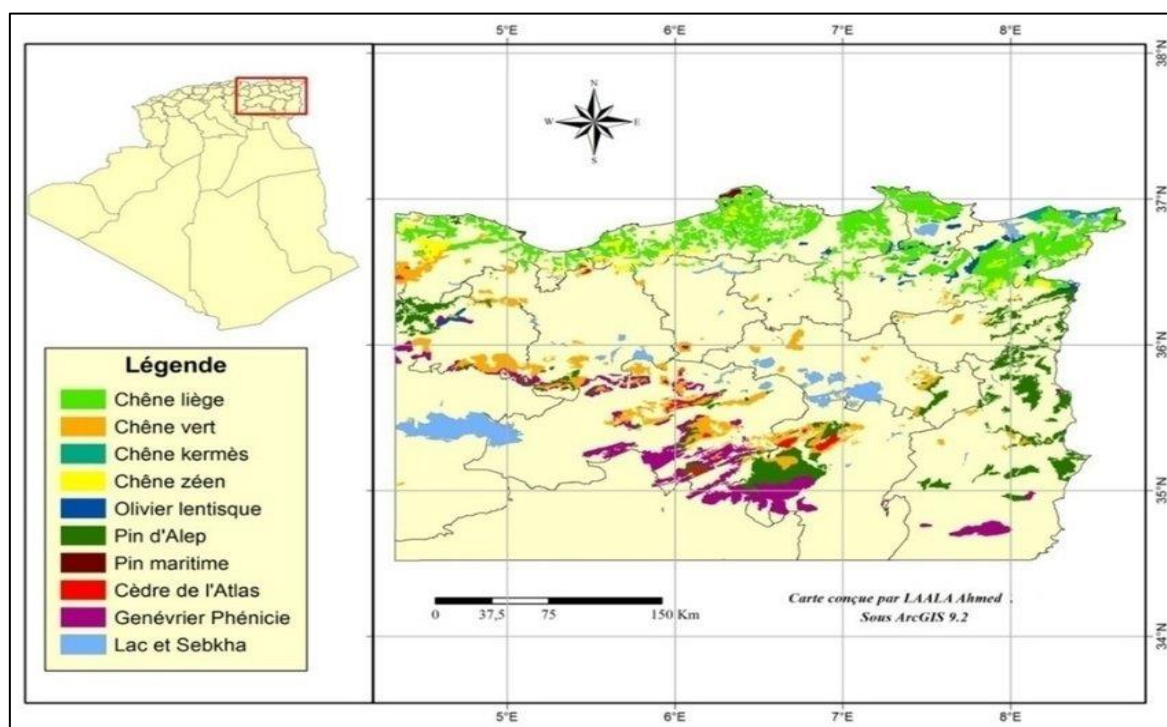


Figure 13 : Carte représentative des principaux écosystèmes forestiers de l'est-Algérien (Lalla Ahmed et al, 2016)

1.4 Etat des forêts algériennes

Les écosystèmes forestiers en Algérie sont confrontés à diverses nuisances, dont les principales se résument au manque de professionnalisme dans les interventions d'aménagement, au choix des techniques de reforestation et à la production de plants.

La forêt algérienne n'a pas cessé ces dernières décennies de se dégrader, aussi bien quantitativement que qualitativement, fait qui a amené plusieurs auteurs à s'y intéresser au processus alarmant qui la menace, par son irréversibilité (FM-Pnud, 2003). La crainte serait celle de voir l'endommagement se répandre davantage sur le plan spatial, jusqu'à mettre en danger le patrimoine forestier. Cette atteinte dépréciera fortement la nature du paysage algérien et perturbera l'équilibre écologique avec toutes les conséquences qui en découlent. L'avancée du désert sous l'effet de l'aridification et les incendies mettront à bout les écosystèmes forestiers (Gaouar 1980 ; Abdelfattah, 2014). Par ailleurs, le réchauffement climatique est l'autre pression qui peut perturber définitivement tous les écosystèmes naturels que sont les formations forestières et steppiques (Benabdeli, 1996, 2013, 2016). L'exploitation de documents relatifs à la dynamique de la couverture forestière en Algérie laisse apparaître qu'elle totalisait il y a deux siècles plus de 6 millions d'hectares (Fosa, 2000). De nos jours, elles ne couvrent plus que 3,9 millions d'hectares, dont 2 millions sont

constitués de formations dégradées. Pour soutenir cette régression progressive de la surface spatiale forestière algérienne dans le temps, nous faisons référence aux données suivantes : « 1830 à 1955, la surface perdue était de l'ordre de 1,810 million d'hectare ; 1955 à 1995, elle est estimée à plus de 1,210 million d'ha ; entre 1996 et 2016, elle se situait à environ 850 000 hectares » (Benabdeli, 2014).

Selon Benabdeli (1996), « Il n'existe plus en Algérie que des lambeaux de vastes massifs forestiers, seuls 900.000 hectares représentent des forêts en assez bon état, sur un total de 3 à 3,7 millions d'hectares. De tout temps, l'utilisation des forêts algériennes a posé divers problèmes, notamment en matière d'approche et de techniques. En 1969, une instruction générale sur l'aménagement des forêts très sommaire et administrative devint une méthode technique avec des recommandations en inadéquation avec la structure, la composition et la configuration écologique de nos massifs forestiers. Comme elles sont confrontées à des problèmes de pacage, d'incendie, d'abandon et de dégradation, les formations forestières n'ont pu être mises en valeur avec ces méthodes.

Les causes et les facteurs de dégradation des forêts algériennes sont nombreux mais l'un de ces facteurs est un peu spécial et a commencé d'attirer c'est l'attention qu'en dernières décennies c'est l'invasion biologiques par des espèces exotiques introduite par les programmes de reboisement des forêts.

Encadré 1: Subérais algériennes

Les principales subérais algériennes sont localisées dans le Tell Oriental, situées essentiellement en zones subhumides et humides au Nord-Est de l'Algérie jusqu'à la frontière tunisienne (Zeraïa, 1982). Le chêne liège s'étend d'une manière assez continue le long de la zone littorale et reste disséminé sous forme d'îlots de moindre importance dans la partie Ouest (Khelifi, 1987). Depuis l'ère tertiaire, la forêt de chêne-liège n'a pas cessé de représenter une richesse socio-économique avérée liée à diverses activités telles que l'exploitation du liège, l'utilisation du bois par la population riveraine, l'élevage, le tourisme...etc A l'instar des forêts en général, la subéraie contribue à une meilleure qualité de l'environnement, à une régulation du régime hydrique et à la protection du patrimoine forestier contre divers phénomènes naturels négatifs. La subéraie constitue par excellence un écosystème où se concrétise un remarquable équilibre entre ses différentes composantes naturelles (climat, végétation, sol...). Du point de vue écologique, la subéraie permet le maintien d'une biodiversité très importante. En effet, sous le chêne-liège se développe un sous-bois très riche. Malheureusement, ce patrimoine ne cesse de se dégrader en raison de la conjonction de divers facteurs : incendies, surpâturages, défrichements, déséquilibres climatiques (cela va de la sécheresse jusqu'au coup de gel en passant par la désertification et l'érosion), la surexploitation, notamment l'écorçage mal entrepris et d'autre pratiques. En plus de ces éléments de dépérissement s'ajoute une menace de poids, à savoir l'introduction d'espèces de type invasif originaires, pour la plupart, d'Australie (Acacia, Eucalyptus, Casuarina...).

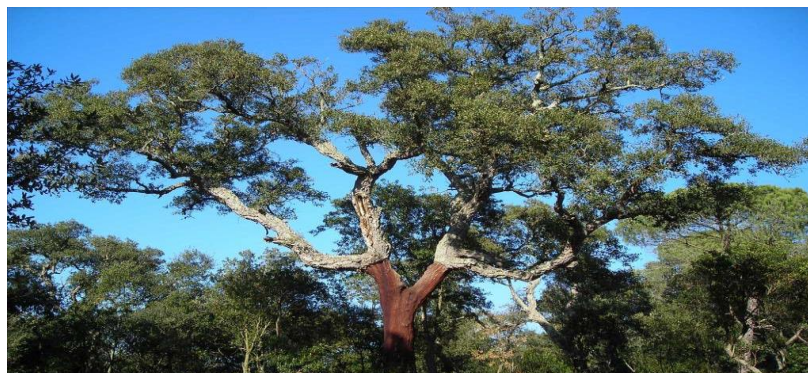


Figure 14 : Forêt algérienne de chêne liège (DGF, 2012)

1.5 L'invasion un nouvel enjeu pour l'écosystème forestier

L'invasion par des espèces exotiques (Encadré 2) est l'une des perturbations environnementales mondiales les plus importantes pour les écosystèmes terrestres. C'est la deuxième cause d'érosion de la biodiversité après la destruction des habitats naturels (Simberloff., 2003). La plupart des écosystèmes, sont envahis par des espèces, souvent originaires de terres lointaines, menaçant les espèces indigènes et provoquant même leur extinction (Meiners., 2007). La flore d'une région particulière est en constante évolution, leurs graines peuvent s'épuiser ou disparaître. Ainsi, d'autres espèces les remplacent soit volontairement par extension de leur aire de répartition, soit lors d'introductions volontaires ou involontaires. Cependant, certaines espèces végétales introduites menacent gravement les plantes indigènes. On les appelle espèces envahissantes parce qu'elles se comportent comme des envahisseurs dans de nouvelles zones.

1.5.1 En Afrique

Dans les paysages ouest africains, environ 60 % à 80 % des habitats naturels auraient été perdus (Burgess et al., 2004). Selon le CITS (2016), de vastes étendues de savanes et de forêts ont été progressivement remplacées ou fragmentées par les cultures dont les superficies ont doublé entre 1975 et 2013. Ces dynamiques ont favorisé la propagation de nombreuses plantes envahissantes représentant, d'une part, une menace réelle et croissante pour de nombreuses zones de conservation (UICN/PACO, 2013) et, d'autre part, un sérieux problème pour la production agricole (Pratt et al., 2017). D'après Amah Akodéwou, 2019, Au total, 133 relevés floristiques ont été réalisés 18 en savanes et 17 en forêts dans la région de Togo (situé entre les frontières de Ghana et Bénin). Les 133 relevés floristiques ont permis de recenser 178 espèces dominantes dont 30 envahissantes ou potentiellement envahissantes (16,85 %). Les plantes envahissantes dominantes se répartissent dans 10 familles botaniques dont 3 sont les plus représentées et regroupent à elles seules 71 % des espèces envahissantes répertoriées : – Poaceae (11 espèces) ; – Compositae (6 espèces) et Leguminosae (5 espèces). D'après le bilan réalisé par Dutartre en (2016), parmi les espèces les plus préoccupantes ("*species of major concern*") sont celles dont la répartition a très fortement augmenté. Il s'agit de plantes terrestres parmi lesquelles figurent *Pennisetum setaceum*, une graminée, et *Trichocereus spachianus*, un cactus cierge, deux espèces vendues en métropole comme plantes ornementales, et deux espèces de figuier de barbarie (*Opuntia*), taxon connu comme envahissant en Afrique du Sud depuis la fin du 19^{ième} siècle. Actuellement, hormis un

Invasion par Acacia mearnsii (De Wild) : Quels risques sur Quercus suber (L) dans le parc national D'EL Kala au Nord-Est Algérien ?

programme limité de lutte biologique contre une espèce d'*Opuntia*, aucune de ces espèces ne fait l'objet d'un programme actif de contrôle.

Encadré 2: Espèces exotiques invasives

Le concept de plantes envahissantes est développé par Pysek et al. 2004, ce sont des espèces non indigènes (anglais : alien), naturalisés, et montrent une dynamique d'expansion rapide dans la zone de leur introduction. De manière générale, il est noté que les plantes envahissantes sont des plantes exotiques (ou allotériques, étrangères, importées, ou non indigène) définition qui exclut explicitement les espèces locales dont l'aire de répartition s'étend. L'apparition de plantes exotiques remonte à l'Antiquité avec des déplacements humains pour la cueillette et la chasse. Cependant, l'amélioration des transports, y compris l'échange de matériel végétal, a considérablement augmenté l'introduction volontaires et / ou accidentelles (principalement dues aux mouvements internationaux de marchandises) de nouvelles espèces végétales (Jauzein., 1998). Cependant, il faut noter que toutes les plantes exotiques ne sont pas envahissantes. Seules celles qui sont capables de se naturaliser, de s'établir et de se propager comme des plantes indigènes peuvent devenir envahissantes, cela dépend d'une combinaison de facteurs (**Fig.15**) incluant des caractéristiques écologiques (structure des espèces végétales existantes), des conditions de perturbation ou des organismes terrestres. Pratiques de gestion des écosystèmes (Smith et al., 1998).

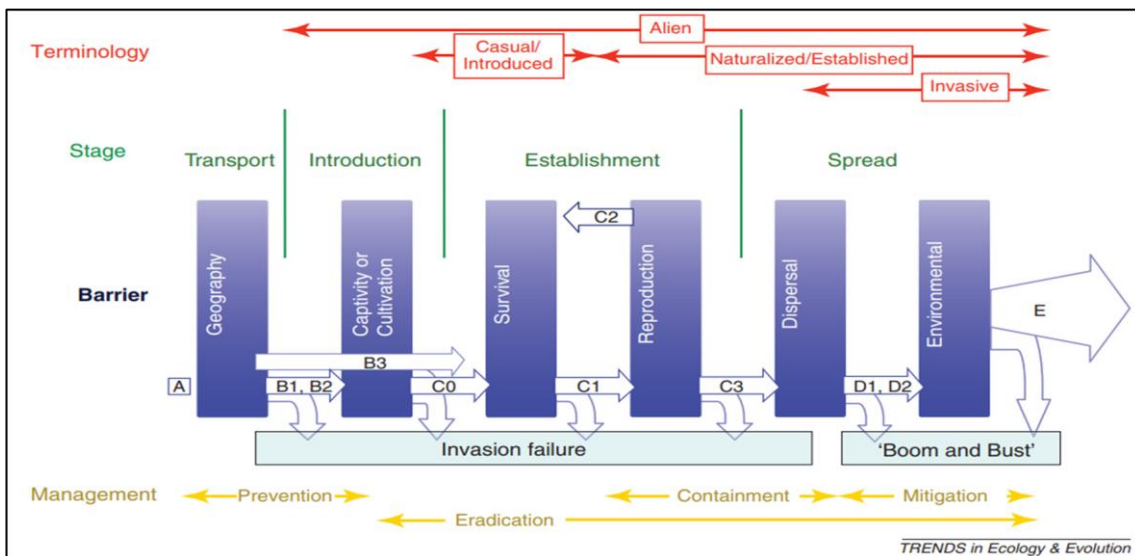


Figure 15: Représentation schématique des principales barrières limitant la propagation des espèces exotiques introduites.

Ces barrières sont les suivantes : (A) barrières géographiques, (B) captivité ou culture (pour ces espèces), (C) barrières liées à la reproduction et à la survie, (D) barrières de dissémination locale/régionale ; et E) barrières environnementales. Les flèches allant de « A » à « E » indiquent les voies suivies par différentes espèces pour passer du statut d'espèce exotique introduite à celui d'espèce envahissante (Blackburn et al., 2011).

Tableau 3 : Liste des espèces envahissantes classées parmi les plus nuisibles dans le monde (Invasive Species Specialist Group – ISSG,2007)

Espèce	Origine	Pays d'introduction	Impact sur la biodiversité
<i>Acacia delbata</i> Mémosa des fleuristes	Australie, la nouvelle Zélande	Europe, Afrique du sud, Californie, Inde, Chili, Madagascar	<ul style="list-style-type: none"> - Compétions avec la végétation indigène - Effet allélopatique - Modification de l'hydrologie
<i>Acacia mearnsii</i> Acacia noir	Australie	Europe, Afrique, Taiwan	<ul style="list-style-type: none"> - Compétions avec la végétation indigène - Effet allélopatique - Modification de l'hydrologie
<i>Aegopodium podagraria</i> , Herbe aux goutteux	Europe, Asie	Amérique du nord, Australie	<ul style="list-style-type: none"> - Formation de couverts dense - Compétions avec la végétation indigène
<i>Alliaria petiolata</i> Herbe à Ail	Europe	Canada, Etas unis	<ul style="list-style-type: none"> - Formation de couverts dense - Compétions avec la végétation indigène
<i>Arundo donax</i> Cannes de Provence	Asie	Amérique du sud, Amérique du nord, Mexique, Europe	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de l'intensité et de la fréquence des feux
<i>Carpobrotus edulis</i> Doigt de sorcière	Afrique du sud, Afrique du nord	Europe méditerranée, Amérique du nord	<ul style="list-style-type: none"> - Affecte les espèces rares et menacées - Modification des propriétés physicochimiques
<i>Psedium cattleianum</i>	Brésil	Etats unis, Australie	<ul style="list-style-type: none"> - Compétition pour la lumière et les nutriments du sol

Goyave de chine			- Formation des couverts monospécifiques
<i>Imperata celyndrica</i> Paille de dis ou paillette	Est de l'Afrique, Australie et Sud-est de l'Asie	Afrique, Asie, Europe et Océanie	- Augmentation de la fréquence de l'intensité des feux et régénération rapide par des rhizomes après un incendie
<i>Miconia calvecsens</i> Cancer vert	Amérique centrale et l'Amérique du Sud	Australie, nouvelle Calédonie, Hawaï.	- Compétition agressive et déplacement des espèces indigènes. - Augmentation de l'érosion des sols par la réduction du couvert végétal. - Menace importante pour les espèces en voie de disparition.
<i>Robinia pseudoacacia</i> Faux acacia ou Robinier	Etats-Unis	Asie, Afrique, Australie, Nouvelle Zélande et Canada	- Compétition avec les espèces indigènes pour l'utilisation de l'azote.
<i>Tamarix ramosissima</i> Tamarix d'été	Asie tempérée, Asie tropicale, Chine, Russie et l'Europe de l'Est	Sud de l'Afrique, Amérique du nord et Australie.	- Modification de l'hydrologie. - Déplacement des espèces indigènes. - Modification du régime du feu.
<i>Rosa rugosa</i> Rosier du Japon	Nord-Est de la chine, Est de l'Asie,	Envahissante localement en Europe centrale et de l'Est	- Formation d'étendues monospécifiques. - Compétition pour la lumière et réduction de la biodiversité.
<i>Pinus pinaster</i> Pin maritime	Méditerranée	Afrique du sud, Australie, Nouvelle Zélande, Uruguay et Chelly	- Formation de couvert dense. - Compétition et changement de régime des feux - Modification des propriétés hydrologique - Altération des habitats
<i>Populus alba</i> Peuplier blanc	Europe centrale, Asie centrale et occidentale	Amérique du Nord	- Formation des peuplements denses. - Compétition avec les espèces indigènes

1.5.2 En Maghreb arabe

Les pays du Maghreb présentent une diversité d'écosystèmes continentaux abritant une grande richesse faunistique et floristique ces écosystèmes, dont les forêts, les agrosystèmes, les zones humides et montagneuses, les oasis, les steppes et les déserts, sont situés, dans leur majeure partie, dans des étages bioclimatiques variant du subhumide à l'hyperaride. Au Maghreb, la dégradation des écosystèmes terrestres, associée aux effets du changement climatique favorisant la propagation, l'abondance et l'établissement des espèces exotiques envahissantes. Les pays du Maghreb arabe comprennent, entre 84 et 410 espèces exotiques naturalisées qui risquent, avec le changement climatique, de devenir envahissante. Selon les données présentées par l'observatoire du Sahara et du Sahel, (2020) Soixante et une (61) espèces végétales envahissantes ont été recensées au Maghreb arabe (**Tab.4**). Le nombre d'espèces rapportées invasives est plus élevé pour l'Algérie (38 espèces), que pour le Maroc et la Tunisie (8 espèces chacun). Les nombres les plus faibles sont rapportés pour la Mauritanie et la Libye (Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS), 2020).

Tableau 4: Nombre d'espèces végétales invasives dans les cinq pays de l'Union Maghrébin Arabes (UMA) (Pysek et al, 2017)

Pays	Nombre d'espèces naturalisées	% espèces naturalisées	Nombre d'espèces invasives	Totale flore algérienne
Algérie	328	7,7	38	3953
Tunisie	225	5,9	8	3573
Maroc	410	8	8	4700
Lybie	141	6,0	4	2200
Mauritanie	84	7,5	3	1040

1.5.3 En Algérie

En Algérie, les invasions végétales ont été peu étudiées, parmi les travaux réalisés il convient de citer ceux de Le Floc'h et al. (1990) ; Beddiar et al. ; (2012) ; Boudiaf, (2012) Véla et al., (2013) ; Meddour et El Mokni (2016) ; Sakhraoui et al ; (2019) ; Chekchaki et al., 2020 et Meliani et al., 2021. La synthèse bibliographique réalisée par Meddour et El Mokni (2016) montre qu'une large portion (45,29 %) de plantes introduites en Algérie est naturalisée, avec environ 18 % d'entre elles considérées comme envahissantes ou potentiellement envahissantes. À l'exception d'*Acacia horrida*, toutes les espèces naturalisées dans les sites étudiés en Algérie sont signalées envahissantes avérées dans plusieurs régions méditerranéennes (Brunel et Tison, 2005 ; Cap de villa Argüelles et al., 2006 ; Celesti-

Grapow et al., 2009a ; Arianoutsou et al., 2010). D'après les travaux récents de Sakhraoui et al., (2019), 29 familles ont été recensées regroupant des espèces potentiellement envahissantes dans notre territoire appartenant toutes aux Angiospermes. Les familles les plus représentées sont les Fabacées (sept espèces), les Cactacées (cinq espèces), les Myrtacées (quatre espèces), les Poacées (quatre espèces), les Solanacées (trois espèces), les Verbénacées, les Bignoniacées et les Commelinacées chacune représentée par deux espèces. La flore introduite recensée comprend 43 genres et 50 espèces. Les genres les plus représentés sont *Acacia* (quatre espèces), *Opuntia* (trois espèces) et *Psidium* (deux espèces). Les Eudicotylédones sont les plus abondantes (40 espèces), 19 espèces dans les pépinières et 21 espèces dans les jardins privés. Les Monocotylédones sont moins nombreuses (10 espèces seulement).

1.6 Invasion des forêts du Nord-Est Algériens

Plusieurs subéraies du Nord-Est algérien sont sujettes à une invasion mais peu de recherches y en consacrées. Jusqu'à présent deux cas ont été étudiés, l'invasion des subéraies par *A. mearnsii* Beddiar et al. ; (2012), Boudiaf, (2012) ; Chekchaki et al. (2020) et Sahri et al. (2020) l'invasion des subéraies par *Pinus maritima* par Meliani et al., 2021. Ce dernier s'est limité à une étude cartographique montrant l'avancement du pin maritime dans la subéraie de Haddada située dans la commune de Souarekh, wilaya d'El-Tarf et le danger qu'il présente sur régénération du chêne liège. Le pin maritime est une espèce à stratégie (r) (Barbero, 1995), classée parmi les conifères colonisateurs opportunistes selon le modèle expansionniste de Barbero et Quézel (1989), pionnière pour la subéraie, se situant parmi les arbres « occupateurs de places vides » qui s'installent après perturbation (Blondel, 1995). Ainsi, du point de vue des successions végétales, l'invasion d'une subéraie par le pin maritime correspond à une dynamique régressive. La cartographie réalisée par Meliani et al. (2021), a montré que les parties envahies par le pin maritime *Pinus pinaster* Ait. Dans la subéraie de Hadada sont celles qui ont été le plus touchées par l'incendie de 1994. La faible résilience du chêne-liège, *Quercus suber*, dans ces conditions a permis au pin maritime de le supplanter. Cette dynamique illustre bien le paradigme *patch dynamics* dans une forêt méditerranéenne, et renseigne aussi sur le potentiel invasif du pin maritime (Meliani, 2021).

La présente étude est une continuité des travaux précédents débutants par les observations de l'invasion de quelques subéraies par *A. mearnsii* dans le PNEK par professeur Beddiar. L'étude par télédétection aéroportée et satellitaire de Chekchaki, (2020) a permis de

suivre l'évolution et la répartition actuelle des taches d'*Acacia mearnsii* dans la forêt de Boumalek (1536 ha) et la forêt de Tonga (1679 ha) (**Fig. 16**). Il a démontré que les formations végétales initiales dans ces sites, sans Acacia noir, ont perdu respectivement 708 et 581 ha. La subéraie avec sous-bois a subi une rétraction particulièrement remarquable (196 ha à Boumalek, 350 ha à Tonga). En presque 30 ans (de 1987 à 2016), les superficies de l'eucalyptaie et de la subéraie envahie par l'Acacia noir sont passées respectivement de 62 à 487 ha et de 0,2 à 188 ha à Boumalek, de 30 à 730 ha et de 1,6 à 120 ha à Tonga. Durant la période considérée, de presque 60 ans, les perturbations d'origines naturelle et surtout anthropique, ont constitué des facteurs aggravants de l'envahissement, par ouverture de fenêtres d'invasion et par déclenchement de la levée des semences d'*Acacia mearnsii*.

Dans ce qui suit nous nous sommes concentrés à rechercher les composantes écologiques et biologiques ou la combinaison de ces facteurs pour expliquer le succès de cette espèce à envahir ces subéraies dans le PNEK.

Invasion par *Acacia mearnsii* (De Wild) : Quels risques sur *Quercus suber* (L) dans le parc national D'EL Kala au Nord-Est Algérien ?

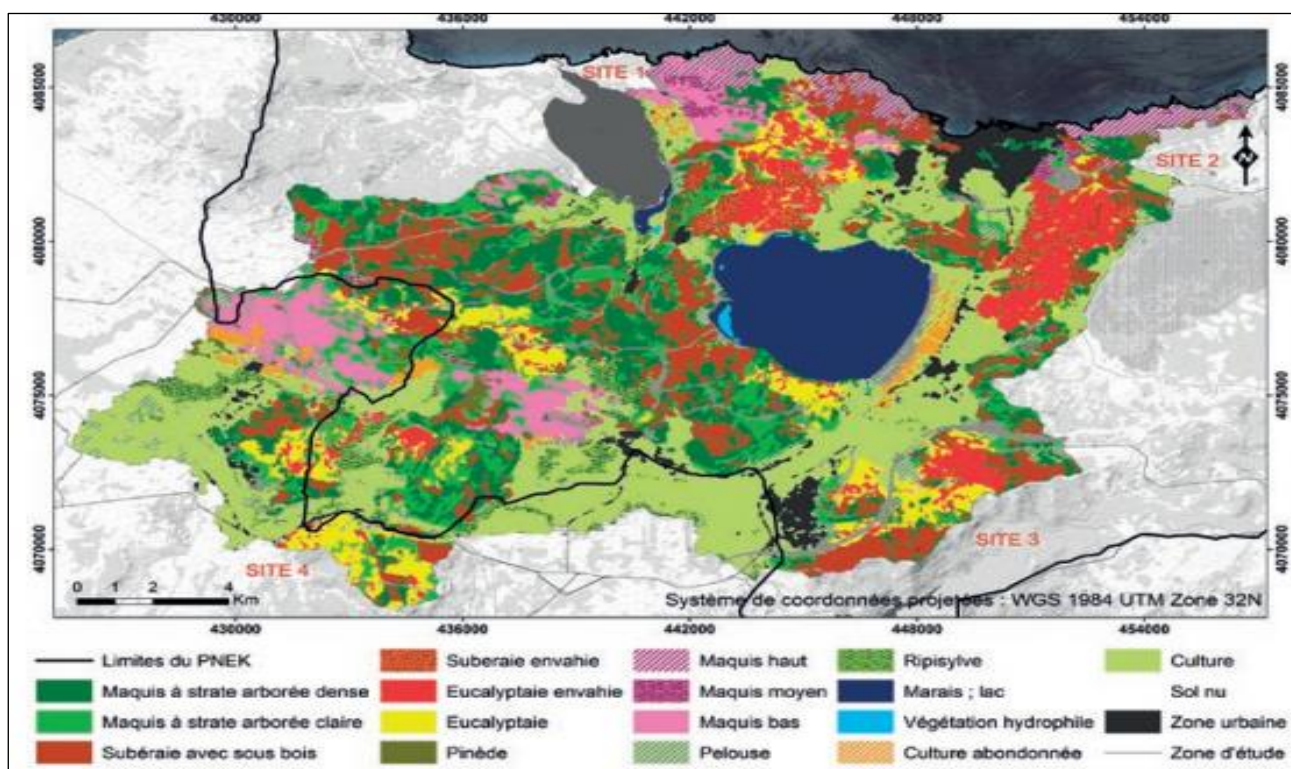
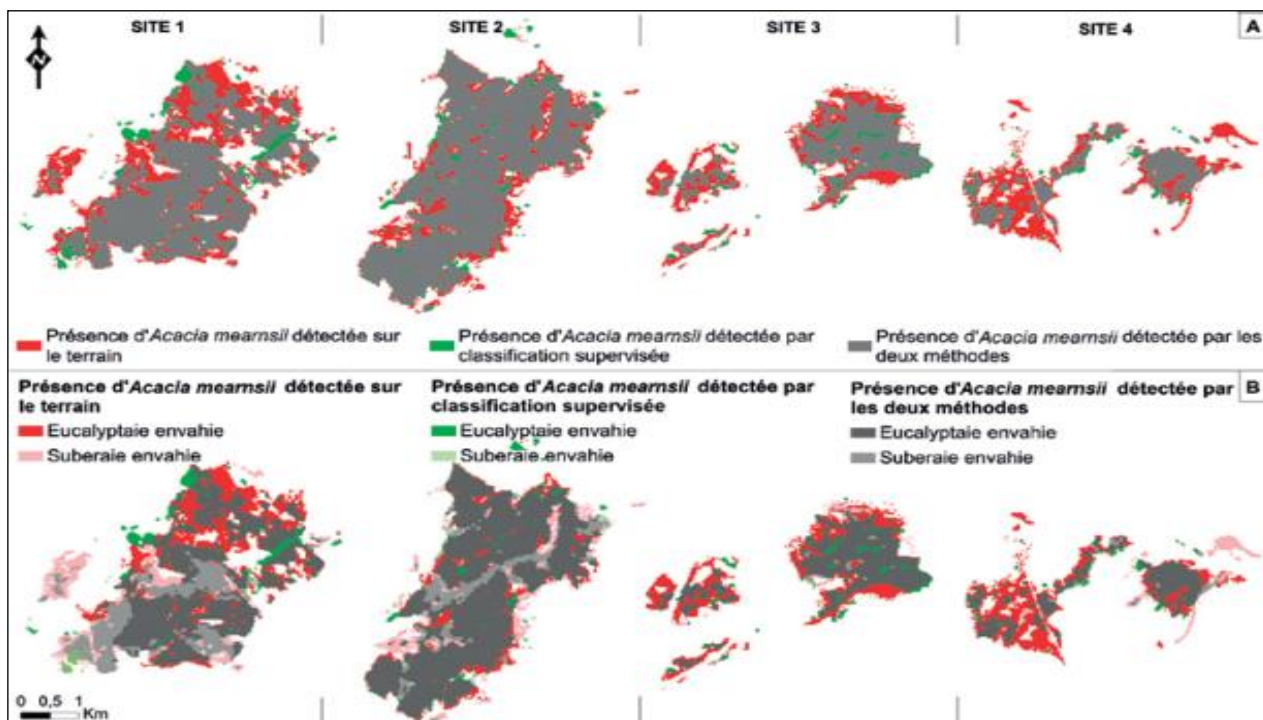


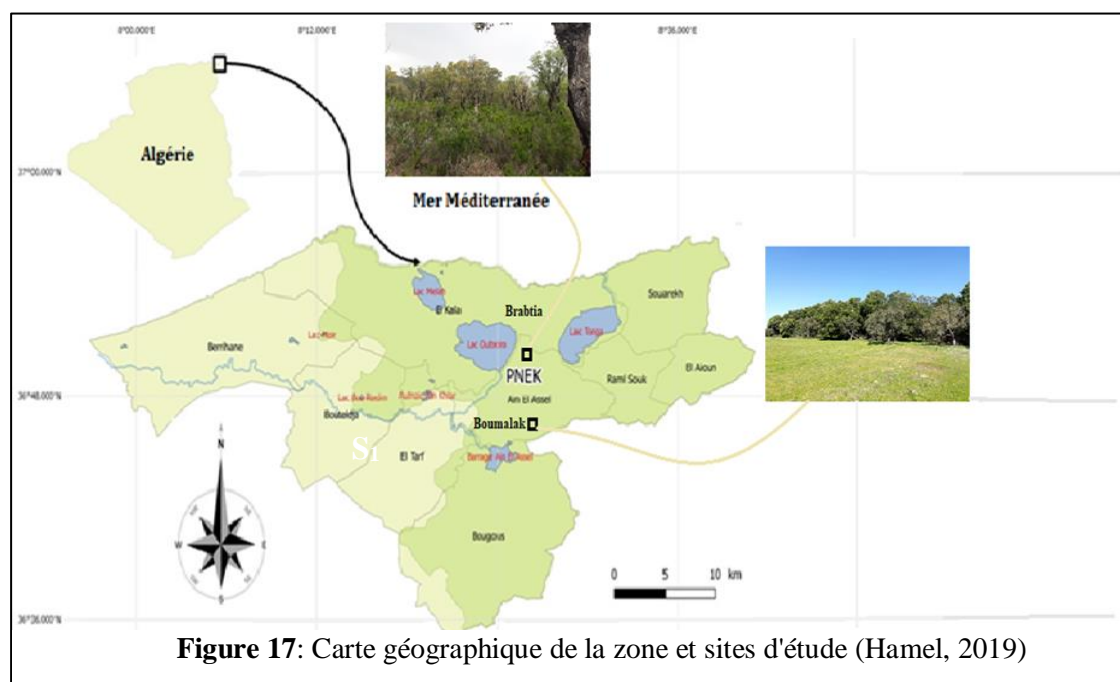
Figure 16: Carte d'invasion du PNEK par *Acacia mearnsii* (Chekcheki, 2020)

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE : LE PARC NATIONAL D'EL-KALA

1.1 Cadre de l'étude

La zone d'étude est la région d'El Kala dans la Wilaya, El Taraf, dans le Parc National d'El Kala. Localisé à l'extrême nord-est algérien, il est limité à l'est par la frontière algéro-tunisienne, au nord par la mer Méditerranée, à l'ouest par l'extrémité de la plaine alluviale d'Annaba, et enfin au sud par les contreforts des monts de Medjerda. Ces coordonnées géographiques sont : 36°52 latitudes nord, et 8°27 longitudes, au niveau de la ville d'El-Kala. Il couvre une superficie de 80000 hectares présentant des écosystèmes diversifiés répartis en écosystèmes lacustres, écosystèmes marins, écosystèmes dunaires et écosystèmes forestiers. Cette région est classée au stade bioclimatique subhumide, avec une variation annuelle des précipitations de 710 à 910 mm et une température moyenne de 18 °C. Les mesures d'humidité sont affectées par plusieurs facteurs, notamment la proximité de la côte et la densité de la végétation. En termes de végétation et de richesse végétale, il se caractérise par une proportion particulièrement élevée d'espèces endémiques, rares et très rares. Pour étudier l'état symbiotique de l'écosystème du chêne-liège dans la région d'El Kala, nous avons sélectionné deux stations de recherche soumises aux mêmes conditions écologiques (exposition, altitude, climat, géologie, etc.) et situées au sein du PNEK. Il s'agit du site de Brabtia (S1), représenté par une chênaie naturelle plus ou moins dégradée, et du site de Boumalak (S2), représenté par une forêt totalement dégradée habitée par *A. mearnsii* (De Wild.) (Boudiaf, 2013 ; Sahri, 2019 ; Chekchaki, 2020).



1.2 Caractères climatiques et bioclimatiques

1.2.1 Climat

Le climat est sans doute le facteur du milieu le plus important qui influe d'une manière directe les populations animales et végétales (Thomas, 1976). Selon Junqua (1954) in De Belair (1990), cette partie du territoire algérien possède un caractère biogéographique particulier. Le climat y est de type méditerranéen, pluvieux en hiver et sec en été. En effet, le quotient pluviométrique Emberger (1952) situe la région d'El Kala dans l'étage bioclimatique subhumide chaud, à la limite de l'étage humide. Les températures élevées de l'été et l'humidité relative de l'air, dépassant 75 %, se conjuguent pour créer ici et là une ambiance atmosphérique subtropicale. En revanche, les conditions climatiques hivernales définissent un climat tempéré semblable au climat des régions atlantiques, ce qui permet d'avancer que la région comporterait une poche relictuelle tropicale (De Belair, 1996).

1.2.2 Pluviosité

La pluviosité dans la région d'El-Kala présente un régime typiquement méditerranéen est caractérisée par une grande variabilité mensuelle, avec une concentration de la totalité des précipitations sur quelques mois de l'année, soit 50% des précipitations enregistrées en hiver, le reste est partagé équitablement entre l'automne et le printemps. Ce phénomène est à l'origine d'une grande violence et un caractère orageux des chutes de pluies. Ces dernières décennés avec tous les changements climatiques la pluviométrie a enregistré une grande régression. Depuis l'année 2000 jusqu'au 2018, la région a enregistré une pluviométrie annuelle de (130,93 mm) mm après c'est l'année 2019 la plus humide avec (174,47 mm), une baisse très remarquable de pluviométrie a été enregistrée durant les trois dernières années (2020 à 2022) (**Fig. 18** et **Tab 5**).

Tableau 5: Pluviométrie enregistrée pendant l'année 2000 jusqu'au 2023 dans la région d'EL Kala (EWX Next Generation Viewer)

Mois	2000	2019	2020	2021	2022
Jan	24,27	44,77	10,57	18,48	19,41
Fev	14,19	19,80	3,80	10,37	6,01
Mar	13,30	13,97	20,71	11,33	14,89
Avr	9,73	8,23	13,70	11,06	8,85
Mai	6,10	12,54	2,67	6,33	4,96
Jui	1,74	0,88	1,58	1,50	0,77
Juil	0,28	0,01	0,02	0,18	0,16

Aou	0,64	2,94	0,24	0,37	0,18
Sep	8,35	14,44	10,52	5,64	9,34
Oct	11,91	11,48	5,92	11,29	4,27
Nov	20,15	24,69	26,73	14,47	22,96
Dec	20,27	20,72	24,64	25,85	7,28
Total	130,93	174,47	121,1	117,14	99,08

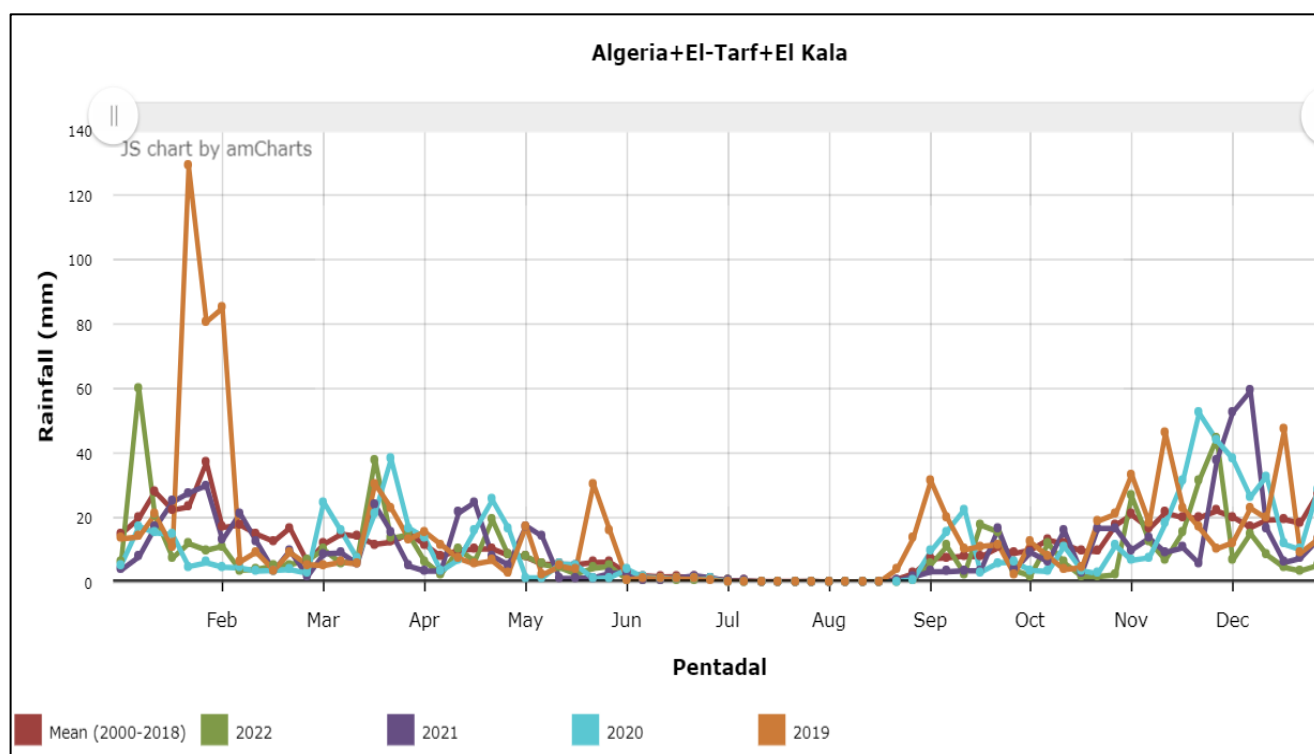


Figure 18: Diagramme pluviométrique enregistré pendant l'année 2000 jusqu'au 2023 dans la région d'EL Kala (EWX Lite Next Generation Viewer)

1.2.3 Température :

Ce paramètre varie en fonction de l'altitude, de la distance à la mer, et de la position topographique (Toubal, 1986). D'une manière générale, la température dans la région d'EL-Kala est méditerranéenne chaude. Elle est caractérisée par une température moyenne annuelle de 18,08°C. D'après les données météorologiques extraites du (EWX Lite Next Generation Viewer) nous constatons que la température la plus haute du mois le plus chaud est enregistrée durant le mois de juillet et août (35,69 ; 36,68°C) enregistrée durant l'année 2022 et que la température la plus basse du mois le plus froid est enregistrée durant le mois de janvier et février (11,3°C) enregistrée durant l'année (2019) (**Tab.6 et Fig.19**).

Tableau 6: Température moyenne enregistrée pendant l'année 2000 jusqu'au 2022 dans la région d'El Kala (EWX Lite Next Generation Viewer)

Mois	2002	2019	2020	2021	2022
Jan	13,77	11,13	14,68	14,13	14,06
Fev	14,63	14,59	18,17	18,50	15,82
Mar	17,86	18,95	16,91	19,44	17,06
Avr	21,43	20,41	20,46	21,85	23,28
Mai	25,58	23,32	25,97	24,80	27,45
Jui	30,36	30,25	30,47	28,24	32,25
Juil	33,64	33,44	34,49	33,80	35,69
Aou	33,57	32,79	34,86	34,00	36,68
Sep	29,23	27,76	27,84	30,81	32,13
Oct	24,59	25,05	24,45	25,28	30,35
Nov	18,49	16,94	19,55	18,78	20,36
Dec	14,68	16,13	13,19	14,15	18,28
Moy	23,17	22,56	23,42	23,64	25,28

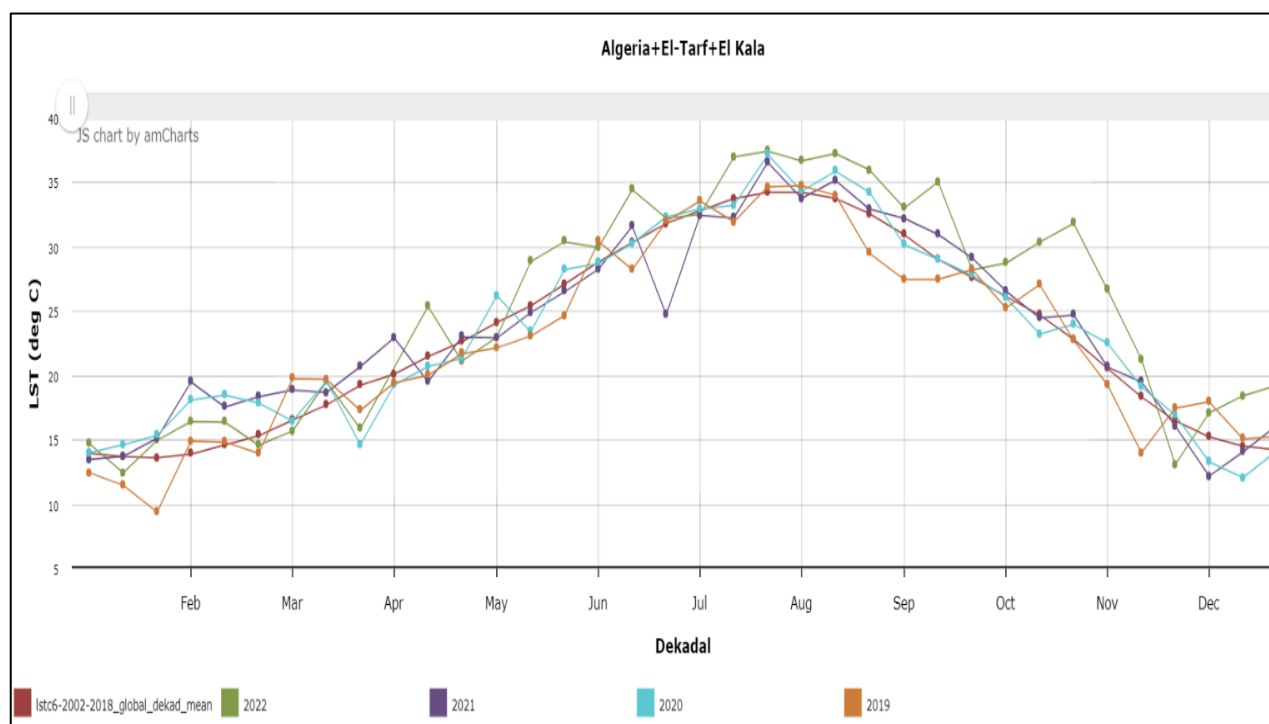


Figure 19: Diagramme thermique moyen enregistré pendant l'année 2000 jusqu'au 2022 dans la région d'EL kala (EWX Lite Next Generation Viewer)

1.3 Description des sites d'étude

L'invasion par *A. mearnsii* a été observée par les services de la conservation des forêts à l'extrême Nord-Est algérien, dans la wilaya d'El Taref. Les résultats de Chekchaki et al., 2020

obtenus par la méthode de cartographie par télédétection montrent que la superficie envahie avoisine les 3 200 ha du parc sur 80000 ha, répartis en quatre sites : subéraie, eucalyptaie, maquis (à strate arborée dense, maquis haut, maquis bas) et pelouse . Dans notre étude deux sites ont été choisis dans le PNEK :

Subéraie non envahie (Brabtia) : Le premier site (S_1), représente une subéraie naturelle composée de chêne-liège accompagné de tout son cortège floristique. Il se localise au sud du lac Mellah (l'ouest de la ville d'El Kala), ses coordonnées géographiques sont ($36^{\circ}86'0672''N$ $008^{\circ}34'.204044$ E), le taux de recouvrement est de 80 à 90%. (Benyacoub., 1998). Le site de Brabtia compte environ 30 ha, se présente sous forme d'un milieu hétérogène constitué de juxtaposition d'un bocage, d'une ripisylve et d'une subéraie dégradée. La subéraie occupe les piémonts d'oued Bouaroug. L'altitude est de 15 m, il est distant de la mer de 7,5Km, l'orientation de la subéraie est Sud. La strate arborée mono spécifique est composée essentiellement de sujets de chêne-liège *Quercus suber*, d'une hauteur moyenne de 8m, leur recouvrement moyen est de 60%. Le sous-bois est constituées principalement de *Phillyrea angustifoliés*, *Pistacia lentiscus*, *Rubus ulmifolius*, *Crataegus monogyna*, *Erica arboria*, *Erica scoparia*, ces espèces forment un enchainement de rameaux, de branches et lianes qui peuvent atteindre 4m de haut et se confondent avec les branches basses des arbres (**Fig.20.A**).

Subéraie envahie (Boumalek) : Le second site (S_2) est un peuplement dense dominé par l'espèce envahissante *A. mearnsii* Il se localise à 2 Km du site de Brabtia et au nord du lac Oubeira, ses coordonnées géographiques sont ($36^{\circ} 86'9045'' .3679''$ E), dont le taux de recouvrement aussi est très important (90%) il est constitué essentiellement des reboisements d'*E.camaldulensis* et *A. mearnsii* (**Fig.20.B**).

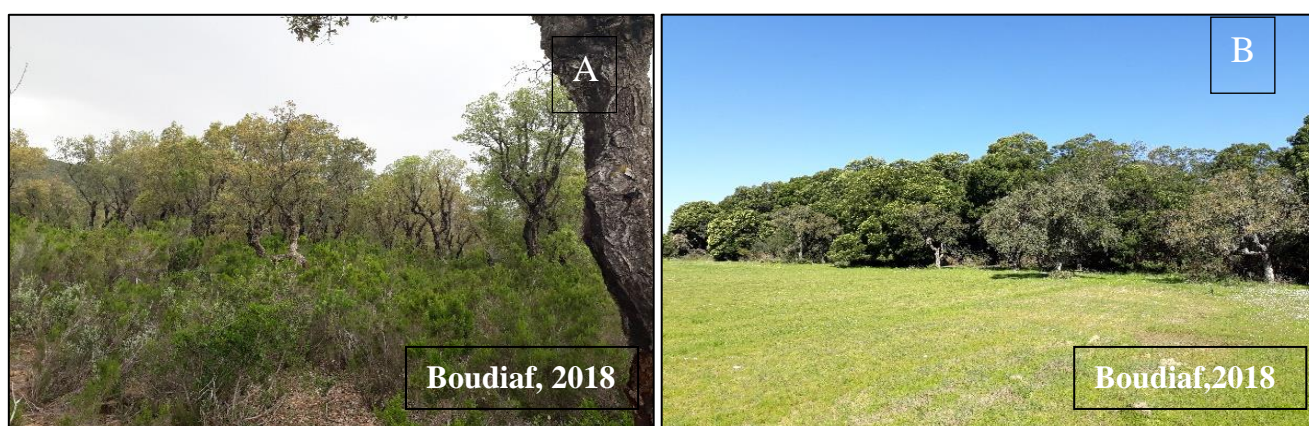


Figure 20 : Photographie des sites d'étude A : S_1 (Brabtia) et B : S_2 (Boumalak)

Invasion par Acacia mearnsii (De Wild) : Quels risques sur Quercus suber (L) dans le parc national D'EL Kala au Nord-Est Algérien ?

METHODOLOGIE

1.1 Echantillonnage

L'échantillonnage a été effectué chaque saison (automne, hiver, printemps et été) de l'année 2019 dans les deux sites d'étude à l'aide d'une tarière manuelle dans les vingt premiers centimètres de la couche superficielle du sol. Dans les deux sites, dix petites parcelles de 1 m² englobant chacune un arbre de chêne liège adulte a été sélectionnées, la distance entre chaque parcelle et une autre est de 7 m. Trois prélèvements d'environ 300 g du sol ont été réalisés autour de chaque arbre (Fig.21). À partir de chaque récolte, un échantillon composite représentatif a été réalisé. Au laboratoire, les échantillons ont été émiettés et tamisés à 2mm, une partie du sol a été conservé au frais à 4°C pour l'expérimentation du potentiel infectieux mycorrhizogène PIM₅₀ et la prospection des spores ; l'autre partie a été séchée à l'aire libre pour la réalisation des analyses physicochimiques.

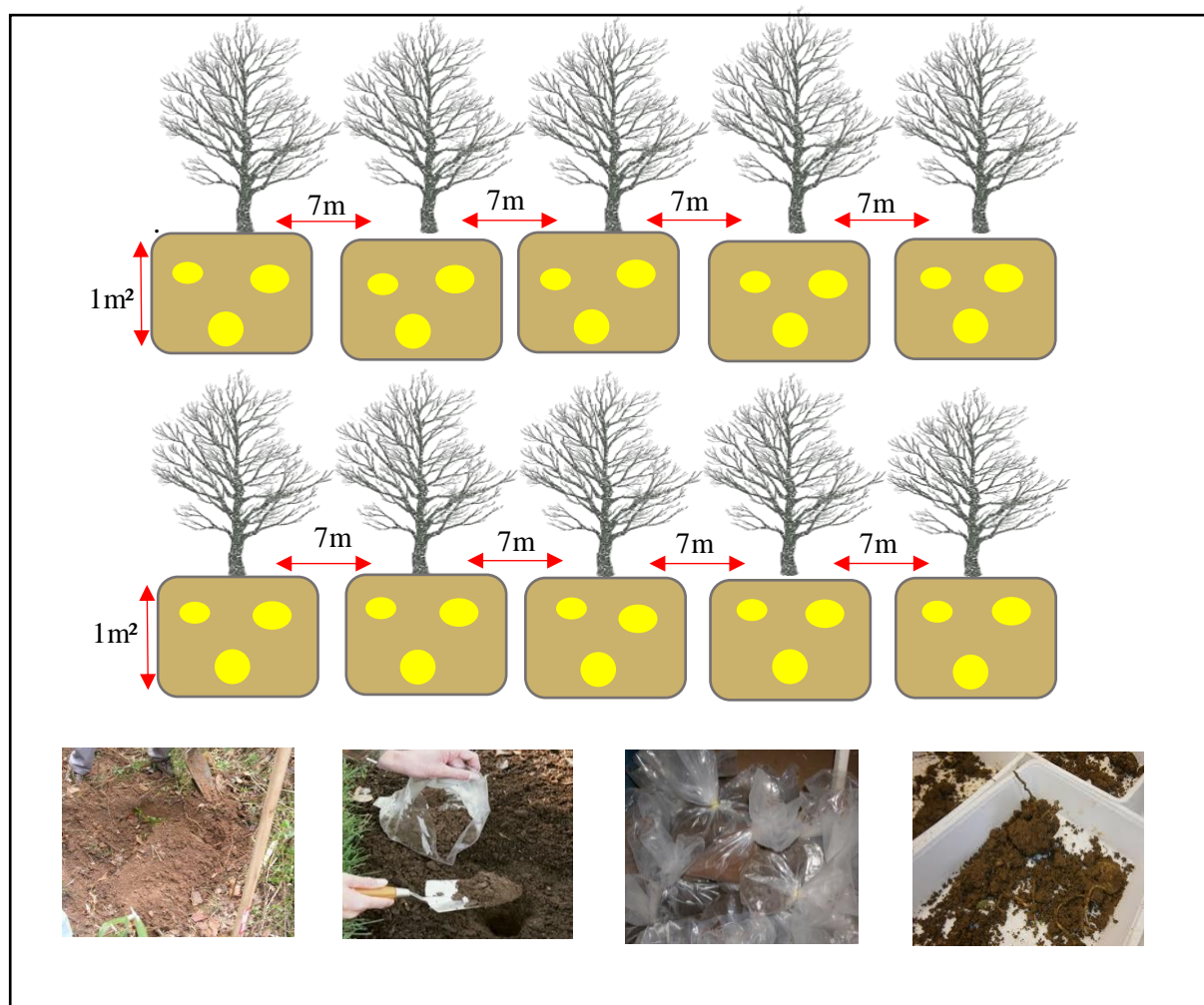


Figure 21: Echantillonnage effectué dans les deux sites d'étude S₁ et S₂

1.2 Analyses physico-chimiques

Les analyses des propriétés physicochimiques des sols ont été prétraité selon ISO 11464, broyé à 2mm au sein du laboratoire agronomique de la société FERTIAL (Annaba, Algérie), selon les méthodes suivantes : l'analyse des fractions granulométriques a été réalisé par la méthode de tamisage à sec (NF X 31-107) (AFNOR, 2004) et les particules fines sont séparées par sédimentation (AFNOR,1992). La mesure de pH_{eau} a été effectuée selon la norme ISO 10390 (AFNOR, 1999). La conductivité électrique a été effectuée selon la norme ISO 11265 (AFNOR, 1994). Le potassium, le sodium, le magnésium et le calcium ont été effectués selon la norme ISO 11265. La mesure de phosphore total a été réalisée selon la norme ISO 11263 par la méthode de Joret Hebert. La teneur en azote total a été déterminée selon la norme (ISO 11264.1999) par la méthode de Kjeldahl modifiée. La teneur en matière organique a été mesurée selon (NF ISO 14235) et la conductivité électrique a été effectuée selon la norme ISO 11265.

1.3 Estimation du potentiel mycorhizogène des sols

Dans toutes les manipulations nous avons choisi le sol des sites d'étude stérile comme substrat de dilution. La stérilisation a été réalisée deux fois à 120°C pendant une heure avec un intervalle de 24h.

1.3.1 Potentiel infectieux mycorhizogène (PIM₅₀)

Pour évaluer la densité des propagules des CMA dans les sols étudiés nous avons choisi la méthode du potentiel infectieux mycorhizogène PIM₅₀. C'est une méthode développée par (Plenchette et al. 1989) qui permet d'estimer le potentiel infectieux mycorhizogène d'un sol grâce à un bio-test réalisé sur une population de plantes et basé sur une relation dose/ réponse selon les travaux de Finney, (1979) in Plenchette et al. (1989). Le principe de base repose sur la croissance, non pas d'une seule plante à l'instar du MPN, mais d'une population de plantes-hôtes (dix, en général) sur une gamme de concentrations de sol étudié, et ce dans des conditions environnementales contrôlées. Chaque système racinaire est ensuite récolté et évalué séparément selon la présence ou l'absence de mycorhization.

Le plan expérimental, réalisé résulte d'une légère adaptation de la méthode proposée par (Plenchette et al. 1989). Nous avons utilisé le même sol stérile comme substrat de dilution. Les cinq dilutions sont formées de la manière suivante (**Tab.7 et Fig.22**) :

- Dilution 100% : des pots contenant 100 g du sol non stérile

- Dilution 30% : des pots contenant 100 g de substrat (30g de sol non stérile +70g de sol stérile),
- Dilution 10% : des pots contenant 100 g de substrat (10 g de sol non stérile + 90g de sol stérile),
- Dilution 3% : des pots contenant 100 g de substrat (3g de sol non stérile + 97g de sol stérile),
- Dilution 1% : des pots contenant 100 g de substrat (1g de sol non stérile + 99g de sol stérile).

Un témoin négatif a été prévu constituer du sol stérile. Chaque dilution a été répétée trois fois. Cela fait un totale de 36 pots contenant 10 plantes a été mis en croissance pendant 15 jours

Tableau 7: Résumé du plan expérimental de la méthode PIM₅₀

Expériences	PIM₅₀	
Nombre de plante par pot	10	
Plan expérimental	Dilutions	Répétitions
	1%	3
	3%	3
	10%	3
	30%	3
	100%	3
	T-	3
Arrosage	5 ml d'eau distillé stérile 03 fois par semaine	
Dépotage	Après 14 jours de croissance	

1.3.2 Matériel végétal

Nous avons choisi comme plante hôte le sorgho commun (*Sorghum vulgare.*) pour l'expérimentation de PIM₅₀. Le choix de la plante réside dans sa haute sensibilité à former une symbiose avec les CMA et d'avoir un système racinaire très dense et une croissance très rapide (Adelman et al. 1986).

Le recours à la prégermination /transplantation présente l'avantage de fournir aux expériences une population uniformisée de plantules ayant préalablement poussée dans les mêmes conditions, et de contourner les problèmes de graines non germées (Plenchette et al.1989 ; Declerck et al. 1996). Le protocole adopté pour la pré germination des graines est celui de Declerck et al. (1996) et Saint-Etienne et al. (2006). Avant la mise en germination, les graines ont été mises dans l'eau chaude pendant 2 min pour lever la dormance, puis placées dans le peroxyde d'oxygène (H₂O₂) (30%) pendant 15 min, ensuite, elles ont été rincées plusieurs fois avec de l'eau distillée stérile. Enfin, les graines ont été placées dans des boites de Pétri qui

contient du coton imbibé de l'eau distillée stérile et incubées un jour à 20°C. La germination des graines de sorgho est très rapide et à un pourcentage de (100%). (**Fig.22**)



Figure 22: Germination des graines
A : incubateur, B : graines de sorgho

1.3.3 Récolte et traitement du système racinaire

Lorsque la croissance des plantes arrive à terme, les sols sont dépotés, les plantes sont sectionnées au collet. Chaque pot contenant dix plantes, l'objectif est de récupérer chaque système racinaire séparément. Puis préparer pour l'observation des structures mycorhiziennes selon la technique de Phillips et Haymann., (1970) (**Fig. 23**).

La coloration des racines selon la méthode de Phillips et Hayman (1970), permet d'observer des structures fongiques colorées, même dans la phase intra-racinaire, sont distinguables des cellules végétales. Après nettoyage des racines à l'eau du robinet, la première étape consiste en la décoloration des cellules végétales, en les vidant de leur contenu cytoplasmique et nucléaire, grâce à une solution d'hydroxyde de Potassium KOH 10% (m/v) pendant 20 minutes au bain marie (90°C). Puis colorer les racines dans une solution composée de bleu de trypan à 0.05% (m/v) dans le lactoglycérol (v:v:v) pendant 20 minutes pour colorer les structures fongiques. Après coloration les racines sont conservées dans la solution de GEE (annexe 4) et conservé au frais. Le système racinaire de chaque plante, mis dans une boîte de Pétri est observé à la loupe binoculaire. La plante est jugée mycorhizée lorsque son système racinaire présente au moins un point de colonisation (pénétration d'un hyphes dans la racine). Chaque notation est 1 ou 0 selon qu'il y a ou n'y a pas d'infection mycorhizienne visible (**Fig.23**).

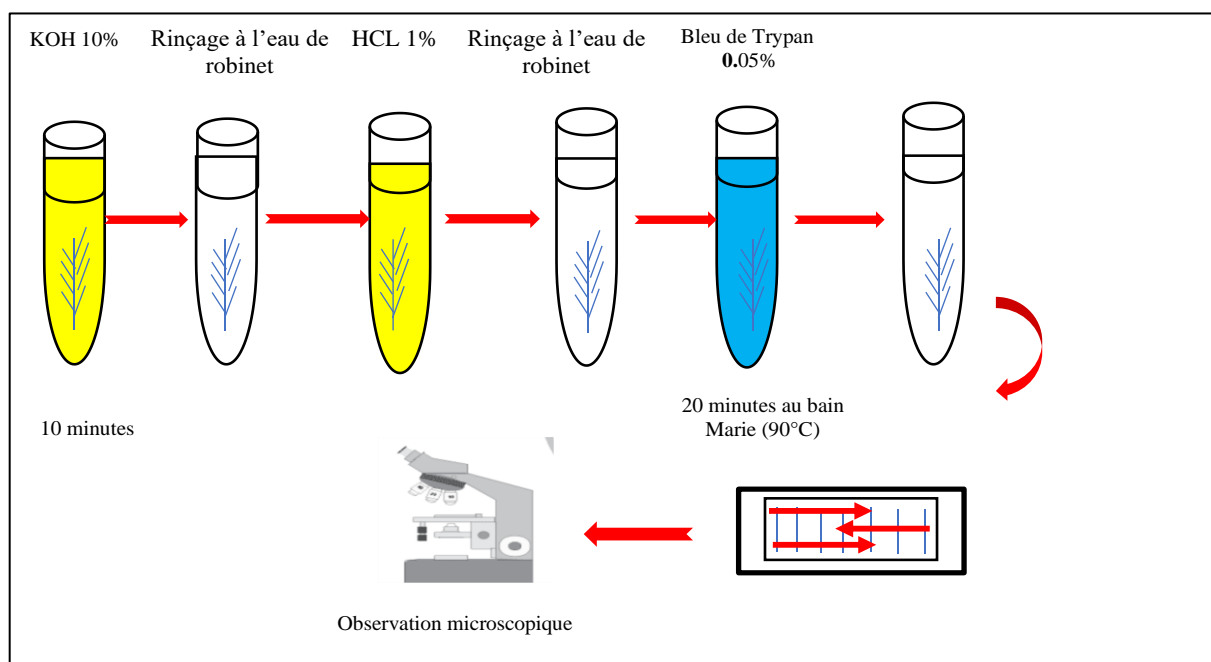


Figure 23: Coloration des racines selon la méthode de Philips et Hayman ,1976

1.3.4 Calculs

Les résultats sont exprimés par le pourcentage de plantes mycorhizées par pot. Des régressions linéaires ($Y = aX + b$) sont calculées à partir de la relation pourcentage de plantes mycorhizées en fonction du logarithme de la quantité de sol non stérilisé (Duponnois et al., 2001). Les résultats sont exprimés en Unités de Potentiel Infectieux Mycorhizogène (UPIM)/100g de sol. Une valeur indicatrice du PIM est donnée par le nombre d'unités de PIM (quantité de sol non

Stérilisé) requis pour mycorhizer 50 % d'une population de plantes (PIM_{50}) dans les conditions du test biologique.



Figure 24: Racines récupérées du PIM_{50}

1.4 Prospection des spores

La méthode la plus simple pour examiner la composition en espèces des communautés fongiques CMA est de collecter, compter et identifier les spores. Cependant, il existe des limites de l'analyse des sporocarpes car les champignons mycorhiziens varient en fonction des taxons mais également, changent avec les variations saisonnières annuelles. Il existe également une mauvaise relation entre la colonisation de la racine et densités de sporocarpes ou de spores.

L'extraction des spores et des sporocarpes de CMA est effectuée par la technique de tamisage humide de Gerdemann et Nicolson (1963) (**Fig.25**).

L'échantillon de sol est lavé vigoureusement sous un jet d'eau dans une série de tamis à diamètre de mailles décroissantes (450µ m, 250µm, 150µm et 50µm). Les tamis retenus (250µm, 150µm et 50µm) contenant les spores des CMA sont mélangés et mis en suspension dans de l'eau distillée puis observés directement à la loupe binoculaire. Le nombre moyen de spores est exprimés pour 100g/de sol humide. Les spores récoltées et dénombrées ont été montées entre lames et lamelles dans une goutte de polyvinyle alcool acide lactique-glycérol (PVLG) ou un mélange de PVLG¹ et du réactif de Melzer² (1 :1 V/V), une petite pression est appliquée sur la lamelle afin d'écraser délicatement ensuite elles ont été observées au microscope (Leica) au grossissement (40X10). L'identification et la description des espèces ont été réalisées à l'aide de la clé d'identification de la collection internationale de culture de champignons mycorhiziens à vésicules et arbuscules (INVAM) (<https://invam.wvu>) .

¹ **PVLG** : utilisé pour monter en permanence des spores entières ou brisées sur des lames.

² **MELZER** : réactif à base d'iode utiliser pour l'identification des spores. La réaction :

- *iode-négativité* : correspond à l'absence apparente de réaction : les cellules se teintent de jaune brunâtre, qui est la couleur du réactif.

- *des éléments amyloïdes* : prendront une coloration gris bleu ardoise, voir noire, signale la présence d'amidon.

- *des éléments dextrinoïdes* : se teinteront de brun révèle la présence des dextrines. Rouge foncé.



Figure 25: Etape de tamisage humide (Sahri,2019)

1.5 Mesures de la diversité écologique

De façon à synthétiser les données sur la diversité d'un peuplement, de nombreux indices sont couramment utilisées à savoir : la richesse spécifique, la densité sporale, l'indice de diversité de Shannon–Wiener, l'équitabilité Pielou, l'indice de dominance de Simpson auquel s'ajoute l'indice d'équitabilité de Simpson (Simpson., 1949 ; Franke-Snyder et al., 2001). Ce sont des expressions mathématiques qui renseignent le mieux sur la structure du peuplement. Ils permettent d'avoir une évaluation de la diversité du peuplement. Ces indices ont pour intérêt de rendre compte de l'abondance relative de chaque espèce (Gaujout, 1995) ; ils permettent également de comparer entre deux peuplements et de voir comment ceux-ci évoluent dans l'espace et dans le temps (Dajoz, 1985).

Tableau 8: Mesure de la diversité écologique d'après Dandan, 2019

<i>Indice de diversité de Shannon et Wiener (H)</i>	$H' = \sum P_i \ln P_i$
<i>Equitabilité de Pielou (J)</i>	$E = H' / H_{max}$
<i>Indice de dominance de Simpson (D)</i>	$D = \sum P_i^2 [n_i (n_i - 1) / (N (N - 1))]$
<i>Richesse spécifique (RS)</i>	<i>Nombre d'espèces identifiées par sol</i>
<i>Densité sporale</i>	<i>Nombre d'espèces identifiées dans 100g de sol</i>
<p><i>PI : Relative abondance des espèces identifiées par sol, elle est calculée par la formule suivante : $P_i = n_i / N$</i></p> <p><i>n_i : nombre de spores identifiées par espèce</i></p> <p><i>N : nombre total de spores identifiées par sol</i></p> <p><i>$H_{0 max}$: diversité maximale, elle est calculée par la formule suivante : $H_0 = \ln S$,</i></p> <p><i>S : nombre total de spores identifiées par sol</i></p>	

1.6 Analyses statistiques

Toutes les analyses de cette partie ont été effectuées en trois répétition à l'aide du logiciel R package ade 4, version 3.0.2 (R Development Core Team 2013), sauf les calculs des indices de diversité, ont été réalisés à l'aide du logiciel PAST (Version 4.03) (Hammer et al. 2001). Avant de présenter à toutes les analyses, la normalité et l'homogénéité de la variance ont été vérifiées. Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart-type. Les comparaisons intergroupes des moyennes de tous les paramètres mesurés dans les deux sites d'étude ont été séparées par le test de Tukey. Le niveau de signification est fixé à $p < 0.05$. Les effets de la saison de prélèvement sur les paramètres physicochimiques et sur le nombre de spores dans les deux sites d'étude ont été effectués par une analyse de la variance (ANOVA) en utilisant le modèle linéaire général (GLM) et le test (HSD) de la différence significative de Tukey a été utilisé pour comparer les moyennes des groupes. L'interaction entre les deux sites d'étude, la saison de prélèvement sur les paramètres physicochimiques et sur le nombre de spores a été évalué en utilisant le test HSD de Tukey $p < 0.05$. La corrélation entre les paramètres physicochimiques et le nombre de spores et PIM₅₀ a été estimé par le test de Pearson et par une analyse en composantes canoniques (ACC) qui permet de visualiser le pourcentage explicatif d'une variable sur une autre.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

RESULTATS

1.1 Analyses physicochimiques

La lecture des résultats de la granulométrie et leur extrapolation sur le triangle textural international (FAO, 1997), permet de conférer une texture sablonneuse du sol analysé S₂, et une sablo limoneuse pour le S₁. Le pH des sols échantillonnés est acide en saisons humides (5,6 à 5,9) et en périodes sèches (5,8 à 6,3). Les sols prélevés dans le S₂ présentent les teneurs les plus élevées en azote (0,3%), en phosphore (35,3 mg). On note un effet significatif de la saison de prélèvement (P=0,007), une signification hautement positive a été enregistré entre les deux sites (P= 0,000) et une interaction positive de saison et du site sur le taux de phosphore (P=0,007). Un effet hautement significatif du site aussi est enregistré sur le taux d'azote (p= 0,0001), du site et de saison (P=0,008). En revanche, aucune signification a été enregistré sur la saison de prélèvement (P=0,171). Les deux sols sont moyennement riches en matière organique. Une corrélation significative est observée (p = 0,023) sur la teneur en MO et les deux saisons sèches (l'été et le printemps), sur MO et le site et la saison site (0,000). Cette corrélation n'est pas significative avec le type de site (0,67). En ce qui concerne le taux du sodium, potassium, magnésium des sols d'étude, les deux sols présentent des teneurs élevés de magnésium et potassium mais une faible teneur en calcium. L'étude statistique a montré que le site 2 présente plus de corrélations significatives avec les analyses physicochimiques la saison du prélèvement, le type du sol et les composantes physicochimiques du sol. La saison du prélèvement et le type du sol influencent sur les paramètres physicochimiques. Il existe une relation positivement significative entre le sodium, le phosphore, le magnésium, l'azote total, la teneur en matière organique, la saison du prélèvement et le type du sol. On note un effet hautement significatif du sol (F=36,02, p=0,000), et une interaction positive du sol et de la saison du prélèvement (F=4,30, p=0,021) sur le dosage du sodium. On note également une corrélation positive entre la saison du prélèvement (F=5,89, p<=0,007), le type du sol (F=22,04, p= 0,000) ainsi qu'une interaction significative de la saison et de type du sol (F=5,81, p< 0,007) sur le taux de phosphore. Un effet significatif aussi est enregistré de type du sol sur le taux d'azote (F=16,68, p= 0,0001), sur la teneur en magnésium (p< 0,0000) et le taux du sable (p< 0,0000) ainsi qu'une interaction positive de type du sol et de la saison ; (F=10,41, p=0,001) pour la matière organique. Ce qui laisse suggérer que l'*A. mearnsii* induit une modification au niveau des propriétés physicochimiques au niveau du sol de PNEK. Par ailleurs, aucune signification n'a

été observé entre la saison du prélèvement, ni entre le type du sol et les autres paramètres mesurés ; ($F=0,79$, $p<=0,517$) pour le potassium, ($F=2,95$, $p=0,095$) pour la conductivité, ($F=0,27$, $p<=0,834$) pour le taux du limon et, ($F=0,04$, $p<=0,989$) pour le taux d'argile.
(Tab.9)

Tableau 9: Relation entre les paramètres physicochimiques saisonnières, la saison de prélèvement et les sites d'étude S₁ et S₂

Paramètres de mesurés	Saisons				Signifiante	Sites		Signifiante	Interaction
	A	H	P	E		1	2		'site x saisons'
	K (mg/l)	0,5 a	0,3 a	0,5 a		0,4 a	P≤0,517 NS		0,6 a
Na (mg/l)	0,7 a	0,5 a	0,4 a	0,7 a	P≤0,225 NS	0,2 b	1,0 a	P≤0,000 TS	P≤0,021 S
Mg (mg/l)	1,8 ab	1,3 b	1,8 ab	1,8a	P≤0,001 TS	2,3 a	1,3 b	P≤0,000 TS	P≤0,071 NS
P (g)	26,6 b	32,1 ab	36,5 a	30,0 ab	P≤0,007 S	27,3 b	35,3 a	P≤0,000 TS	P≤0,007 S
Ca (mg/l)	21,7 a	22,7 a	24,6 a	24,1 a	P≤0,521 NS	23,6 a	22,9 a	P≤0,644 NS	P≤0,453 NS
N (%)	0,3 a	0,2 a	0,3 a	0,3 a	P≤0,171 NS	0,2 b	0,3 a	P≤0,001 TS	P≤0,008 S
pH	5,6 c	5,9 b	5,8 bc	6,3 a	P≤0,000 TS	5,9 a	5,9 a	P≤0,583 NS	P≤0,000 THS
Cond (ms/cm)	29,7 a	23,9 a	20,6 a	18,7 a	P≤0,095 NS	25,9 a	20,6 a	P≤0,104 NS	P≤0,071 NS
MO (%)	3,8 ab	3,1 ab	3 b	4,1 a	P≤0,023 S	3,6 a	3,4 a	P≤0,673 NS	P≤0,001 S
Sable(%)	49,3 a	50,5 a	50,3 a	50 a	P≤0,355 NS	39,6b	60,5 a	P≤0,000 TS	P≤0,534 NS
Limon (%)	34 a	33,2 a	33,3 a	33,50a	P≤0,843 NS	35,3 a	31,7 b	P≤0,000 TS	P≤0,898 NS
Argile (%)	16,7 a	16,3 a	16,3 a	16,5 a	P≤0,989	25,1 a	7,8 b	P≤0,000TS	P≤0,786 NS

Les lettres différentes dans la même ligne indiquent des différences significatives entre les différents traitements. Selon le test Tukey HSD (P<0.05) TR : très hautement significatif. S : significatif. NS : non significatif. Automne (A), Hiver (H), Printemps (P), Eté (E), Teneur en potassium (K), Na (Sodium), teneur en magnésium (Mg) Teneur en phosphore total (P), Calcium (Ca), Teneur en Azote total (N), Potentiel hydrique (pH_{eau}), Conductivité électrique (Cond), Matière organique (MO).

1.2 Estimation du potentiel mycorhizogène

1.2.1 Potentiel Infectieux mycorhizogène (PIM₅₀)

Les résultats de l'estimation saisonnière du potentiel mycorhizogène sont illustrés dans le Tableau 8 et la figure 25.

Tableau 10: Potentiel infectieux mycorhizogène (PIM₅₀) de S₁ et S₂

Saisons Site d'étude	R ²		PIM ₅₀	
	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂
Automne	0,9289	0,4839	3,01	13,49
Hiver	0,4839	0,8712	13,49	5,30
Printemps	0,4923	0,7053	185,80	1,81
Été	0,6821	0,8450	5,34	0,64

Le potentiel infectieux mycorhizogène est important dans les sols prélevés sous acacia (très fort en été, fort au printemps, élevé en hiver et moins fort en automne) et très faible sous les sols sous chêne prélevés durant les quatre saions (**Tab.10**).

En été le PIM₅₀ le plus faible et 0,64 pour le S₂, c'est-à-dire que son potentiel infectieux mycorhizogène (PIM) est plus élevé (fort) (**Tab.10**) , suivi de 1,81 (en printemps), 5,30 (en hiver) et le plus élevé en automne (13,49). Le coefficient de corrélation (R₂) qui représente le pourcentage de plants mycorhizés en fonction du logarithme népérien de la dilution, est à 0,84 (en été), 0,87 (En hiver) ,0,70 (en printemps). Ce qui indique que plus la quantité de sol (non désinfecté) augmente, plus le pourcentage de plants mycorhizés est élevé. Quant au S₁ a marqué le faible PIM₅₀ en automne 3,01 (R₂= 0,92) ; 13,49 en hiver (R₂=0,48) suivi par la valeur de 5,34 en été (R₂=0,68) . La plus élevée valeur a été enregistré en printemps 185,80 (R₂=0,49) (**Fig.27**). Donc il faut de plus 100g du sol sous chêne non stérilisé prélevé au printemps cette quantité est supérieur a la quantité du sol testé , soit 100g , cela signifie qu'il n y 'a pas assez de propagules de champignons micorhiziens du sol prélevé pour obtenir 50% des plantules mycorhiziennes et que l'établissement de la colonisation dans le S₁ nécessite presque huit fois plus d'inoculum que dans le S₂.

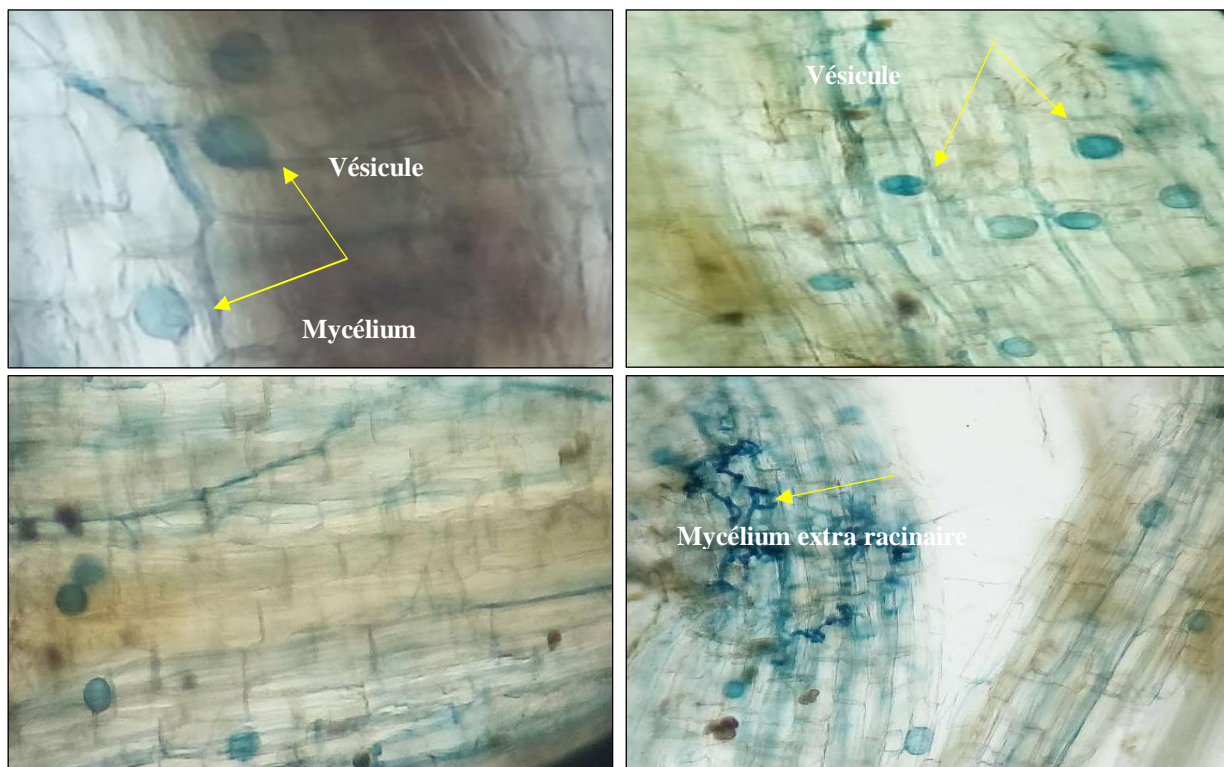


Figure 26: Racines mycorhizées observées au microscope optique (400x)

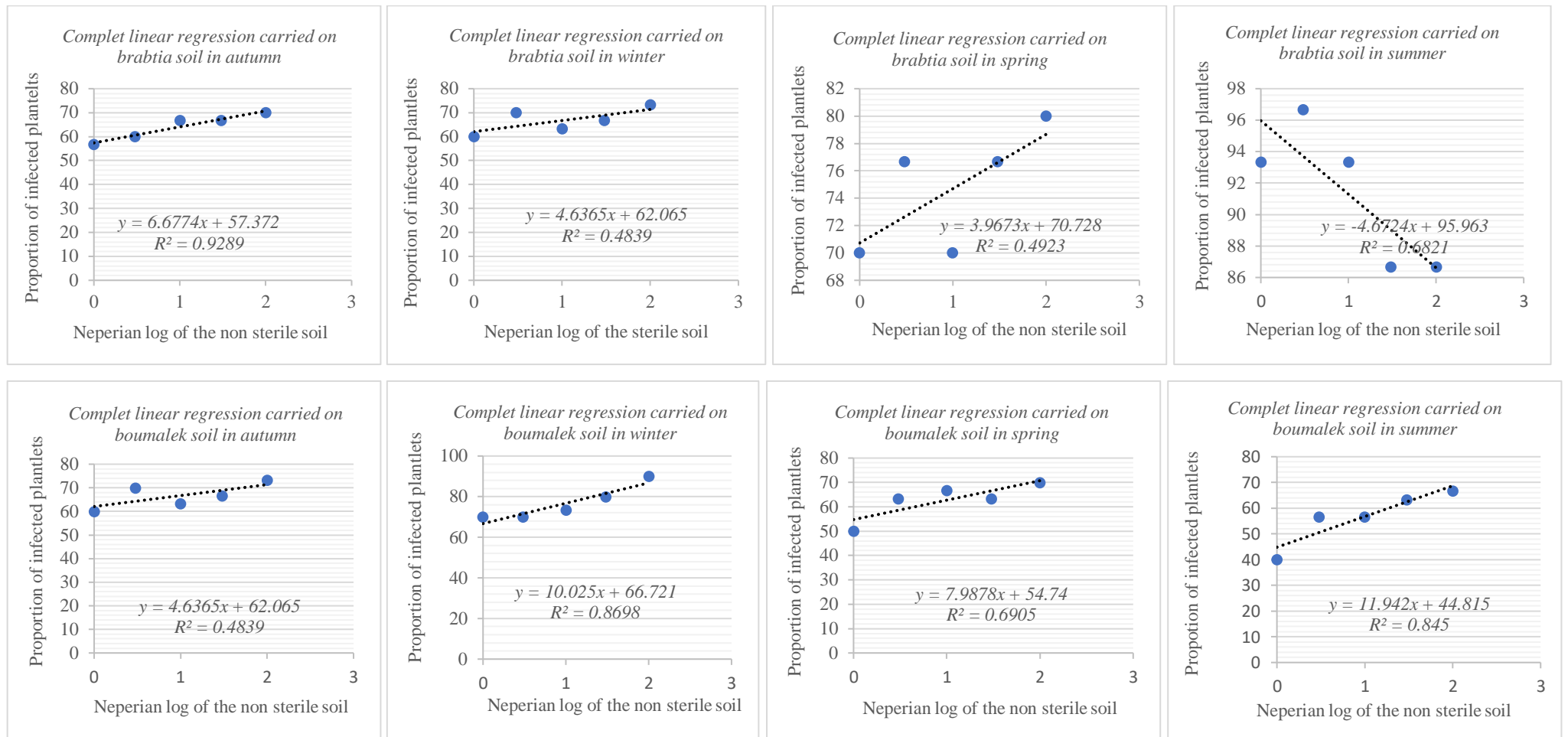


Figure 27: Régressions linéaires des deux sites d'étude réalisé durant les quatre saisons

1.2.2 Prospection des spores

Le nombre de spores identifiés selon les critères mentionnés précédemment vari d'un site à un autre. Au total, huit morphotypes ont été triés avec cependant une différence entre les deux sols d'étude a été noté (**fig. 29**). Le nombre le plus élevé des spores isolées (575 spores par 100 g de sol humide) a été enregistré dans le site 2, cependant le site1 a été rencontré avec 235 spores par 100 de sol humide (**Tab.11**).

L'abondance relative des différents types de spores rencontrés dans les sols d'étude est présentée respectivement dans le tableau (**Tab.12**). Les spores jaunes (MP1) sont les plus abondantes dans les deux sols d'étude avec 27,23 % et 25,78 %, respectivement pour le S₁ et le S₂. Suivi des (MP3) couleur marron foncé avec S₁ (29,36%) et S₂ (19,33%), puis (MP4) marron clair (10,63% et 19,68 %), (MP2) noire (4,68% et 13,06%) (MP5) Blanc ornementé (11,48% et 5,40%) et (MP6) transparent (16,17% et 4,52%). La densité du (MP7) des spores jaune pâle restent très faible (moins de 1%) dans le S₁ et de 6,09% dans le S₂ quant au (MP8) de couleur verte est présent uniquement en été dans le site envahi. On observe en général une augmentation du nombre de spores en présence d'*A. mearnsii*, il est très significatif par rapport au type du sol

Tableau 11: Dénombrement des spores en fonction de la couleur et la taille (50 à 250 µm) dans les sites d'études S₁ et S₂

	<i>Saisons</i>		<i>Morphotypes des spores</i>															
			<i>MP1</i>		<i>MP2</i>		<i>MP3</i>		<i>MP4</i>		<i>MP5</i>		<i>MP6</i>		<i>MP7</i>		<i>MP8</i>	
	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂		
Automne	15	37	2	12	10	40	7	30	8	6	11	8	0	18	0	0		
Hiver	11	25	1	16	6	28	4	20	4	5	8	5	0	14	0	0		
Printemps	13	30	4	18	8	31	6	24	6	12	10	4	0	16	0	0		
Eté	25	56	4	29	45	12	9	39	9	8	9	9	1	22	0	1		
T	64	148	11	75	69	111	25	113	27	31	38	26	01	70	0	1		
TS	S₁=235				S₂=575													

S₁= site naturel, S₂= site envahi, A= automne, H=hiver=printemps, E=été, MP1=spores jaunes, MP2=spores noires, MP3=spores marron foncé, MP4=spores marron clair, MP5=spores blanches ornementés, MP6=spores transparentes, MP7=spores jaunes pale, MP8=spores vertes, T= nombre total de chaque morphotype par année (durant les quatre saisons) . TS=nombre de spores total par année (durant les quatre saisons)

Tableau 12: Abondance relative (%) des deux sites d'étude S₁ et S₂

Abondance relative des spores (%)																
Saisons	MP1		MP2		MP3		MP4		MP5		MP6		MP7		MP8	
	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂
Automne	28,36	24,34	3,77	7,89	18,86	26,31	13,2	19,73	15,09	3,49	20,75	5,26	0	11,84	0	0
Hiver	32,35	22,12	2,94	14,15	17,64	24,77	11,76	17,69	11,76	4,42	23,52	4,42	0	12,38	0	0
Printemps	27,65	22,22	8,51	13,33	17,02	22,96	12,76	17,77	12,76	8,88	21,27	2,96	0	11,85	0	0
Été	41,66	56	6,66	29	20	45	15	39	15	8	15	9	1,60	22	0	1
ART	27,23	25,78	4,68	13,06	29,36	19,33	10,63	19,68	11,48	5,40	16,17	4,52	0,42	6,09	0	1

MP1=spores jaunes, MP2=spores noires, MP3=spores marron foncé, MP4=spores marron clair, MP5=spores blanches ornementés, MP6=spores transparentes, MP7=spores jaunes pale, MP8=spores vertes.

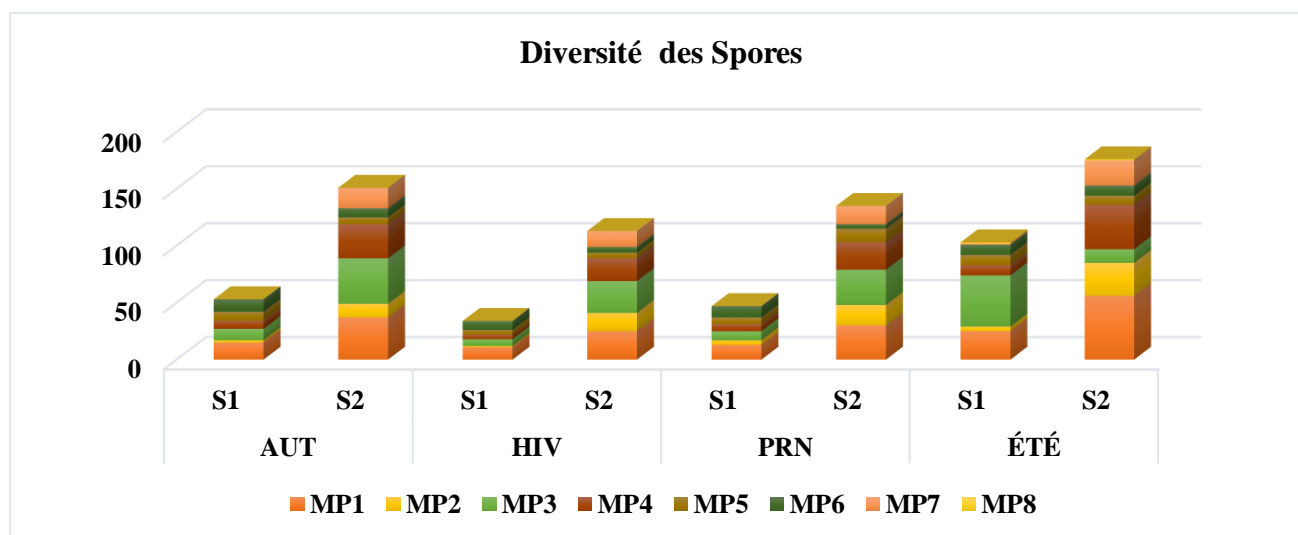


Figure 28: Diversité des spores des deux sites d'étude S₁ et S₂ durant les quatre saisons

1.2.3 Mesure de la diversité sporale

En total 610 spores, ont été isolées à partir des sols étudiés, le sol envahi a enregistré une densité soprale (**575 / 100g du sol humide**) supérieure à celle du site non envahi (**235 / 100g du sol humide**). La richesse spécifique S malgré qu'elle est faible dans les deux site, elle était plus importante dans le S₂ (8 espèces) que dans le S₁ (7 espèces) (**fig. 28 ; Tab.13**) .

Selon l'indice de Shannon H' dont les valeurs sont supérieures à 1 ; oscille entre ; 1,66 dans le S₁ et 1,81 dans le S₂, la diversité des espèces est significativement plus importante dans le site

envahi ($p= 0.00039$). Selon l'indice de dominance de Simpson qui se rapproche de 0 avec 0,21 Pour le S₁ et 0,17 pour le S₂ ; la diversité dans les deux sites est très hétérogène, il n'existe pas de dominance d'un morphotype particulier. L'indice d'équitabilité de Simpson confirme l'hétérogénéité des espèces. Cette hétérogénéité est significativement supérieure en présence d'invasion ($p=0.0071$). L'indice d'équitabilité de Pielou (J), indique que toutes les espèces sont réparties d'une façon homogène et ayant le même effectif par site (**Tab.14**).

En effet, le site sous d'envahissement par l'A. *mearnsii*, est caractérisée par un taux mycorhizien le plus élevé, une bonne nutrition azotée ainsi qu'une teneur importante en matière organique le sol est assez riche, et que c'est une espèce fortement endomycorhizogène (Boudiaf et al, 2014) cela explique sa richesse et sa densité sporale élevée.

Tableau 13: Mesure des indices de la diversité écologique par saison

Saison /Sol	Richesse spécifique (S)		Densité spécifique		Indice de Dominance (D)		Indice de Simpson 1-D		Indice de Shannon (H')		Equitabilité (J)	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
Automne	6	7	53	151	0,20	0.19	0,79	0.80	1.67	1.75	0,90	0.92
Hiver	6	7	34	113	0,22	0.18	0,78	0.81	1.61	1.79	0,96	0.93
Printemps	6	7	47	135	0,19	0.17	0,80	0.82	1.72	1.82	0,78	0.84
Eté	7	8	102	176	0,28	0.20	0,72	0.79	1.52	1.76	0,93	0.90

Tableau 14: Mesure des indices de la diversité écologique globale par site

	Richesse spécifique	Densité spécifique	Indice de Dominance	Indice de Simpson 1-D	Indice de Shannon	Equitabilité J
S1	7	236	0.21	0.78	1.66	0.8554
S2	8	575	0.17	0.82	1.81	0.8739

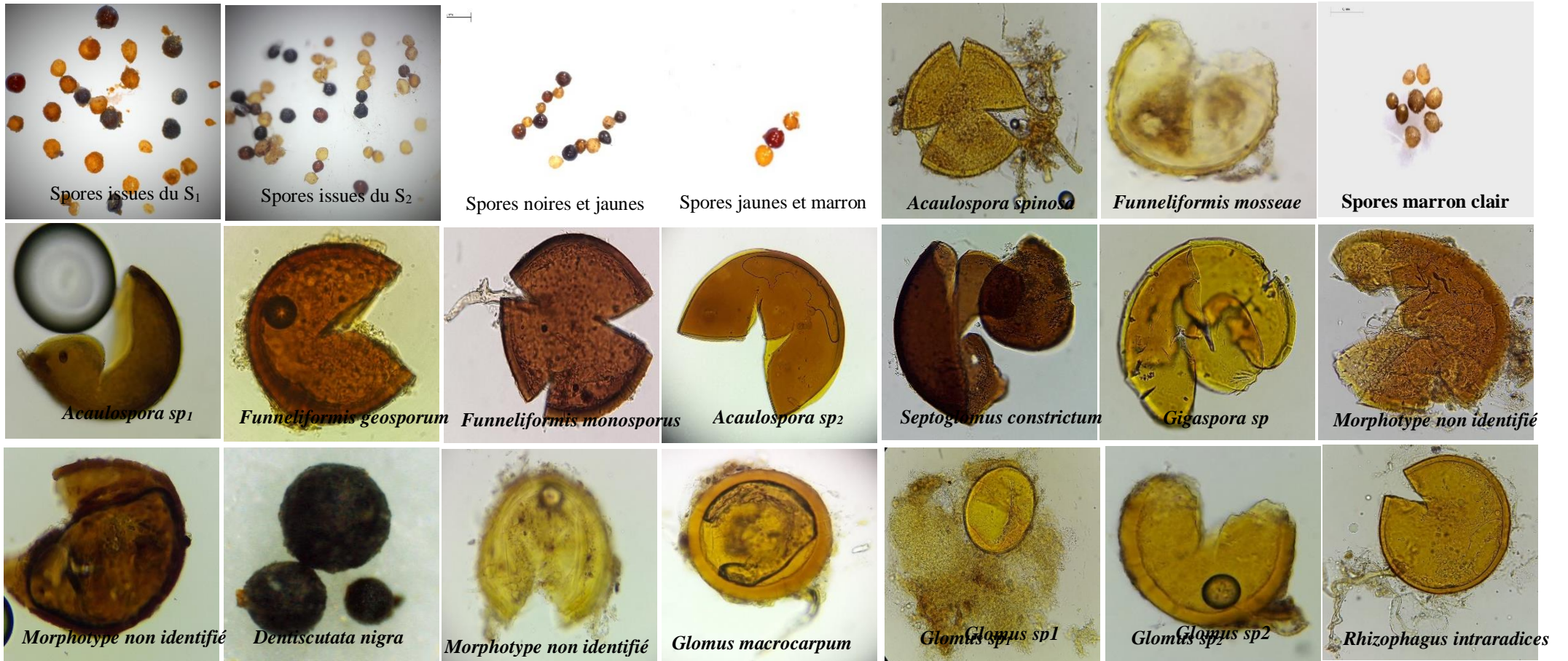


Figure 29: Spores des CMA issus des deux sites S₁ et S₂

1.2.4 Corrélation entre le nombre de spores total PIM₅₀ et les paramètres physicochimiques étudiés

L'interaction entre les paramètres physicochimiques des deux sites d'étude, le nombre de spores et le PIM₅₀ ont été estimés par le test de Pearson (**Fig.30**) est présentée dans la figure 30. Nous avons noté des corrélations positives : le nombre de spores est fortement corrélé avec la texture sableuse (0,89), le sodium (0,90) et le PIM₅₀ (0,71). Cependant, il est moyennement corrélé avec l'azote (0,59) et le phosphore (0,43). Le nombre de spores est négativement corrélé avec le taux de l'argile (-0,61) et le limon (-0,81). Nous avons noté également, une bonne corrélation du PIM₅₀ avec l'azote (0,66), la MO (0,63), phosphore (0,53). Il est important de signaler qu'il existe une forte corrélation entre la MO et l'azote (0,

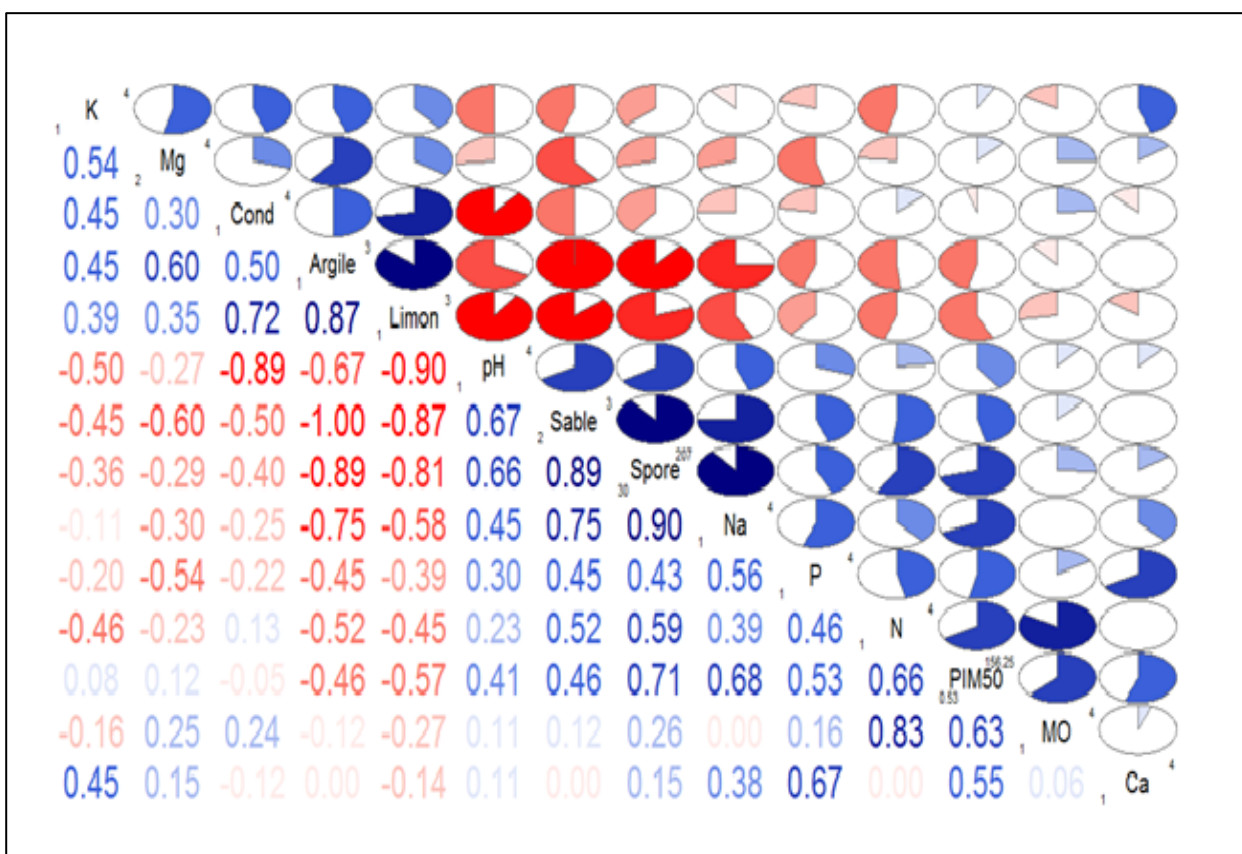


Figure 30: Corrélation de Pearson entre le nombre total de spores, le PIM₅₀ et les paramètres physicochimiques (83).

Les nombres en couleur bleu foncé et le rouge foncé sont des coefficients de corrélation. Le **bleu foncé** : le taux des deux paramètres augmente. Le **rouge foncé** : un des paramètres augmente et l'autre diminue

Afin d'analyser l'interaction entre les facteurs du milieu (facteurs édaphiques et variation saisonnière) sur la diversité sporale, nous avons effectué une analyse canonique des correspondances de la diversité sporale et environnement (saisons, sites et propriétés des sols) (**Fig.31**). Le plan formé par deux axes à un taux d'inertie total de 50 %. Il met en évidence la distribution des morphotypes des spores de CMA et le potentiel mycorhizogène en fonction des propriétés physicochimiques des sols prélevés des deux sites d'étude durant quatre

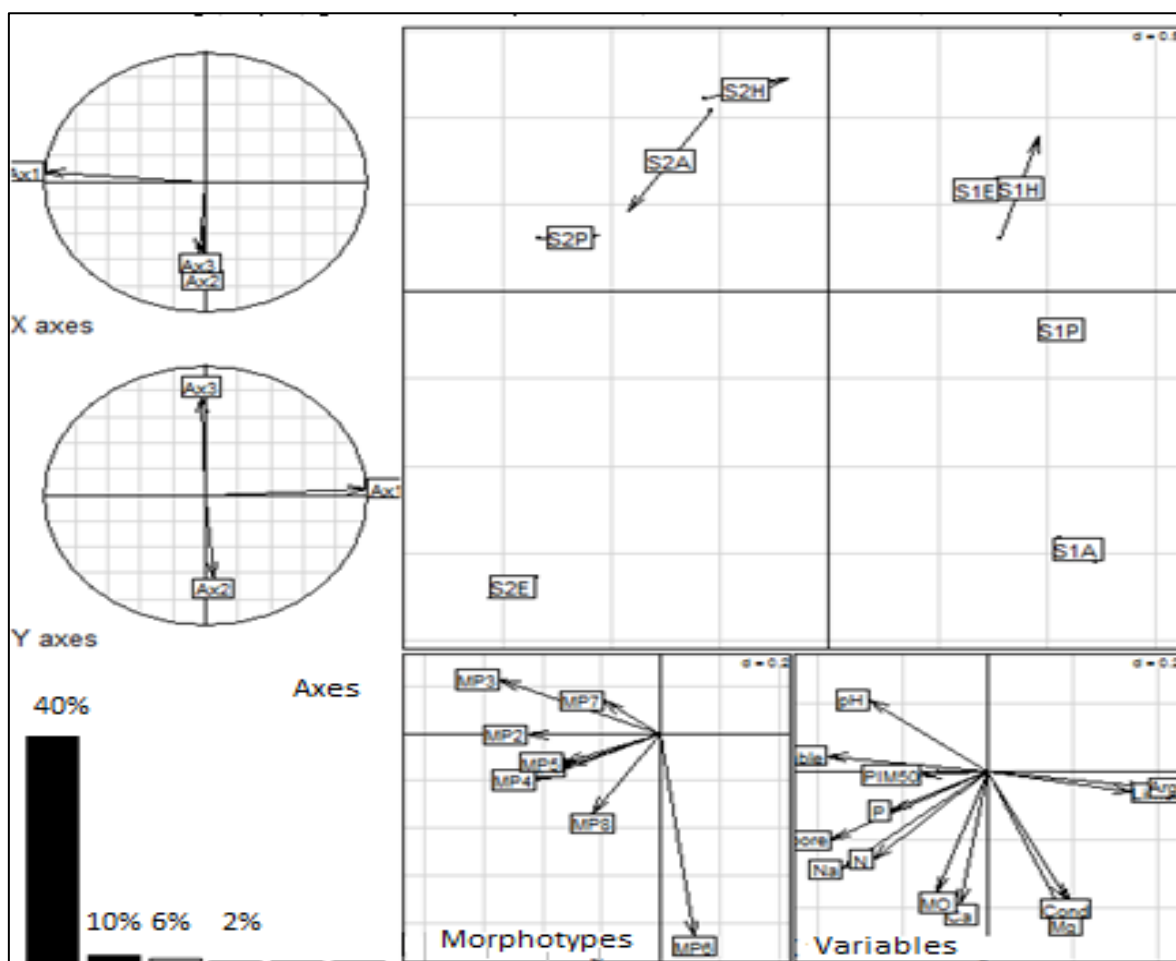


Figure 31: Carte de l'Analyse Canonique des Correspondances (ACC) des 2 sites x 4 stations x 20 variables environnementales

saisons.

S1= site naturel, S2= site envahi, A= automne, H=hiver=printemps, E=été, MP1=spores jaunes, MP2=spores noires, MP3=spores marron foncé, MP4=spores marron clair, MP5=spores blanches ornementés, MP6=spores transparentes, MP7=spores jaunes pale, MP8=spores vertes.

Le long de l'axe 1, les stations s'organisent selon un gradient d'envahissement, en allant du site envahi (côté négatif) vers le site naturel (côté positif). Cette analyse dégage 3 groupements qui représentent la majorité de l'information. Le premier le plus représentatif caractérisé par les regroupements des variables édaphiques (P, N, MO, Ca, Na,) et la moitié des morphotypes ainsi que le PIM₅₀ autour du sol S₂ en saison estivale. Les morphotypes dominants dans ce groupe sont le MP₂, MP₄, MP₅ et MP₈. Dans la partie positive de l'axe 1 apparait le deuxième groupement, par les variables (Cond, Mg, argile et limon) qui se réunissent autour du sol S₁ prélevé en automne et en printemps et caractérisé par la présence d'un seul morphotype MP₆. Quant au troisième groupement, il montre le regroupement du pH et sable au sol envahi prélevé en automne, en hiver et en printemps, il est dominé par le MP₃ et MP₇. Les variables PIM₅₀, majorité des spores, P, N, MO, sable et pH sont positivement corrélés à l'axe 2.

DISCUSSION

L'invasion par des espèces végétales est devenue une préoccupation mondiale, aucun pays n'est à l'abri de ce problème. Vila et al. (2015) ont signalé que les espèces invasives présentent un véritable danger pour la biodiversité via la réduction de la richesse spécifique. En effet certaines espèces exotiques parviennent à se naturaliser dans la zone d'introduction et peuvent devenir envahissantes (Philips et al. 2006). Lorsqu'elles sont introduites dans un milieu, elles arrivent à le coloniser grâce à des potentiels particuliers sur lesquels elles s'appuient. Ces potentiels peuvent être endogène liés à la plante elle-même (gnome) et les conditions environnementales qui représentent les facteurs exogènes (Dandjlessa, 2022).

Les résultats obtenus dans cette partie montrent que la plante exotique *A. mearnsii* possède dans le PNEK des conditions environnementales parfaitement appropriées pour son bon développement dans le milieu envahi. Certaines études ont préalablement montré (Hanxia yu et al ; 2020) que les plantes modifient les conditions abiotiques du sol pour augmenter leur compétitivité avec d'autres espèces. Les travaux d'Ehrenfeld, (2003) et Wolfe et al. (2005), ont démontré que le remplacement de la flore native par des espèces exotiques invasives s'accompagne de profondes modifications de la production végétale. Hami et al. 2022 ont trouvé que les caractéristiques chimiques et les communautés mycorhiziennes des sols envahis par l'*Acacia melanoxylon* ont été fortement altérées. Ils ont enregistré une diminution de pH, des éléments nutritifs, de la matière organique, taux de colonisation ectomycorhizienne, taux de colonisation mycorhiziennes arbusculaire et de l'abondance et la biodiversité des CMA autochtones associées à la rhizosphère de chêne-liège et de ciste.

1.1 Analyses physico-chimiques du sol

Nos résultats d'analyses physicochimiques des sols envahi et non envahi indiquent que les sols sont acides pendant l'hiver et légèrement acide en été. Cette acidité peut s'expliquer par le lessivage des composés issus de la décomposition biochimique, de la litière et des exsudats racinaire plantes durant la saison humide.

La teneur en azote total, en phosphore total sont significativement affectés pas l'envahissement, la présence d'*A. mearnsii* enrichie le sol en azote et phosphore. Il est connu que la disponibilité du phosphore dans le sol dépend notamment du pH et de la texture donc, cette acidité est normale pour un substrat sablonneux filtrant, affecte directement le degré d'acidité du sol en présence, à la suite du lessivage des cations basiques échangeables, et leur

remplacement par les ions acidifiant (Brady et al. 2008). Ces résultats contredit les travaux de Kourtev et al. (1998), qui ont noté une remontée du pH dans les sols prélevés sous des plantes invasives par rapport aux sols colonisés par les espèces natives. Ces auteurs expliquent l'augmentation du pH, d'une part, est dû à un prélèvement important par la plante invasive des nitrates comme source d'azote et libérant ainsi des ions hydroxydes. D'autre part, les concentrations élevées en cations basiques dans la litière des plantes exotiques retournant au sol. En retour, des pH élevés dans les sols favoriseraient la nitrification et la disponibilité de nitrates, susceptible de stimuler la remontée du pH (Kourtev et al. 1999 ; 2003).

Le taux élevé de la matière organique dans le site envahi par rapport au S₁ est expliqué probablement par la quantité des retombées de litière produites par l'acacia (Belsky et al. 1993). L'examen des retombés de la litière d'*A. mearnsii* dans le site envahi ont indiqué une masse moyenne de (2123,9 g/m²) (Belhadi, 2018). Cette masse est composée principalement de gousses d'*A. mearnsii*, de feuilles d'*E. Camaldelensis*, feuilles de *Q. suber* et des morceaux de rameaux et des tiges en faible proportions, la portion la plus importante en masse était celle de la partie en décomposition (P.E.D) qui représente 50% de la masse totale de la litière et ; elle était constituée principalement des graines et des folioles d'*A. mearnsii* avec la matière organique en début de décomposition. Les travaux de Allison et Vitousek, 2004 ont montré que l'invasion végétale a augmenté le taux de décomposition de la litière, ce qui est peut accélérer les processus de cycle des éléments nutritifs de l'écosystème (Belhadi, 2018).

Des travaux similaires ont été publiés sur l'espèce *A. Sénégal* (El Tahir et al. 2009) et d'autres espèces d'arbres pérennes par (Kumar et al. 1998 ; Deans et al. 1999) montrent l'effet positif de l'arbre *A. Sénégal* sur le sol grâce à la litière produite par la plus forte concentration de microorganismes, plus les sols sont riches en litières (retombés des arbres : feuilles, gousses) plus la fertilité du sol augmente.

Les taux de N et P ont montré des valeurs significativement plus élevées dans le S₂ par rapport au S₁. Ces résultats peuvent être dus à la fixation biologique de l'azote, à la décomposition des résidus d'arbres et à la poussière atmosphérique emprisonnée par l'arbre (El Tahir et al. 2009). Un résultat similaire a été obtenu par (Dommergues., 1999) a montré l'utilité des acacias dans l'amélioration du statut de l'azote du sol, par le renouvellement des racines et surtout par les effets des litières en modifiant profondément le fonctionnement des cycles biogéochimiques des écosystèmes hôtes (Ehrenfeld., 2003). Des auteurs suggèrent que les acacias sont des fixateurs d'azote efficaces qui produisent des quantités très importantes

feuilles fraîches contenant 245-255 kg d'azote et assurent l'enrichissement du sol en azote organique la décomposition de leurs racines et leurs différentes parties, dans la litière, libère de l'azote qui est restitué dans le sol (Campa et al. 2000). En effet, les Rhizobium dominant l'introduction et la répartition de l'azote dans la biosphère et tendent à compenser les pertes d'azote par dénitrification grâce à leur capacité de fixer l'azote atmosphérique et le transformer en une forme directement assimilable par la plante. Elles assurent la fixation de la plus grande partie d'azote fixé par les associations symbiotiques, Evans, H. J., et Barber, L. 1977. Ce qui permet aux plantes hôtes de s'affranchir des contraintes de la fertilisation azotée. Certes, il existe de plusieurs d'autres causes qui peuvent affecter et modifier des cycles C et N à l'invasion des plantes. Nous avons prouvé statiquement que les taux de N, P et la MO était positivement corrélés avec la saison de prélèvement. Ces résultats sont en adéquation avec ceux de Hughes et al., (2006) et Christian et al., (1999) qui ont montré que, lorsque *Acacia cristatum* a envahi le nord des Grandes Plaines, la disponibilité de N du sol n'était pas différente entre les écosystèmes envahis et indigènes échantillonnés en juin, mais significativement plus faible dans les écosystèmes envahis que dans les écosystèmes indigènes échantillonnés en août et en octobre, paradoxalement (Jackson et al.,2002) ont trouvé une relation négative claire entre les précipitations et le changement du C organique du sol lorsque les prairies étaient envahies par des espèces ligneuses, avec un gain de C dans les sites secs et une perte de C dans les sites humides. En revanche, d'autres études (dosage de l'azote, du phosphore et de cations alcalinisant dans la litière des espèces natives et exotiques, mesure des taux de nitrification et de la disponibilité en nitrates dans les sols) sont à envisager afin de nous renseigner davantage sur les mécanismes induisant ces modifications dans les propriétés chimiques des sols après invasion.

Les CMA interviennent également et de manière très importante dans les cycles biogéochimiques des éléments majeurs et des oligoéléments sachant que l'acacia est un arbre à double symbiose. Enwall et al. (2007) ont montrés que les CMA sont impliqués dans les différentes fonctions du sol entre les différents compartiments qui structurent le système sol-plante-atmosphère. Selon (Parniske., 2008) la présence de mycorhizes permet l'augmentation de la minéralisation du phosphore organique dans le sol.

Nos résultats rejoignent ceux de Zhang et al ; (2019) qui ont trouvé que les acacias ont les capacités de puiser dans les ressources du sol par leur système racinaire développé d'une part, et d'améliorer la fertilité du sol, en assurant le recyclage et la redistribution de l'azote et des autres éléments minéraux à partir des couches profondes vers la surface du sol, lors de la

décomposition de leur litière et en affectent le biote du sol par les apports de litière et de rhizosphère. Ils ont montré que les plantes envahissantes augmentaient la biomasse bactérienne de 16 %, l'abondance des détritivores de 119 % et l'abondance des microbivores et l'abondance des prédateurs de 52 %, mais ont augmenté la biomasse des champignons MA de 36 %. De plus, les efflux de CO₂, le taux de minéralisation de N et les activités enzymatiques étaient tous plus élevés dans les sols de rhizosphère envahissants que dans les sols natifs.

1.4.2 Potentiel mycorhizogène du sol

D'après nos résultats le sol envahi est un sol fortement mycorhizé que le S₁, donc plus le sol présente un nombre de spore élevé plus il est riche en propagules mycorhizienne et a un PIM important. Le nombre réduit des spores dans le sol non envahi est probablement dû à la présence du chêne-liège, considéré comme un arbre ectomycorhizien (ECM) ayant une faible affinité à la mycorhization par des CMA, ceci corrobore le résultat de Boudiaf (2014) qui a trouvé que les racines de *Quercus suber* sont très faiblement mycorhizées par les CMA (intensité de mycorhization 0.18 et 05.41%). Ces résultats sont en adéquation avec les travaux de Philips et al., (1970) et Daft et al., (1975), cités par (Giovannetti et al., 1988) qui ont trouvé que plus le taux de colonisation mycorhizienne était important plus la production de spores l'était également. Les travaux de Ksentini, 2017 ont révélé que le sol des deux stations sous chêne liège dans le PNEK a un pouvoir mycorhizogène moyen et une diversité fongique faible. La texture des sols est un paramètre intervenant au sein de notre recherche pouvant influencer le taux de mycorhization. En effet, nos résultats ont montré que le grand nombre des spores correspond au S₂ qui un sol sablonneux. Une étude menée par Priou, (2013) sur des substrats biofertilisants à base de mycorhizes, a montré que le substrat sableux avait obtenu le meilleur taux de spores final dans les conditions expérimentales, il a lié cette qualité à une meilleure dispersion de l'eau dans la texture sableuse. Dans des travaux sur la recherche des méthodes les plus performante pour l'estimation de PIM dans les subéraies de PNEK réalisés par moi-même et Aliout en 2019, nous avons trouvé que quel que soit la méthode employée pour l'estimation, le sol d'acacia se révèle le plus infectieux (PIM) et le plus riche en propagules (MPN) de CMA et qui possède le nombre le plus diversifié et l'élevé de spores. Quant à l'estimation de la densité bactérienne des rhizobiums (MPN *Rhizobium*) nous a montré une importante densité rhizobiale dans le sol de chêne-liège par rapport au sol d'acacia une plante légumineuse.

Nos observations sur des échantillons racinaires naturels d'*A. mearnsii* récoltés directement du site a révélé la présence de différentes structures endomycorhiziennes : des structures de

transport (des hyphes), de transfert (les arbuscules) et de stockage (les vésicules). Le taux de colonisation des racines d'*A. mearnsii* par les CMA dépasse les 80 %. Cette valeur est nettement importante, ceci confirme la dépendance de cette espèce vis-à-vis des CMA (Sahri et al.2019).

La masse sporale enregistrée dans le sol envahi de la forêt Boumalek et traduite par un taux très élevé de la mycorhization d'*A. mearnsii* qui pourrait être à l'origine de son installation rapide et sa prolifération dans la subéraie du PNEK. Richardson *et al.* (2000) a montré que les CMA pouvaient jouer un rôle direct ou indirect dans le succès des plantes invasives dans divers écosystèmes en facilitant l'établissement de ces plantes dans des conditions environnementales hostiles. Douuds et al,1993 Kurle et Pflieger, 1994 ; cités par Gosling et al., 2010). En outre, les champignons endomycorhizogènes arbusculaires se retrouvant chez plus de 90% des espèces végétales ont un effet favorable, notamment sur l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs, chez les plantes hôtes. D'où leur rôle important dans le fonctionnement et la stabilité de n'importe quel écosystème, surtout celui à faible niveau de dégradation dans lequel elles permettent non seulement l'acquisition des éléments nutritifs par l'hôte, mais aussi une redistribution des nutriments entre plusieurs plantes hôtes et entre les plantes hôtes et le sol hôte Bethlenfalvay, G. J., and R. G. Linderman 1992. Ce qui aide les plantes mycorhizées à résister notamment aux conditions désertiques et contribue considérablement à la productivité et la longévité d'écosystèmes aménagés.

1.2 Prospection des spores

Au cours de notre étude seuls cinq genres des structures caractéristiques de Glomeromycota ont pu être identifiés parmi les 8 morphotypes trouvés Glomus, Funniformis, Septoglomus, Acaulospora et Gigaspora. Trois genres (Glomus, Acaulospora et Gigaspora) ont déjà été observés par Bâ et al., 1996 en zone soudanienne du Burkina Faso sous des plantations d'*Acacia holosericea* et *Acacia mangium*. Ces résultats sont similaires à ceux de Ksentini (2018) qui a pu identifier que 4 genres avec une abondance du genre Glomus dans le site non envahi de Brabtia. Il a été démontré que les CMA appartenant à l'ordre des Glomerales sont les taxons les plus observés et représentent plus que 95% des champignons endomycorhiziens dans les écosystèmes du chêne-liège, avec la prédominance de l'espèce *Rhizophagus irregularis* anciennement appelée *G. intraradices* (Lumini et al., 2010). L'espèce *R. irregularis* est considérée comme une espèce cosmopolite, en raison de sa distribution écosystémique très ample et sa capacité à coloniser une large gamme d'hôtes (Van der

Heijden & Scheublin, 2007). Malgré la présence de quelques structures caractéristiques, l'identification détaillée de toutes les spores était difficile, l'absence de certaines structures nous n'a pas permis de distinguer les genres par rapport aux différentes parois constitutives, le nombre de morphotypes a probablement été surestimé, étant donné que deux morphotypes peuvent être identiques mais observés dans deux fractions différentes (50µm et 150 µm) sont considérés différents s'ils ont des tailles distinctes. Actuellement, la méthode la plus fiable utilisée pour l'identification des genres ou espèces de champignons MA est la biologie moléculaire par l'amplification et le séquençage de l'ADN ribosomal suivie par l'étude des relations phylogénétiques cela est indiqué par (Lanfranco et al. 2001). Cependant, les structures caractéristiques mentionnées précédemment sont pris en considération dans ces études moléculaires. Nos résultats semblent indiquer que la densité de spores n'est pas un bon indicateur de la mycorhization (Doubs et al. 1993, Kurle and Pflieger, 1994 ; cités par Gosling et al. 2010).

En ce qui concerne les mesures de la diversité écologiques des CMA dans les deux sites d'étude. Le S₂ possède une richesse et diversité spécifiques des spores de CMA plus importante que celui du S₁. Kennedy et al. (2002) ont démontré que l'augmentation de la biodiversité pourrait agir comme une barrière pour favoriser l'invasion et la résistance des plantes hôtes, aussi des travaux menés par (Barni et Siniscalco., 2000) ont trouvé que de nombreux facteurs peuvent influencer la distribution du CMA et la structure de la communauté, tels que les facteurs climatiques et édaphiques, l'espace et variation temporelle, végétation, spécificité d'hôte entre champignons et la plante hôte. Boudiaf et al. 2013 ont montré que l'*A. mearnsii* a eu un effet négatif sur la croissance du chêne-liège sur son cortège ectomycorhizien ainsi que sur l'activité fonctionnelle du sol, ceci est dit que l'acacia influence la structure des communautés microbiennes qui l'entourent.

1.3 Corrélations entre les caractéristiques physicochimiques du sol, le PIM₅₀ et le nombre de spores

Nous avons noté des corrélations positives entre les caractéristiques physicochimiques du sol (azote, phosphore, potassium et sable), le nombre de spores et le PIM₅₀. Les résultats que nous avons trouvés sont en adéquation avec ceux d'Azcon-Aguilar et al. (2003) qui ont montré que le nombre de spores de certaines espèces particulières était corrélé au PIM. Ceci indique la contribution des spores de certains CMA dans le PIM des sols et suppose aussi que les spores ne sont pas la principale source de mycorhization ou que d'autres facteurs y

interviennent. Winding et al. (2005) ont montré que le nombre de spores n'est pas significativement corrélé au potentiel mycorhizogène des sols. L'azote et la MO fortement corrélés aux PIM₅₀. En fait les éléments nutritifs issus des sources de matière organique tels que les résidus de récolte, le compost, le fumier peuvent stimuler la mycorhization (Panja et Chaudhuri, 2004 ; Celik et al, 2004 Gosling et al, 2005). Le carbone issu de la décomposition de la MO joue un rôle important dans l'établissement de la mycorhization comme source d'énergie pour les hyphes mycéliens. Les sols ayant des teneurs élevées en carbone total sont ceux qui ont un PIM et des taux de mycorhization élevés (Gosling et al. 2003).

**PARTIE 2 : ETUDE PHYTOCHIMIQUE ET POUVOIR ALLELOPATHIQUE D'A.
MEARNSII**

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

ETAT DE CONNAISSANCE SUR LE PHENOMENE

1.1 Définition

L'allélopathie représente une forme de guerre chimique entre les espèces pour concurrencer les ressources nutritionnelles (Bais et al. 2003). Ce phénomène est maintenant reconnu comme jouant un rôle important dans les différents aspects écologiques (Robles et al. 1999). C'est en 1930 que Hans Molisch propose pour la première fois d'utiliser le terme d'allélopathie pour décrire le type de relations interspécifiques faisant appel à des médiateurs chimiques. Le terme « allélochimiques » dérive du « allelochemicals » est également utilisé par le scientifique, il a été inventé par Whittaker et Feeny (1971) et employé pour la 1^{ère} fois par Chou et Waller en 1983. Depuis ce temps, le terme a été employé en littérature traitant des interactions chimiques interspécifiques entre les organismes. En 1984, Rice définit l'allélopathie comme « un effet positif ou négatif, direct ou indirect, d'un végétal-micro-organismes inclus- sur un autre par le biais de composés chimiques libérés dans l'environnement ». Cette définition prévaut aujourd'hui et indique bien que ce type d'interaction diffère du parasitisme et de la symbiose ainsi que de la compétition (Chiapusio et al. 1997).

1.2 Caractéristiques des substances allélochimiques et leurs impacts

Les plantes allélopathiques libèrent certains produits chimiques dans leur environnement qui sont disponibles dans la plupart des plantes en faible concentration (Kohli et al. 1998). La majorité de ces molécules sont des métabolites secondaires, c'est-à-dire des composés qui n'exercent pas de fonction directe au niveau des activités fondamentales de l'organisme végétale (croissance, développements, reproduction...) (Chiapusio et al. 1997). Ces métabolites secondaires (acides phénoliques, flavonoïdes, terpénoïdes et alcaloïdes) se retrouvent ainsi dans l'environnement au moyen de quatre principales voies : la volatilisation l'exsudation racinaire, la lixiviation des pluviollessivats, et la décomposition de la litière (Tukey, 1970, Chiapusio et al. 2002, Sanon et al., 2012), (**Fig.32**). Cependant, la teneur et l'activité de ces composés exsudés par les organes aériens et souterrains des végétaux sont influencés par plusieurs facteurs endogène et exogène. L'Age de la plante joue un rôle important dans la production de substances allélopathiques (Weston et al. 1989). La nature du sol influence négativement l'activité des composés allélopathique lorsqu'ils sont fixés par les

argiles ou par la matière organique. Un apport excessif de l'eau dilue les substances et diminue leur activité (Sonis et Vasistha, 1999). D'autres facteurs tels que les stress biotiques ou abiotiques favorisent (Sonis et Vasistha, 1999). D'autres facteurs tels que les stress biotiques ou abiotiques favorisent l'augmentation de la production des composés phytotoxiques (Rice, 1984 Fisher et al. 1990 ; Farkas et Kiraly, 1992 ; Bouton, 2005).

Les substances potentiellement allélopathiques étant présentes dans tous les tissus de plante, la décomposition de résidus végétaux entraîne leur libération dans le sol. Cependant, les impacts de ces substances ont été étudiés par nombreux chercheurs. En agriculture, on observe fréquemment des effets allélopathiques de résidus d'une culture sur le rendement de la culture suivante. Hedge et Miller (1990) ont ainsi rapporté des effets néfastes de résidus de luzerne (*Médicago sativa*) sur la germination et la croissance des propres semis. Il est aussi à noter que lors de la décomposition de certains résidus végétaux dans le sol, une partie peut se volatiliser et dès lors avoir un effet sur la germination et la croissance des plantules. C'est le cas par exemple des quinones issues de la décomposition des résidus de culture qui inhibent la germination du coton (Bradow, 1993). En milieu forestier, il a été observé que les extraits aqueux de litière de certains conifères (*Picea mariana*, *Pinus resinosa* et *Thuja occidentalis*) inhibent la germination et la croissance juvénile de diverses espèces colonisatrices des terres abandonnées par l'agriculture (Jobidon, 1986 ; Reigosa et al. 1996).

1.3 Les effets des substances allélopathiques (Mécanismes d'action)

Dans les interactions plantes-plantes, les substances allélochimiques ou chimio-allélopathiques sont généralement inhibiteurs de la croissance des racines, des tiges, des feuilles et de la croissance globale de la plante. Plusieurs composés sont des inhibiteurs de la germination (Friedman, 1995). Les effets visibles des substances allélopathiques sur les plantes (réduction de croissance, échec de germination des semences) ne sont que des effets secondaires des changements qui ont lieu à l'échelle cellulaire (Chiapusio et al, 1997). De ce fait, il est nécessaire de distinguer les effets allélopathiques primaires (site d'action cellulaire des molécules allélopathiques) (Chiapusio et al, 1997). Parmi les effets allélopathiques primaires nous sitons :

- Les mécanismes allélopathiques influencent les processus fonctionnels de la végétation, et peuvent modifier le cycle d'azote (Rice, 1987).

- La division et l'élongation cellulaire, phases essentielles pour le développement qui sont sensibles à la présence des composés allélopathiques (Muller, 1966).
- Des composés phénoliques peuvent être impliqués dans le contrôle de l'activité des hormones végétales (Blum, 2005).
- La synthèse ou le fonctionnement de plusieurs enzymes liées à la croissance sont aussi parfois perturbés (Chiapusio et al, 1997).

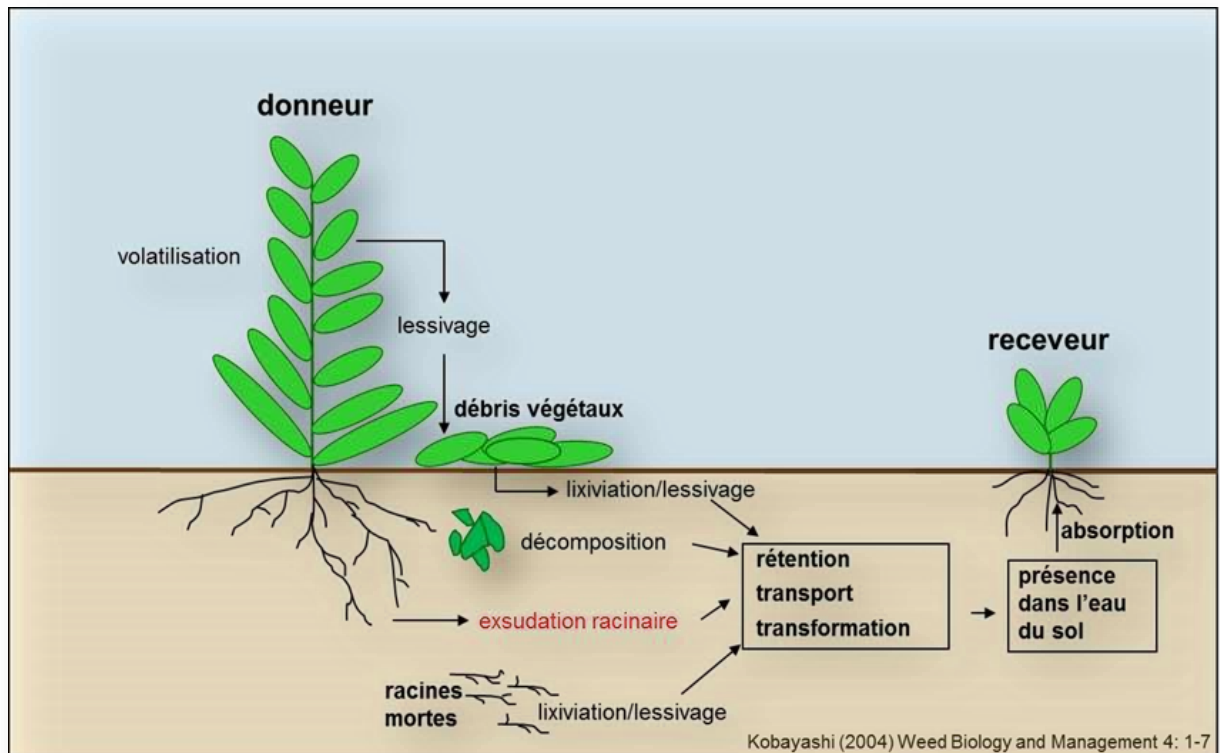


Figure 32: Voies possibles pour la libération des allélochimiques dans l'environnement par une plante donneuse selon (Kobayashi, 2004)

1.4 Plantes envahissantes et allélopathie

La compétition entre les plantes constitue l'un des principaux moyens susceptibles d'expliquer la variation spatiale et temporelle dans les communautés végétales. La plus grande partie de la compétition entre végétaux se déroule au niveau du sol (Donald, 1958 ; Wilson, 1988) . La production et la libération de composés allélopathiques jouent un rôle important dans la compétition pour les ressources environnementales ; dans l'armement chimique de défense des plantes contre leurs prédateurs et dans les interactions intra- et interspécifiques. De nombreuses plantes exotiques ont été signalées d'avoir la capacité de produire des composés allélopathiques ; ce qui expliquerait (en partie) l'expansion de nombreuses espèces exotiques dans les milieux d'introduction où certaines deviennent finalement invasives aboutissant à la

mise en place d'un peuplement monospécifique (Callaway et al, 2004 ; Sanon et al. 2009 ; Sanon et al. 2012).

COMPOSES PHENOLIQUES (METABOLITES SECONDAIRES)

1.1 Généralité sur les composés phénoliques

Les composés phénoliques forment le groupe des composés phytochimiques le plus important des plantes. Ils présentent près de 8000 molécules divisées en une dizaine de classes chimiques (Stalikas, 2007). Ce sont des métabolites secondaires avec un ou plusieurs cycles benzéniques avec un ou plusieurs groupes fonctionnels hydroxyle (Ignat et al. 2011). Ils sont formés le long de la voie phénylpropanoïde à partir de deux acides aminés (Phénylalanine et tyrosine dérivés de la voie shikimate (Macheix et al. 2005). Ces composés sont synthétisés par les plantes aussi bien au cours de leur développement normal que dans des conditions de stress (Balasundram et al. 2006). De plus, la teneur en composés phénoliques des plantes est très variable en fonction de nombreux paramètres génétiques, physiologiques et environnementaux (facteurs biotiques et abiotiques) (Faller et Fialho, 2010).

1.2 Classification et structure chimique

Les polyphénols sont classés selon la complexité du squelette (des simples composés en C6 aux formes hautement polymérisées), puis selon le degré d'hydroxylation, d'oxydation et de méthylation, et enfin ces molécules de base et autres molécules classées selon leur association avec des glucides, des lipides ou des protéines (Macheix et al. 2005). Les formes les plus simples ont des structures chimiques allant de simples acides phénoliques (C6-C1) ou (C6-C3) à des molécules condensées comme les flavonoïdes et les tanins (C15) (Tarascou et al. 2010). Ces molécules ont été classé en trois grandes classes intéressantes (**Fig.33**) : les acides phénoliques, les flavonoïdes et les tanins condensés (Ignat et al. 2011).

1.2.1 Les Acides Phénoliques

Les acides phénoliques sont la principale classe de composés phénoliques que l'on trouve principalement dans les aliments d'origine végétale. Ce sont des composés non-flavonoïdes (pas de squelette de flavone) et partagent une origine commune, l'acide aminé aromatique phénylalanine. Cet acide aminé est fabriqué à partir du produit final de la voie shikimate

Chorismate (Robbins, 2003). On en distingue deux sous classe : Les acides hydroxybenzoïques et les acides hydroxy cinnamiques (Balasundram et al., 2006 ; Macheix et al., 2005).

1.2.2 Les Flavonoïdes

Le nom de flavonoïde a plutôt été emprunté à flavus (Flavus=jaune) (Malešev et Kuntić, 2007). Ils constituent la majorité des composés phénoliques à faible poids moléculaire. En fait, plus de 4000 flavonoïdes ont été identifiés et peuvent être distribués dans tous les organes de la plante. Ces composés sont biosynthétisés à partir d'un précurseur commun, la phénylalanine par le cycle A issu de la voie acétate/acide malonique et les cycles B et C sont issus de la phénylalanine via la voie shikimate (Ignat et al. 2011). Les flavonoïdes se répartissent en plusieurs classes de molécules dont les plus importantes sont les flavones, les flavonols, les flavanones, les dihydroflavonols, les flavan-3-ols, les flavan-3,4-diols et les anthocyanes (Buer et al. 2010).

1.2.3 Les tanins

Les tanins tirent leur nom de leur effet tanneur, leur capacité à transformer la peau fraîche en un matériau anti-corrosion « le cuir ». Ce sont des molécules complexes avec des poids moléculaires élevés jusqu'à 20 000 Daltons (Khanbabaee et Ree, 2001). Ils peuvent précipiter les alcaloïdes et les protéines. Les tanins précipitent les glycoprotéines riches en proline dans la salive, perdant leurs propriétés lubrifiantes et donc leur goût astringent. Cette propriété est la défense de la plante contre les attaques d'herbivores (Khanbabaee et Ree, 2001). La biosynthèse de ces composées provient du métabolisme de l'acide gallique donnant deux produits finaux les gallotanins et les ellagitanins (Fogliani, 2002). Les tanins peuvent être classés en plusieurs groupes : Les tanins hydrolysables et les tanins condensés ou pro

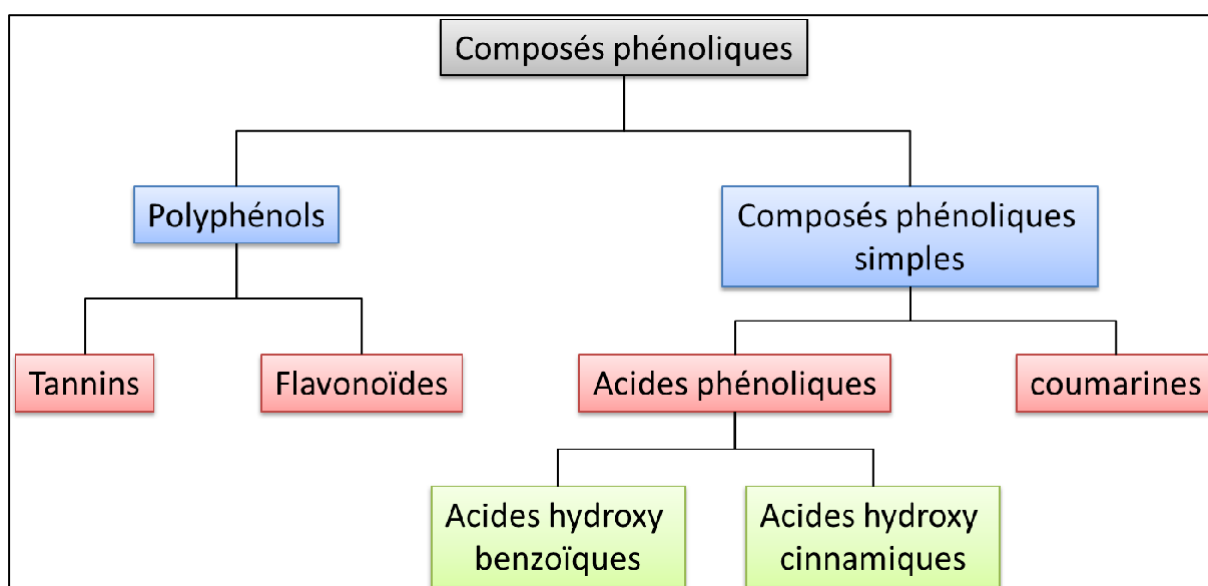


Figure 33: Classification simplifiées des composés phénoliques (Laguna Osca, 2019)

anthocyanidines (Chenyier et al., 2006).

1.3 Rôle des composés phénoliques dans la physiologie de la plante

Outre l'implication des composés phénoliques dans l'interaction des plantes avec leur environnement, les fonctions physiologiques des polyphénols chez les plantes sont encore assez imprécises. Cependant, l'implication de composés phénoliques spécifiques dans divers domaines de la physiologie végétale a été démontrée (Ignat et al. 2011). L'acide salicilique sont maintenant reconnus pour être impliqués dans la régulation de la floraison, de la formation des tubercules et de la thermogenèse, en plus d'être impliqués dans l'établissement de signaux après l'invasion de pathogènes dans les plantes (Ferrazzano et al. 2011 ; Macheix et al. 2006). De plus, la lignine contribue à la rigidification des parois cellulaires des conteneurs en bois en raison de la nature complexe de sa structure. Cela permet, d'une part, le passage de la sève brute à travers la plante et, d'autre part, la formation de structures rigides qui contribuent à la croissance verticale des arbres et arbustes (Macheix et al. 2006).

D'autres composés, tels que l'acide caféique, l'acide férulique et l'acide chlorogénique, sont connus comme inhibiteurs chimiques de la germination en raison de leurs actions inhibitrices sur l'embryogenèse (Heller et al. 1995). Les polyphénols sont aussi capables d'inhiber la floraison, la maturation des fruits, la rhizogénèses et la nutrition minérale (Heller et al. 1995, Taylor et Grotewold, 2005, Macheix et al. 2006, Jelali et al. 2010).

1.4 Extraction et caractérisation des composés phénoliques

L'extraction est une étape clé pour isoler et identifier les composés bioactifs (Bucič-Kojič et al. 2007). Elle est affectée par la nature chimique, le procédé d'extraction utilisé, l'échantillon, la taille des particules et la présence d'impuretés. En fait, les méthodes d'extraction les plus couramment utilisées sont la macération, l'hydrolyse, la thiolysse acide (Castañeda-Ovando et al. 2009).

1.4.1 Extraction liquide-liquide

L'extraction liquide-liquide est un processus de transfert de masse dans lequel une solution liquide contenant un ou plusieurs solutés est soigneusement mélangée à un liquide non miscible ou modérément miscible (solvant). Un solvant a une affinité ou une sélectivité préférentielle pour le composé d'intérêt. L'extraction peut être un outil très utile si un solvant

d'extraction approprié est choisi (Müller et al. 2008). L'extraction liquide-liquide est le plus couramment utilisée pour la séparation des composés phénoliques (Ignat et al. 2011).

Tableau 15: Rôle de quelques composés phénoliques dans la physiologie de la plante

Composés	Rôles	Références
Acide chlorogénique	<ul style="list-style-type: none"> • Inhibition chimique du développement embryonnaire • Différenciation des cellules impliquées dans le phénomène de rhizogenèse 	Heller et al. 1995
Acide férulique	<ul style="list-style-type: none"> • Inhibition chimique du développement embryonnaire 	Heller et al. 1995
Acide caféique	<ul style="list-style-type: none"> • Inhibition de la germination 	Heller et al. 1995
Acide salicylique	<ul style="list-style-type: none"> • Régulation de la floraison de la tubérisation et de la thermogenèse • Établissement de signaux après l'invasion de pathogènes dans les plantes 	Ferrazzano et al. 2011 ; Macheix et al. 2006
Quercétine	<ul style="list-style-type: none"> • Inhibition compétitive de la liaison de la PNA (Peptidic Nucleic Acids) 	Taylor et Grotewold, 2005
Lignines	<ul style="list-style-type: none"> • Rigidification des parois cellulaires des vaisseaux. 	Macheix et al. 2006
Phytotronics	<ul style="list-style-type: none"> • Régulation du transport polarisé • Phénomènes d'élongation, de photo- et de gravitropisme 	Macheix et al. 2006
Anthocyanes	<ul style="list-style-type: none"> • Maturation particulièrement chez les fruits charnus 	Tomasi et al. 2008
Flavonoïdes	<ul style="list-style-type: none"> • Croissance polaire • Inhibition de la minéralisation du citrate la réduction de l'acquisition enzymatique du phosphore par les microorganismes de la rhizosphère • Blocage le transport de l'auxine synthétique 	Tomasi et al. 2008
Flavone, Flovanols, Flavanone	<ul style="list-style-type: none"> • Coloration des plantes 	Gabor et al. 1988

1.4.2 Extraction solide-liquide

Il s'agit d'un processus de transport de masse dans lequel des substances sont transférées d'une matrice solide par solubilisation dans un solvant. L'efficacité de l'extraction dépend des conditions dans lesquelles se déroule ce processus. En effet, plusieurs facteurs influencent la concentration des composés d'intérêt dans l'extrait, notamment le type et la concentration de solvant (Hayouni et al. 2007), la température (Corrales et al. 2009) et le rapport solide-liquide. (Nagendra Prasad et al. 2011), la pression (Jun et al. 2011), le temps d'extraction (Erdogan et al. 2011), la taille et la vitesse de ces composés (Ignat et al., 2011).

1.5 Méthodes de quantification et d'identification

La quantification et l'identification des composés phénoliques demeurent complexes, en particulier la détermination simultanée des composés de différentes familles (Tsao et Yang, 2003). Il existe plusieurs méthodes d'identification parmi lesquelles nous citons :

1.5.1 Méthodes spectrophotométriques

La mise au point de dosages spectrophotométriques UV reste lourde et délicate, selon la nature du matériau à analyser. Des techniques de spectroscopie UV et visible sont utilisées pour identifier les composés phénoliques, en particulier les flavonoïdes (Naczki et Shahidi, 2006). En effet, les polyphénols totaux peuvent être rapidement dosés par la méthode de Folin-Ciocalteu (Macheix et al. 2005). Cette méthode est très sensible mais malheureusement peu spécifique car de nombreux autres composés peuvent interférer, notamment l'acide ascorbique. Cependant, si ce dosage peut donner une estimation approximative et globale de la teneur totale en polyphénols des extraits végétaux, il n'indique pas la nature de ces composés phénoliques (Macheix et al. 2005).

1.5.2 Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR ou IRTF)

La spectroscopie infrarouge est une méthode de caractérisation optique permettant la détermination des fonctions de surfaces présentes dans un composé. L'objectif des spectroscopies optiques est d'obtenir des informations sur la matière à partir de son interaction avec le rayonnement. Le type d'information obtenu dépendra de la sensibilité de l'appareillage et de la nature de l'échantillon (état physique : gaz, liquide, solide...). En pratique, l'analyse peut être qualitative : l'identification d'un composé est recherchée à partir de sa signature spectrale, celle-ci dépend des niveaux d'énergie « sondés » par le rayonnement, ou quantitative ; dans ce cas, outre l'identification, c'est une méthode de dosage

d'une substance permettant la détermination de la composition d'un échantillon, grâce à sa signature spectrale, qui est recherchée (Dalibart et Servant, 2000). L'IR une technique simple d'emploi et riche en potentialités, elle a sa place aussi bien dans un laboratoire de recherche que dans l'industrie pour l'analyse structurale et/ou l'identification de produits où elle peut répondre à des besoins aussi divers que le contrôle qualité, le suivi de processus et la quantification dans plusieurs domaines.

1.5.3 Chromatographie liquide à haute performance (HPLC)

La chromatographie liquide à haute performance (HPLC) est utilisée efficacement pour la séparation et la quantification individuelle des composés phénoliques. La HPLC en phase inversée est qualitative, quantitative et reproductible (Naczka et Shahidi, 2006). Elle est devenue un outil analytique majeur pour la séparation et la détermination des composés phénoliques à l'aide de différents systèmes de détection, notamment le système de détection d'iode (DAD) (Sakakibara et al. 2003). Les détecteurs à barrette de diodes lèvent l'ambiguïté sur la nature des composés à l'étude (Castañeda-Ovando et al. 2009). Ce type de détecteur permet d'identifier des classes de composés phénoliques et de les caractériser par leurs spectres UV-Vis, facilitant l'étude de solutions enrichies de ces molécules (Ignat et al. 2011). Il est également devenu courant d'utiliser la HPLC en combinaison avec la spectrométrie de masse. Cela fournit des informations supplémentaires sur les propriétés du composé à l'étude (Rijke et al. 2006 ; De Souza et al. 2008).

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

DEMARCHES EXPERIMENTALES

1.1 Echantillonnage

Le matériel végétal utilisé pour cette partie est constitué de feuilles, des racines, des gousses et de l'écorce d'*A. mearnsii* provenant du site d'étude envahi « Boumalek » dans le parc national d'El Kala. La collecte du matériel végétal s'est déroulée sur 20 arbres d'Acacia, la distance entre chaque arbre et un autre est de 7 m (**Fig.34**) en 2020. Une deuxième cueillette des fleurs a été effectuée en printemps de la même année.

Quant aux glands de *Q. suber* ont été récoltés directement de l'arbre et du sol, dans le site non envahi « Brabtia » en évitant de ramasser ceux qui sont germés ou fissurés. Une fois au laboratoire les glands ont été conservés (à 04°C) pour éviter l'épuisement des réserves et la dessiccation

1.2 Séchage

Une fois récoltées les feuilles, les gousses, l'écorce, les fleurs et les racines d'*A. mearnsii* ont été lavées à l'eau distillée pour les débarrassées des salissures et séchées à température ambiante dans un endroit aéré et à l'abri de la lumière pour éviter la perte des substances actives. Les parties végétales ont été étalées en couches minces pour optimiser le séchage afin d'éviter les moisissures. Ce séchage a été effectué dans un endroit protégé afin d'éviter la contamination causée par la poussière. Après un séchage variant entre 20 à 30 jours, les différentes parties ont été broyées en poudre fine, puis stockées dans des flacons opaques en verre hermétiquement fermés, conservé à l'ombre et à température ambiante dans un endroit aéré.



Figure 34: Echantillonnage de matériel végétal

EFFETS DES EXTRAITS AQUEUX D'A. MEARNsii (DE WILD.) SUR LA GERMINATION DES GLANDS DE CHENE LIEGE (QUERCUS SUBER L.)

1.1 Préparation des extraits

Les solutions aqueuses ont été préparées à partir de broyas des feuilles, des racines, des gousses et de l'écorce d'*A. mearnsii* par des macérations dans l'eau chaude (extraction solide/liquide), Cette méthode d'extraction a été effectuée selon le protocole décrit par Nshimiyimana et He, (2010). Il s'agit de peser 10 grammes de la matière végétale broyé et l'ajouté à 200 ml d'eau distillée puis agiter et chauffer le mélange à 20°C pour préserver la structure des extraits phénoliques obtenus pendant 15 minutes. Après les macérats ont été filtré sur un papier filtre Wathman n°1. La manipulation a été répétée trois fois (fraction retenue par le filtre dans 200 ml eau distillée chaude) enfin, les trois filtrats obtenus ont été conservés au frais et à l'obscurité jusqu'à l'utilisation. La concentration de chaque extrait est à 5% (**Fig.35**).

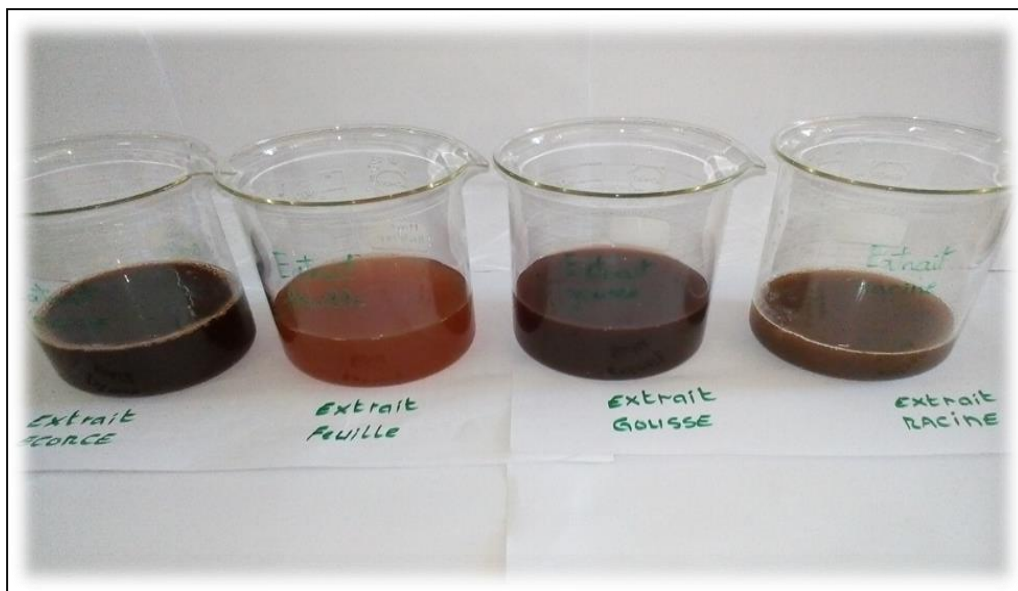


Figure 35: Différents extraits aqueux d'*A. mearnsii*

1.2 Stérilisation des glands

Les glands ont été trempés une nuit dans de l'eau du robinet, seuls les glands précipités sont sélectionnés pour réaliser le test de germination, puis lavés avec un détergent à faible dose (liquide vaisselles) et bien rincés. Ensuite, les glands ont été désinfectés avec l'eau oxygénée (H₂O₂ à 10 V) pendant 20 minutes et rincés abondamment à l'eau distillée stérile.

1.3 Test de germination

Pour réaliser le test de germination, nous avons utilisé des sacs en plastique autoclavables contenant du sable stérile (1heure à 121°C/ 1 bar). Les glands ont été placés aseptiquement à raison de 10 glands par sac. Dans chaque sac le sable a été imbibé avec 20 ml de chaque extrait aqueux (extrait de racine, extrait de feuille, extrait de gousse et extrait d'écorce). Quatre (04) répétitions ont été prévues pour chaque traitement plus un témoin arrosé à l'eau du robinet. Le suivi de la germination a duré 21 jours, en notant tous les jours le nombre de glands germés et en mesurant la longueur de racines. Les graines ont été arrosées un jour sur deux avec les différentes solutions (**Fig.36**).

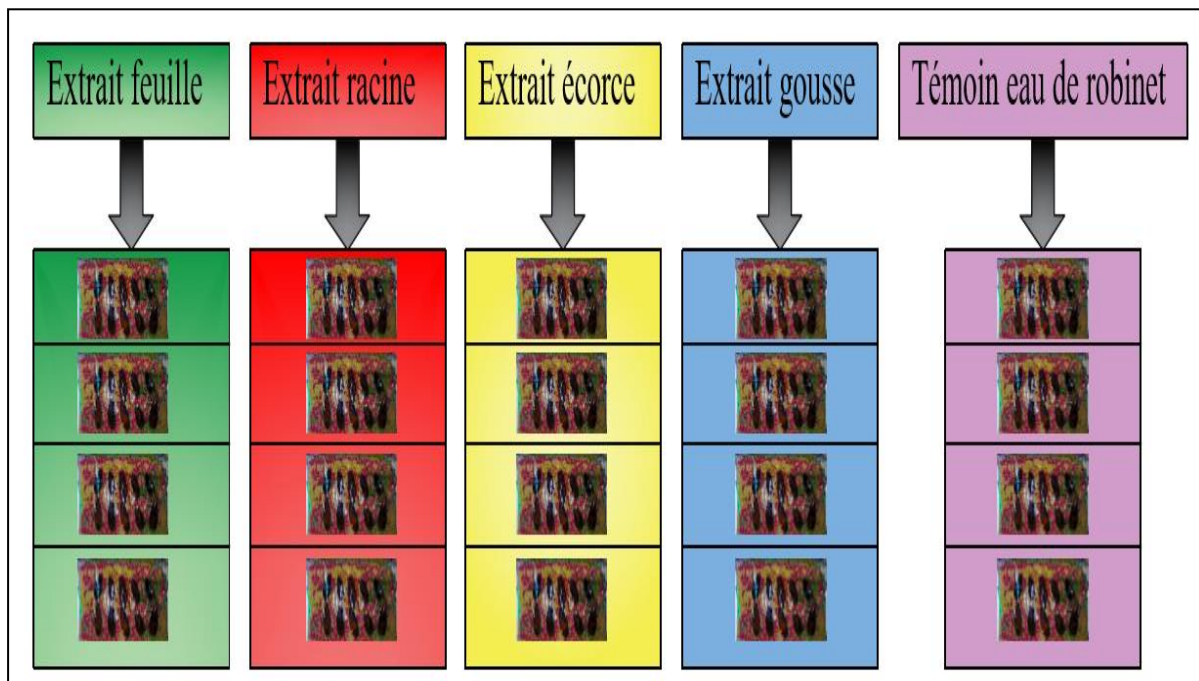


Figure 36: Dispositif expérimental du test de germination

1.4 Calculs

Le pourcentage de germination des graines dans chaque sac est déterminé selon la formule suivante ;

$$\text{PG \%} = \text{nombre des glands qui ont germé} \times 100 / \text{nombre total des glands}$$

$$\text{G \%} = \text{Gg} \times 100 / \text{Gt}$$

Pour comparer les effets différents extraits sur le développement de chêne liège, nous avons convertie les pourcentages de germination et les mesures des LR en pourcentages d'inhibition. Les conversions sont effectuées selon la formule utilisée par Dhima et al. (2006).

$$\% \text{ I} = [(\text{Témoin} - \text{Extrait}) / \text{Témoin}] \times 100$$

% I : le pourcentage d'inhibition par rapport au témoin

Témoin : la moyenne des 4 répétitions du témoin

Extrait : le pourcentage de germination ou la longueur de la LR de chaque sac traité par l'extrait aqueux.

Le % I : de chaque variable (la germination, la longueur de la racine) est calculé séparément, tel que **% ILR** : Le pourcentage d'inhibitions de la longueur de la racine (LR). (Benmeddour, 2010).

1.3 Etude statistique

Les données sont soumises à une analyse de variance (ANOVA à un seul facteur) et les moyennes sont comparées selon le test Tuckey (95%). Toutes les analyses statistiques sont réalisées avec MINITAB 17. Nous avons présenté pour chaque traitement, les différences entre les extraits et le témoin, l'effet sur un seul variable (LR) ou taux de germination (G), et les différences entre les extraits allélopathiques.

ETUDE PHYTOCHIMIQUE D'A. MEARNsii

Toutes les analyses phytochimiques se sont déroulées au laboratoire de chimie analytique de la faculté de médecine d'Annaba, durant le mois de février 2020. Sauf les analyses Spectroscopie infrarouge se sont effectuées au laboratoire de Chimie au département de Chimie à l'université BADJI Mokhtar Annaba. Les objectifs fixés de cette partie pratique sont les suivants :

- Détermination des rendements de l'extraction méthanolique.
- Recherche des substances secondaires à travers un screening phytochimique, des composés phénoliques, des flavonoïdes, et des tanins dans par des tests colorimétriques et spectroscopie infrarouge dans les différentes parties végétales étudiées d'*A. mearnsii*
- Dosage spectrophotométrique des composées phénoliques à travers le dosage des polyphénols totaux, des tanins et des flavonoïdes.
- L'étude de la composition chimique des cinq parties par une analyse chromatographique liquide à haute performance (HPLC).

1.1 Extraction

Parmi les différentes étapes que constituent l'analyse et l'identification des molécules bioactives, l'étape d'extraction, qui a pour but la désorption des molécules d'intérêt des sites actifs de la matrice végétale, est primordiale puisqu'elle détermine la nature et la quantité des molécules extraites (Michel, 2011). Le protocole extractif a été effectué selon la méthode proposée par Kim et al. (2001) puis par Guessan et al. (2011), avec une adaptation de quelques modifications, comportant les étapes suivantes :

1.2 Rendement des extraits d'*A. mearnsii*

1.2.1 Préparation de l'infusé

Cinq grammes de poudre de chaque partie ont été placés dans 100 ml d'eau bouillante, après 15 mn d'infusion, nous avons filtré et rincé avec un peu d'eau chaude de manière à obtenir 100 ml de filtrat.

1.3 Analyse qualitative des extraits d'*A. mearnsii*

1.3.1 Screening phytochimique

L'un des buts essentiels d'un test phytochimique est la détection de quelques grands groupes chimiques de différentes familles ou métabolites secondaires existant dans les parties étudiées de la plante (phénols totaux, alcaloïdes, flavonoïdes, tanins, anthraquinones, saponosides, stérols et terpènes, hétérosides cardiotoniques et mucilage) par des réactions qualitatives et des méthodes standards de caractérisation. Ces réactions sont basées sur des phénomènes de précipitation ou de coloration par des réactifs spécifiques à chaque famille de composés, ou de turbidité ainsi que des examens sous la lumière ultraviolette. Elles n'ont évidemment qu'une valeur indicative mais elles permettent d'orienter les recherches ultérieures.

a. Mise en évidence des anthocyanes

Nous avons pris 5 ml de l'infusé auquel nous avons ajouté à goutte 1ml d'une solution d'acide chlorhydrique pur (HCL), puis nous avons versé une goutte de 1ml d'ammonium (NH₄OH). L'apparition d'une couleur rouge après addition d'HCL qui vire au bleu-vert de NH₄OH indique la présence des anthocyanes.

b. Mise en évidence des flavonoïdes

○ Réaction à la cyanidine

A 5 ml de l'infusé, ajouter 5mL d'alcool chlorhydrique puis quelques copeaux de magnésium et 1mL d'alcool isoamylique. L'apparition d'une coloration rose-orangée (flavones) ou rose-violacée (flavanones) ou rouge (flavonols, flavanonols) rassemblée dans la couche surnageante d'alcool isoamylique indique la présence d'un flavonoïde libre (génine). Les colorations sont moins intenses avec les hétérosides flavoniques. La réaction est négative avec les chalcones, les dihydrochalcones, les aures, les catéchines et les isoflavones.

○ Test à la soude

A 5 ml de l'infusé, nous avons ajouté 2 ml d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 30%. La formation d'une couleur jaune indique la présence de flavonoïde.

c. Mise en évidence des tanins

A 1 ml de l'infusion ci-dessus est ajouté 200 µl de FeCl₃ (1%). En présence de tanins, il se développe une coloration verdâtre ou bleu - noir. La différenciation entre les tanins galliques

et caté chiques se fait par le réactif de Stiasny (méthanal-acide chlorhydrique concentré 2 : 1 v/v).

○ **Tanins caté chiques**

A 1 ml de l'infusion, nous avons ajouté 2 ml de réactif de Stiasny ; le mélange obtenu est chauffé au bain-marie à 90 °C pendant 15 minutes. L'apparition d'un précipité rose ou plus ou moins brun montre la présence des tanins caté chiques (condencés).

○ **Tanins galliques**

Pour révéler les tanins galliques, nous avons pris 1ml du mélange précédemment chauffé ensuite le filtrat est saturé avec de l'acétate de sodium, à ce mélange il est ajouté 100ul d'une solution de FeCl₃ à 2 %. Le développement d'une teinte brune verdâtre indique la présence de tanins galliques (hydrolysables).

d. Mise en évidence des alcaloïdes

A 15 ml d'infusé, ajouter quelque goutte du réactif de Dragendorff dans le premier, du réactif de Mayer dans le deuxième et du réactif de Bouchardat dans le troisième, utiliser 3 tubes témoins contenant du sulfate d'atropine en solution aqueuse. La formation d'un précipité rouge orangé après ajout du réactif de Dragendorff indique la présence d'alcaloïdes, la formation d'un précipité blanc après ajout du réactif de Mayer indique la présence d'alcaloïdes, la formation d'un précipité brun-rougeâtre après ajout du réactif de Bouchardat indique la présence d'alcaloïdes.

e. Mise en évidence des coumarines

Peser 2g de matière végétale dans un erlenmeyer, ajouter 40ml d'éther diéthylique, fermer, homogénéiser et laisser macérer 24h puis filtrer, verser le filtrat dans une capsule et évaporer sous la hotte sur une plaque chauffante à 30 C, une fois refroidi, dissoudre le résidu sec dans 2ml d'eau distillée chaude, ajouter 2ml d'ammoniaque à 25%, observer sous lumière UV à 365 nm. L'apparition d'une fluorescence bleue indique la présence de coumarines.

f. Mise en évidence des stérols et terpènes

Peser 1g de matière végétale dans un erlenmeyer. Ajouter 20ml d'éther di éthylique ,fermer et homogénéiser , laisser macérer pendant 24h ,filtrer après verser le filtrat dans une capsule et évaporer sous la hotte sur une plaque chauffante à 30°C, une fois refroidi ,dissoudre le résidu dans 2ml de d'anhydride acétique et 2ml de dichlorométhane ,introduire dans un premier tube à essai ,couler très lentement le contenu du premier tube dans le deuxième ,de façon à ne pas

mélanger les deux phases liquides . La formation d'un anneau rouge-brunâtre ou violet à la zone de contact des deux liquides et la coloration en vert ou en violet et la couche surnageante indique la présence de poly terpènes et/ou de stérols.

g. Mise en évidence des anthraquinones libres

Peser 1g de matière végétale dans un erlenmeyer, ajouter 10ml de dichlorométhane, régler le bain-Marie à 60°C et chauffer prudemment pendant 3minutes, filtrer à chaud sous la hotte et verser le filtrat dans un tube à essai, une fois refroidi, ajouter 1ml de NH₄OH dilué et agiter. La formation d'une couleur plus au moins rouge de la phase aqueuse indique la présence d'anthraquinones libres.

h. Mise en évidence des mucilages

A 10 ml de l'infusé à analyser sont ajoutés 5 ml d'éthanol absolu. L'apparition d'un précipité floconneux dans la phase étherée indique la présence de mucilage.

1.3.2 Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR ou IRTF)

Le but de cette analyse est la séparation, l'identification et la détermination structurale des métabolites secondaires des plantes. Son principe est basé sur la détection des fonctions chimiques caractéristiques des différentes familles de molécules. Les analyses d'infrarouges réalisés dans ce travail, sont effectuées en utilisant le spectromètre infrarouge à transformée de Fourier (IRTF), type Vertex 70, son domaine de transition allant de 400 cm⁻¹ à 4000 cm⁻¹. Cette analyse se déroule en deux étapes : la préparation de la pastille à analyser et l'analyse proprement dite. Une masse de 5 à 10 mg de poudre des cinq parties d'*A.mearnsii* à analyser est pesée, puis la poudre est complétée à 300 mg avec du bromure de potassium (KBr). L'ensemble est mélangé manuellement en une fine poudre qui est ensuite pressée à l'aide d'une presse manuelle jusqu'à 200 bars pendant 30 secondes. Une pastille est obtenue par cristallisation de la poudre. Cette pastille est introduite dans la chambre optique du spectroscope pour analyse. Une pastille neutre (ne contenant que du KBr) est utilisée pour la mise à niveau de l'appareil. Un ordinateur couplé à l'appareil permet de recueillir le spectre de l'échantillon.

Une spectroscopie infrarouge peut ainsi avoir différentes finalités :

- Identifier et caractériser une molécule inconnue, en référençant ses liaisons.
- Tester la présence ou l'absence d'une molécule dans un échantillon.
- Dans certains cas, procéder à un dosage d'une espèce chimique

1.4 Analyse quantitative : Dosage des composés phénolique totaux

1.4.1 Préparation de l'extrait méthanolique (EM)

Trois grammes de poudre végétale sont macérés dans 10 ml de méthanol absolu, pendant 24H à température ambiante. L'extrait est ensuite filtré puis évaporé à sec sous pression réduite à l'aide d'un rotavapoor de marque BUCHI R-114. Les résidus secs sont repris par quelques millilitres de méthanol et conservés dans des flacons ambrés à 4°C. (El-Sayed et al. 2013)

Le méthanol s'avère donc un solvant de choix pour l'extraction des métabolites secondaires. C'est un solvant peu coûteux possédant plusieurs atomes d'hydrogène susceptibles de former des liaisons hydrogènes (El-Sayed et al. 2013). Les étapes de préparation des EM sont représentées par la (Fig.37).

1.4.2 Calculs de rendement

Le rendement des différents extraits obtenus est défini comme étant le rapport entre la masse de l'extrait sec obtenue après évaporation et la masse initiale du matériel végétal utilisé (Camel, 2014). Ce rendement est calculé par l'équation suivante selon Poojary et al. (2015) :

$$\text{Rendement d'extraction (\%)} = \frac{\text{Poids de l'extrait sec (g)}}{\text{Poids de l'échantillon utilisé pour l'extraction (g)}} \cdot 100$$

1.4.3 Dosage des polyphénols totaux

La teneur en composés phénoliques de notre extrait a été déterminée par la méthode de Folin-Ciocalteu (Wood et al. 2002). Le dosage des phénols totaux par le réactif de Folin Ciocalteu a été décrit dès 1965 par Singleton et Rossi. Le réactif est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique et d'acide phosphomolybdique. Il est réduit, lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène. La coloration produite, dont l'absorption maximum est comprise entre 725 et 765 nm est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux (Boizot et Charpentier, 2006). Un volume de 200 µl de chacun des extraits bruts d'*A. mearnsii* est introduit dans des tubes à essai, 1 ml du réactif de Folin-Ciocalteu dilué 10 fois y est additionnée. Après un repos de 5min, on introduit 800 µl de carbonate de sodium à 7,5%. Les tubes sont agités et conservés durant 30 minutes à la température ambiante. L'absorbance est mesurée à 765nm contre un blanc à l'aide d'un spectrophotomètre. La solution mère (SM) d'acide gallique (AG) est préparée

dans une fiole ambrée de 10ml, en pesant 10mg d'AG directement dans la fiole, et les dissoudre dans le MeOH (**Fig.38**). Une courbe d'étalonnage est réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant l'acide gallique comme contrôle positif. Les résultats sont exprimés en milligramme (mg) équivalent d'acide gallique par gramme de matière végétale sèche (mg EAG/gr de matière sèche).



Photo 1 : Pesé de la poudre



Photo 2 : Macération dans du méthanol pendant 24h



Photo 3 : Filtration des extraits

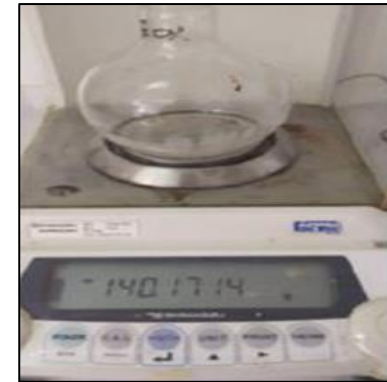


Photo 4 : Pesé des ballons de récupération vid



Photo 5 : Evaporation des extraits sous vide

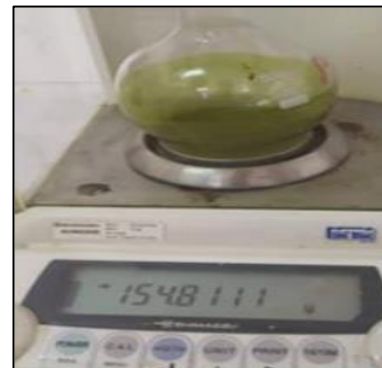


Photo 6 : Pesé des extraits secs



Photo 7 : Ajout du méthanol



Photo 8 : Conservation des extraits

Figure 37 : Etapes de préparation des extraits méthanoliques

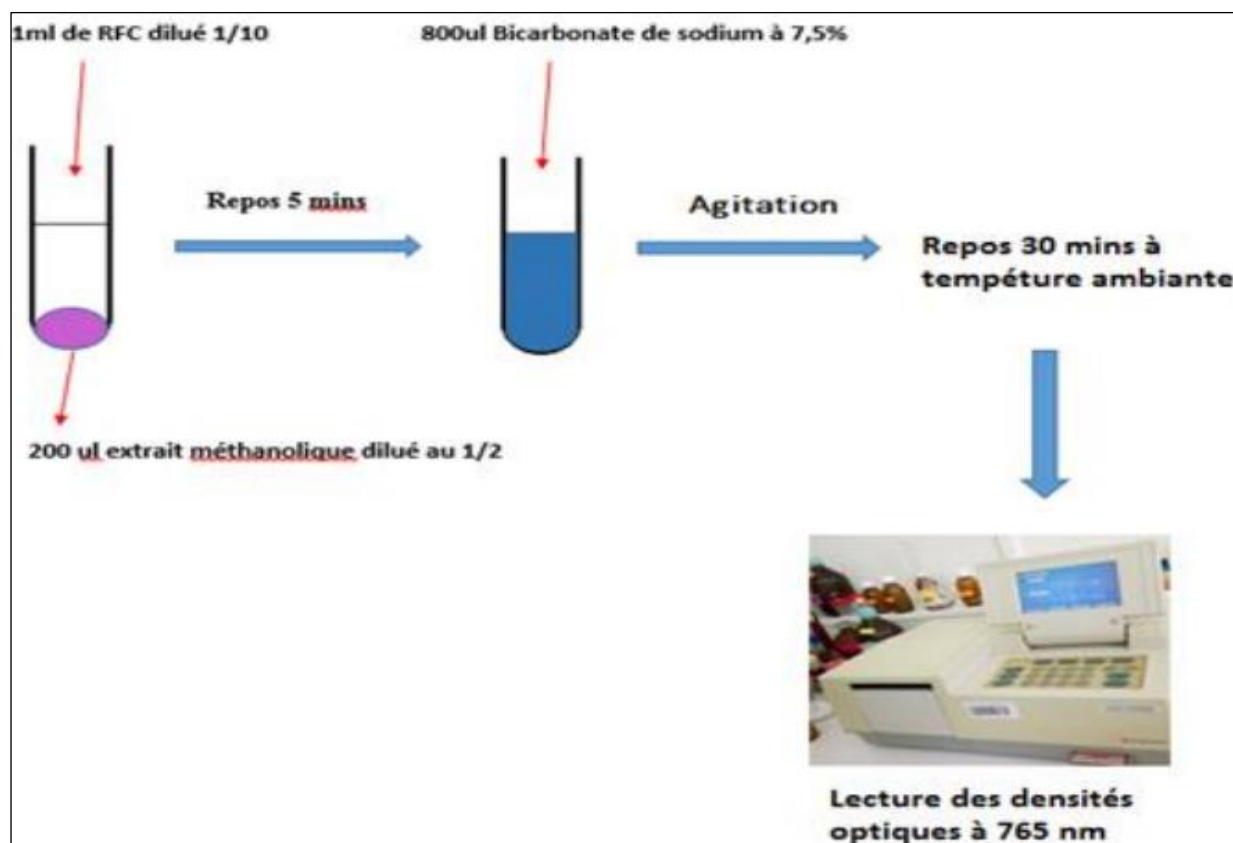


Figure 38: Dispositif expérimental du dosage des polyphénols totaux

Tableau 16 : Dilutions des extraits préparées pour le dosage des polyphénols totaux

N°	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
C (mg/ml)	0,5	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05
V _{SM} (µl)	500	450	400	350	300	250	200	150	100	50
V _{MeOH} (µl)	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950

Trois dilutions ont été préparées pour chaque EM

	1/25	1/50	1/100
V _{EM} (µl)	40	20	10
V _{MeOH} (µl)	960	980	990

1.4.4 Dosage des tanins

La teneur en tanins totaux a été évaluée selon la méthode colorimétrique décrite par Polshettiwar et al. (2007). Le dosage est basé sur la réduction, en milieu alcalin, des acides phosphomolybdique et tungstique contenus dans le réactif de Folin-Denis (RFD). La réaction donne une coloration bleue dont l'intensité est mesurée par spectrophotométrie à 755nm.

0,5 mL de RFD et 1mL de carbonate de sodium (Na_2CO_3 0,5%) ont été introduits dans des fioles jaugées. 100 μL de la dilution de chacun des extraits méthanoliques y ont été ajoutés, le volume de la solution a été ajusté à 5mL par l'eau distillée. Après une incubation de 30min, l'absorbance a été mesurée par un spectrophotomètre SHIMADZU UV-1202. La teneur en tanins totaux a été déterminée par extrapolation. Une solution mère (SM) d'acide tannique (AT) a été préparé dans une fiole ambrée de 5ml, en pesant 50mg d'AT directement dans la fiole, et les dissoudre dans le MeOH (**Fig.39**). Une courbe d'étalonnage obtenue à partir d'une série de dilutions de l'acide tannique (SM 10mg/ml). Les résultats ont été exprimés en milligramme équivalent acide tannique par gramme de matière végétale sèche (mg EAT/gr

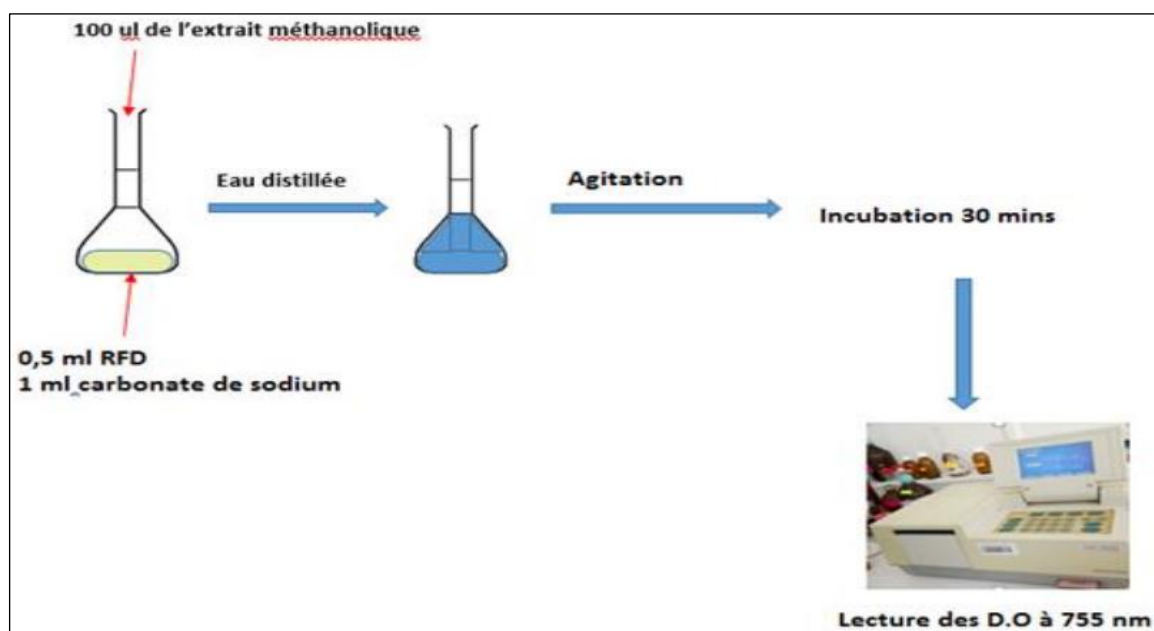


Figure 39: Dispositif expérimental du dosage des tanins

MS). L'absorbance de la solution est déterminée à 755nm contre un blanc .

Tableau 17 : Dilutions des extraits préparés pour le dosage des tanins

N°	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
C (mg/ml)	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5
V_{SM} (µl)	500	450	400	350	300	250	200	150	100	50
V_{MeOH} (µl)	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950

Trois dilutions ont été préparé pour chaque EM :

	1/10	1/5	1/2
V_{EM} (µl)	100	200	500
V_{MeOH} (µl)	900	800	500

1.4.5 Dosage des flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes de nos échantillons a été déterminée à l'aide de la méthode spectrophotométrique avec une modification mineure (Djeridane et al. 2006). La quantification des flavonoïdes a été effectuée par une méthode basée sur la formation d'un complexe très stable, entre le chlorure d'aluminium et les atomes d'oxygène présent sur les carbones 4 et 5 des flavonoïdes. Le chlorure d'aluminium forme des complexes acides labiles avec les groupes orthodihydroxyl dans le cycle A ou B de flavonoïdes (Meraghni et al. 2018), Les complexes produits, de couleur jaune, absorbent dans le visible à 510nm.

- **Mode opératoire**

500 µl de l'extrait brut sont mélangés avec 2 ml d'eau distillée, et additionnés de 150 µl de nitrite de sodium (NaNO_2) à 5%. Après 5min d'incubation, 100 µl de trichlorure d'aluminium à 10% est rajouté au mélange. Après une nouvelle incubation de 6 min, Ajouter 1ml de carbonate de sodium. Le mélange est complètement agité afin d'homogénéiser le contenu. La solution d' AlCl_3 à 10% dans une fiole en pesant 0,50gr d' AlCl_3 , et dissoudre de 5ml avec de l'eau distillée. L'absorbance de la solution est déterminée à 510nm contre un blanc (**Fig.40**). Une courbe d'étalonnage est réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant la quercétine comme contrôle positif. La teneur en flavonoïdes totaux est exprimée en milligramme (mg) équivalent de catéchine par 100 gr de matière végétale sèche (mg

EC/1
00g
MS).

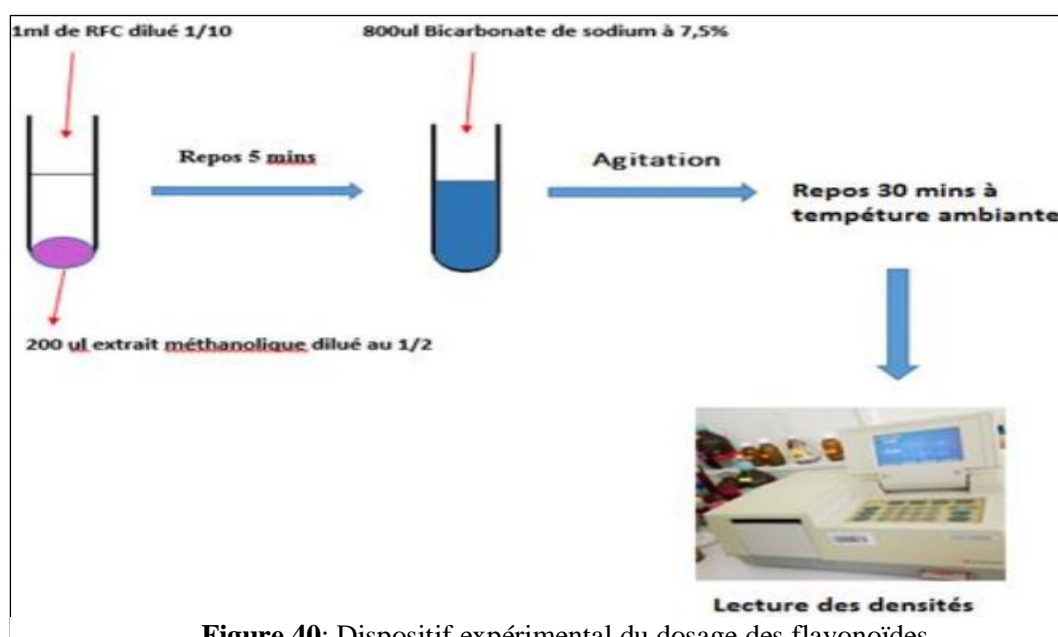


Figure 40: Dispositif expérimental du dosage des flavonoïdes

Tableau 18 : Dilutions des extraits préparés pour le dosage des flavonoïdes

N°	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
C (mg/ml)	0,5	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05
V_{SM} (µl)	500	450	400	350	300	250	200	150	100	50
V_{MeOH} (µl)	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950

Trois dilutions ont été préparées pour chaque EM :

	1/10	1/5	1/2
V_{EM} (µl)	100	200	500
V_{MeOH} (µl)	900	800	500

La teneur totale en polyphénols dans les différents extraits est calculée selon la loi suivante.

$$T = c \cdot v / m$$

T : contenu total des polyphénols (mg équivalent acide gallique/g de la matière sèche).

c : concentration en mg équivalent acide gallique (mg/ml).

v : volume de l'extrait utilisé (ml).

m : masse de l'extrait de la partie utilisée (mg).

1.5 Quantification des composés phénoliques par chromatographie en phase liquide à haute performance (HPLC)

La quantification des composés phénoliques dans les extraits aqueux et méthanoliques des parties d'*A. mearnsii* a été effectuée en utilisant un système de chromatographie en phase liquide à haute performance (HPLC) de type Shimadzu-system (Prominence i. LC-2030C 3D), constitué d'un dégazeur à vide, un échantillonneur automatique, et une pompe binaire avec une pression maximale de 600 bar ; Agilent 1260, Agilent technologies, Allemagne) équipé d'une colonne analytique C18 5µm (250 x4,6 mm i.d. ; Alltech, Deerfield,USA) couplé à un détecteur UV Waters . La plage de balayage a été réglée à 350 nm. La température de la colonne a été maintenue à 40 °C. Le volume de l'échantillon injecté est de 10 µl et le débit de la phase mobile est de 0,4 ml.min⁻¹. L'élution est réalisée en mode gradient avec deux phases la première. Phase mobile A : composée de l'Acétonitrile, l'acide

formique et l'eau (19/80/1, v/v/v) et phase mobile B est composée de l'Acétonitrile, du méthanol et de l'acide formique (59/40/1, v/v/v). Le gradient du programme d'élution est le suivant :

Temps (min)	Solvant B, % (V/V)
0-	0
0-5	5
5-15	15
15-20	20
20-40	60
40-45	100
45-50	0

La durée totale de séparation est de 50 min. Les pics correspondants aux molécules cibles sont interprétés par un logiciel informatique qui permet de visualiser les signaux enregistrés par le détecteur. Tous les produits utilisés pour les analyses par HPLC ainsi que les solvants ont été fournis par Sigma Aldrich (France). Il s'agit d'une série d'étalons commercialisés et qui sont utilisés en références. L'identification et la quantification de composés phénoliques contenus dans les extraits se fait par comparaison du temps de rétention, des surfaces des étalons utilisés (Annexe 12) par rapport à ceux obtenus en analysant les extraits. Les analyses ont été répétées 4 fois.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

EFFET DES EXTRAITS SUR LE DEVELOPPEMENT DES GLANDS DE *Q. SUBER*

1.1 Résultats

À partir du 2^{ème} jour du lancement de l'expérience et pendant 21 jours, le taux de germination (G) des glands de chêne liège ainsi que les longueurs des racines (LR) ont été mesurées selon la méthode décrite dans matériel et méthodes. Nous avons noté des réponses variables du développement des glands de chêne liège selon les différentes solutions aqueuses appliquées.



Figure 41: Mesure de la radicule sur un papier millimétrique

❖ Effet sur la germination

Après 21 jours de mise en germination des glands de chêne liège (**Fig.46**), les différents extraits (racines, feuilles, gousses et écorce) d'*A. mearnsii* ont eu des effets variables sur la germination des glands de chêne liège. Les extraits (racines, feuilles et gousses) ont affecté considérablement la germination des glands où nous avons noté des différences hautement significative ($P= 0,000$, $F=16,97$), ($P= 0,000$, $F=32,88$) et ($P= 0,001$, $F= 19,99$) respectivement. Néanmoins, aucune différence significative n'a été observée de l'extrait d'écorce ($P=0,014$, $F= 7,16$). (**Fig.42**)

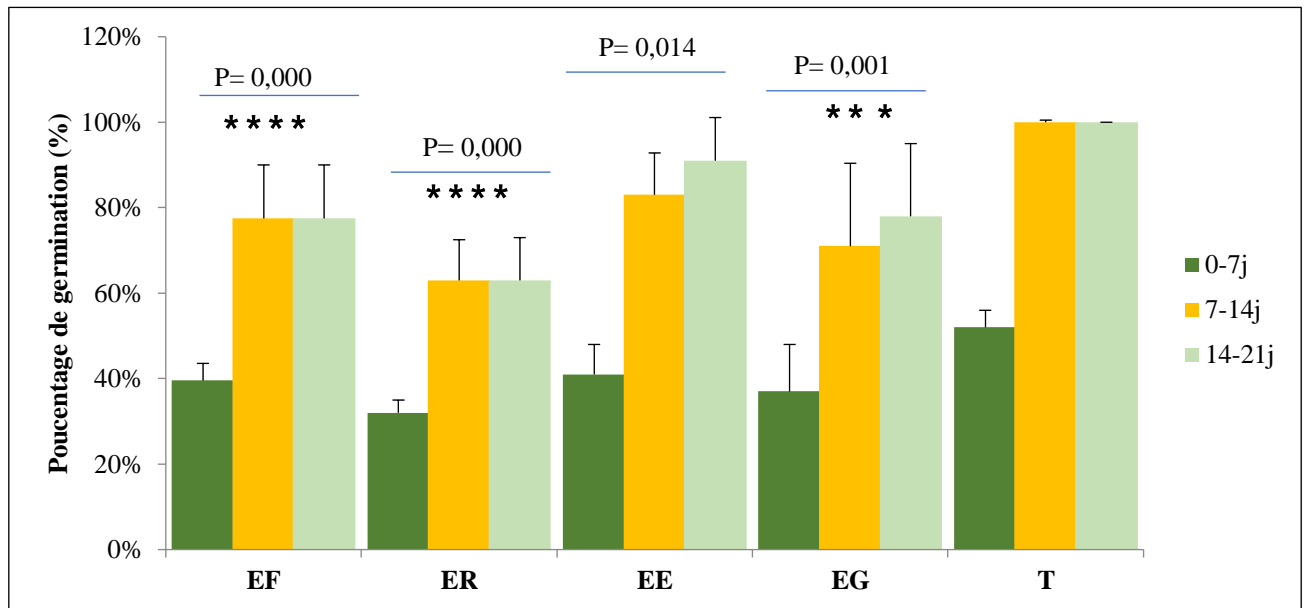


Figure 42: Effet des extraits d'*A. mearnsii* sur la germination des glands de *Q. suber* durant trois semaines

EF=extrait de feuille ; ER= extrait de racine ; EE=extrait d'écorce ; EG=extrait de gousse ; T= témoin
 Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre les traitements selon le test de Tukey's HSD ($P \leq 0,005$)

❖ Effet sur la longueur de la racicule

Dans tous les cas, l'action des différents extraits (racines, feuilles, gousses et écorce) d'*A. mearnsii* se manifeste par un ralentissement de la croissance radiculaire des glands de chêne liège (effet hautement significatif) (**Fig. 43**). Dans l'ensemble, ce ralentissement dans la croissance radiculaire est influencé par la prolongation des jours du test. En effet, plus la durée du test augmente et moins la croissance radiculaire est importante. En se rapprochant de la troisième semaine on observe que la croissance de la longueur de la racicule diminue significativement sous l'effet des extraits de racine ($P=0,000$, $F=28,03$), de feuilles ($P=0,000$ $F=153,86$), gousses ($P=0,000$ $F=129,69$) et écorces ($P=0,000$ $F=143,75$). L'extrait aqueux de racine présente un fort effet inhibiteur sur la longueur de la racicule, suivi de l'extrait de feuille et l'extrait de gousse par contre on observe un effet moins important sur la longueur de la racicule pour l'extrait d'écorce.

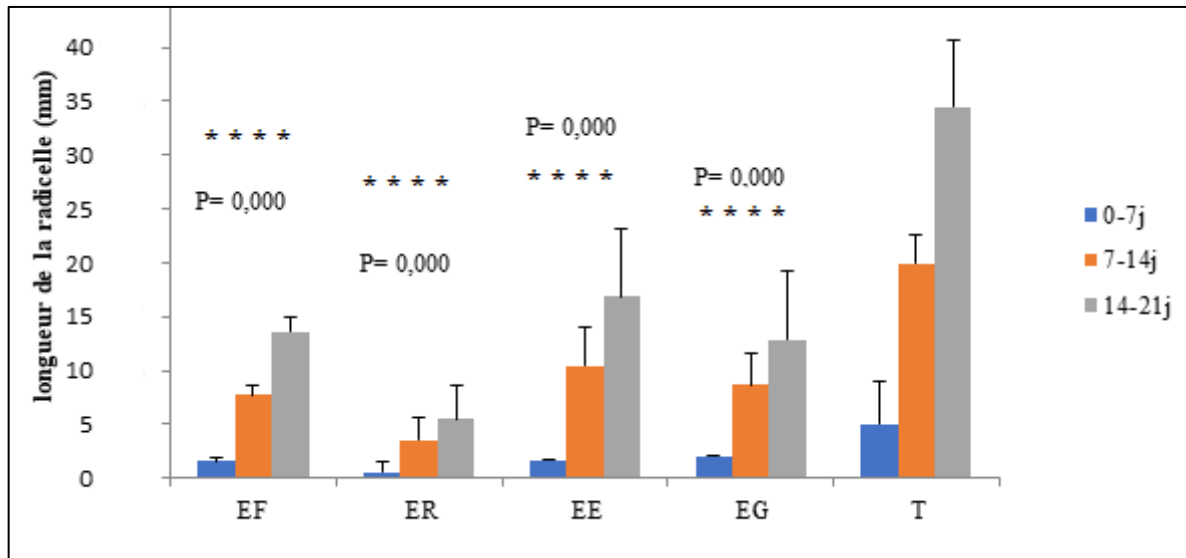


Figure 43: Effet des extraits d'*A. mearnsii* sur la longueur de radicelle de *Q. suber* durant trois semaines

EF=extrait de feuille ; ER= extrait de racine ; EE=extrait d'écorce ; EG=extrait de gousse ; T= témoin
 Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre les traitements selon le test de Tukey's HSD ($P \leq 0,005$)

❖ Effet inhibiteur des extraits aqueux sur la germination et la longueur de la radicule

Il en est de même concernant les effets inhibiteurs des extraits d'*A. mearnsii* sur la germination (IG) et la longueur des racines (ILR) des glands de chêne liège durant les trois semaines d'essai. L'extrait de racine se montre plus inhibiteur que les autres parties que soit sur la germination ou la longueur de racine ($P=0,000$). Nous avons noté également que, quel que soit la solution aqueuse, l'effet inhibiteur est aigu sur la germination et modéré sur la longueur de radicelle. Dans ce cas, nous pouvons dire que la majorité des glands réussissent à dépasser l'effet allélopathique de la plante en premier stade (germination) mais trouvent des difficultés ensuite dans le maintien de sa croissance. Ces effets augmentent graduellement avec la prolongation de la durée de germination. (**Fig. 44 et 45**)

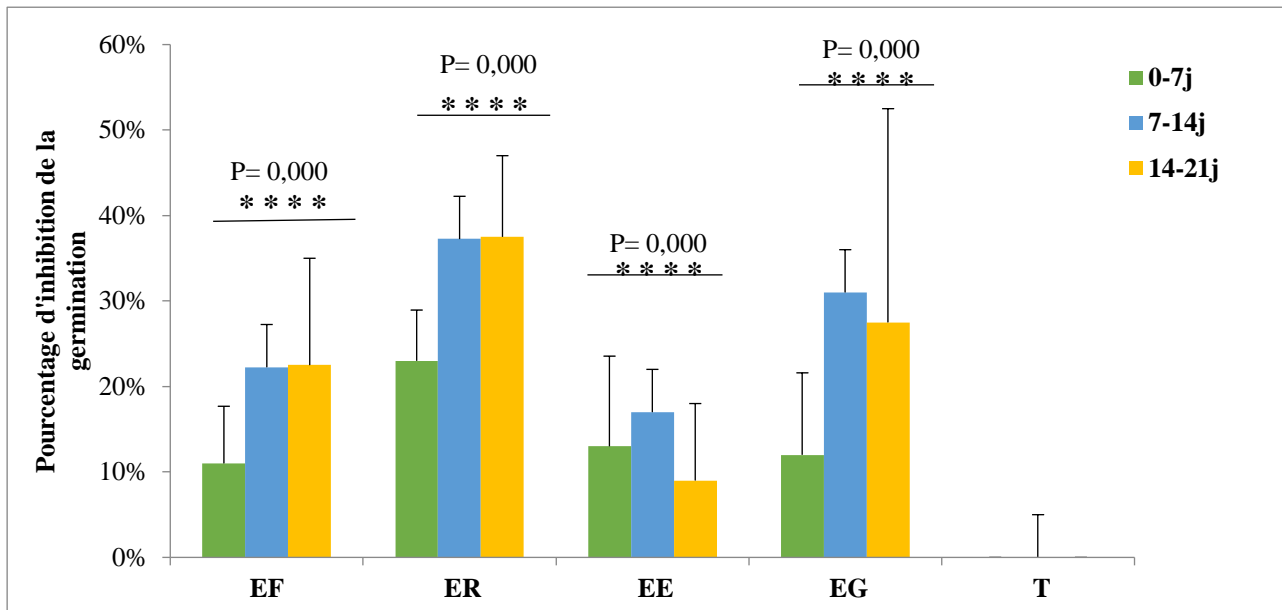


Figure 44: Effet inhibiteur des extraits d'*A. mearnsii* sur la germination des glands de *Q. suber*

EF=extrait de feuille ; ER= extrait de racine ; EE=extrait d'écorce ; EG=extrait de gousse ; T= témoin

Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre les traitements selon le test de Tukey's HSD ($P \leq 0,005$)

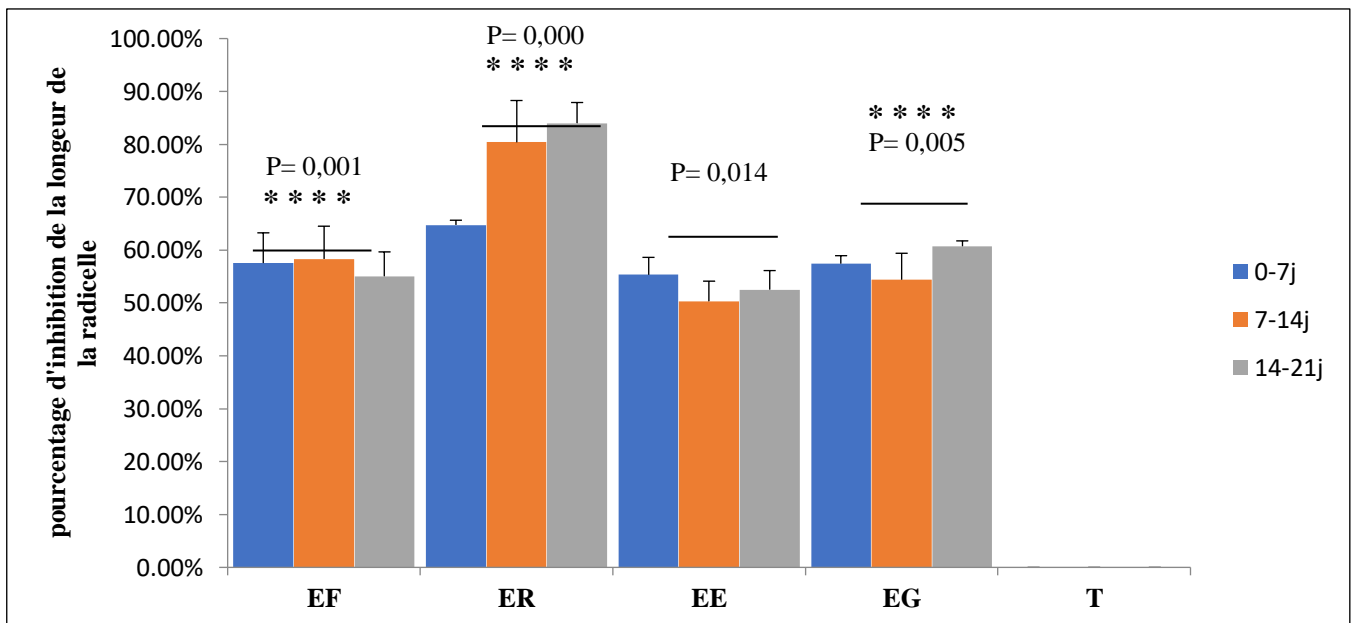


Figure 45: Effet inhibiteur des extraits d'*A. mearnsii* sur la longueur de la racicule de *Q. suber*

EF=extrait de feuille ; ER= extrait de racine ; EE=extrait d'écorce ; EG=extrait de gousse ; T= témoin

Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre les traitements selon le test de Tukey's HSD ($P \leq 0,005$)

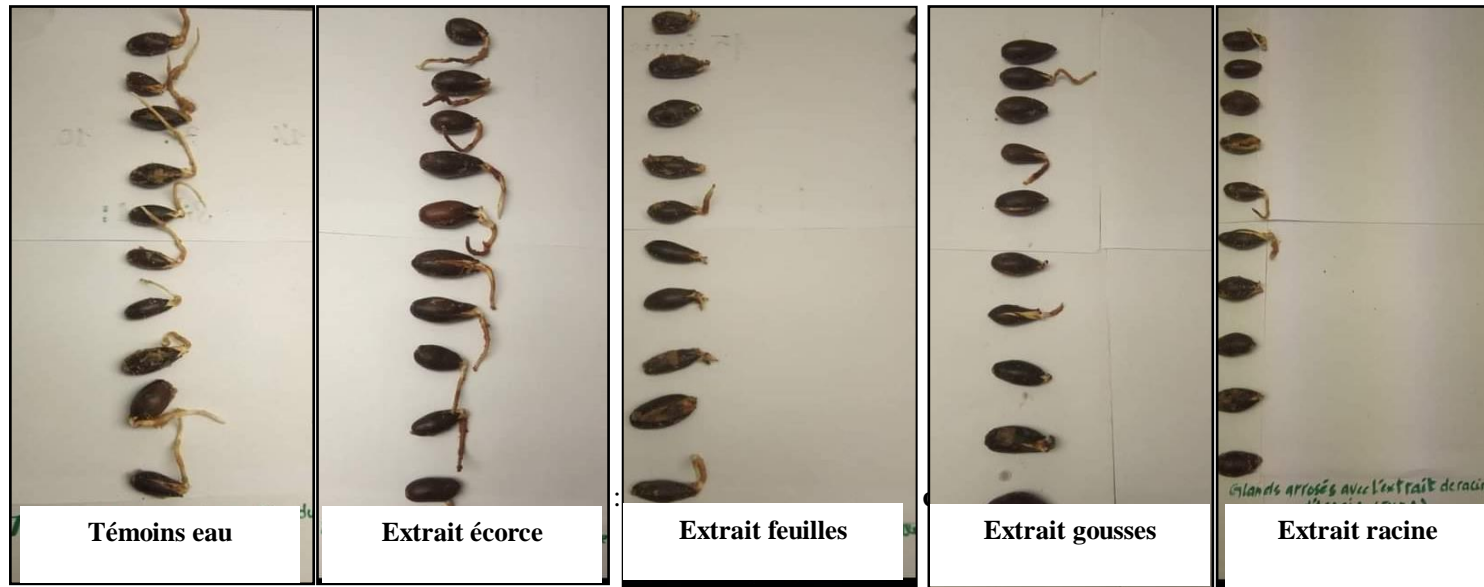


Figure 46 : Glands de chêne liège arrosés avec les cinq extraits d'*A. mearnsii*

1.2 Discussion

Les résultats obtenus relatifs aux tests de la germination des glands de chêne liège (*Q. suber*) traités par les extraits aqueux de différentes parties d'*A. mearnsii*. Laissent apparaître l'effet inhibiteur des solutions aqueuses sur de la germination des glands et le développement de la radicule. Un important pourcentage d'inhibition a été enregistré par l'extrait aqueux de racine, suivi de l'extrait de feuille et l'extrait de gousse, cependant, l'extrait aqueux d'écorce a montré un effet très réduit. Lorsque la germination des graines n'est pas inhibée, nous avons observé d'autres effets sur le développement de la graine. Dans le cas d'une inhibition, nous avons noté des effets sur la radicule. Nous remarquons que la longueur de la radicule des glands de chêne témoins est très importante par rapport à celles des autres traitements. Les différents effets des extraits sur la germination des glands et le développement de radicule peuvent être expliqués par la différence dans la quantité des composés chimiques produits par l'organe, ces substances seraient probablement responsables de l'effet inhibiteur observé.

Nos résultats sont en adéquation avec les travaux de Zherada et al. (2008), qui ont démontré que les extraits de *Tetraclinis articulata*, *Pistachia lenticus* et *Acacia raddiana* ont des potentialités à inhiber la germination et la croissance des graines de *Lactuca sativa* et *Raphanus sativus*. Viles et al. (1996) ont noté que les extraits aqueux d'*Echinacea angustifolia*, ont la possibilité d'empêcher la germination des graines et la croissance des plantules de *Lactuca sativa*. Les résultats obtenus, nous ont permis de noter que l'extrait aqueux des racines d'*A. mearnsii* a présenté optionnellement un pouvoir inhibiteur élevé sur la germination et notamment sur le développement de la longueur de la radicule des glands de chêne liège. Les deux extraits de gousses et de feuilles inhibent partiellement la germination. Kruse et al. (2000), ont montré l'apparition des variations morphologiques observées le plus souvent aux premiers stades de développement de certaines plantes sensibles exposées aux substances allélochimiques, ces effets se traduisent par un retard d'allongement de la tigelle et de la radicule s'il n'y a pas un retard de germination. Nos résultats sont aussi similaires à ceux de Zeghina., (2016), qui a trouvé que l'extrait aqueux des feuilles de *A. mearnsii* a un effet négatif sur la germination et le développement de trois espèces du sous-bois de chêne-liège et particulièrement la racine qui semble la plus affectée. Fatunbi., (2009), a noté un effet allélopathique des broyas des feuilles d'*A. mearnsii* sur la croissance du chou en serre mais pas sur celle du maïs, il a également remarqué des réponses

très variables de la croissance de ces plantes en fonction des différentes concentrations des différentes parties d'*A. mearnsii*. Ces études corroborent nos résultats, où nous avons noté un retard de développement de la racine des glands de chêne germés dans les traitements extraits de racines, feuilles et gousses. Quant au faible effet de l'extrait d'écorce, nous supposons que cela est dû au dégagement des quantités réduites de composés chimiques, probablement lié à la libération lente de ses composants.

Il est admis que dans les conditions naturelles, la germination des graines est un processus biochimique et physiologique où dès le premier contact de la graine avec le stimulus exogène (eau), une enzyme amylase est synthétisée et sécrétée afin de dégrader l'amidon (albumines) pour fournir à l'embryon l'énergie nécessaire à la germination (Regnault-Roger et al., 2008). La croissance embryonnaire amorce et intervient par la suite par un autre processus physiologique où les acteurs sont les hormones de croissance végétale dont l'auxine (Lesuffleur, 2007). Certains métabolites secondaires végétaux influent la germination ou la croissance des plantes par des mécanismes multiples (Einhellig et al., 1985). L'inhibition de la germination des graines, est un processus complexe, soumis à de nombreuses hypothèses dont la capacité de certaines molécules qui se trouvent dans les extraits à inhiber l'action des enzymes ou bien d'occuper leurs sites membranaires, ou bien à l'action mimétique ou antagoniste de ces molécules vis-à-vis des hormones de croissance ou à l'inhibition de leurs actions tissulaires (Feeny, 1976). Il est admis que les substances de croissance végétales dont les auxines sont synthétisées dans les apex caulinaires et racinaires et transportées dans l'axe de la plante. L'allongement des racines est particulièrement sensible à l'auxine (AIA) ; qui à de très faibles concentrations, provoque la croissance des racines excisées ou intactes, et à des concentrations plus élevées, ils stimulent l'allongement des tiges (Hopkins ; 2003). De ce fait, certaines espèces libèrent des substances toxiques pour freiner le développement des espèces concurrentes en inhibant l'action des auxines par exemple. Ce mécanisme est appelé « l'allélopathie ».

Plusieurs travaux notoires ont étudié les processus de cette interaction dont les travaux de Whittaker et Feeny, 1971 ; Harborne, 1982 ; Rice, 1984 ; Putnam et Tang, 1986 ; Gopal et Goel, 1993 ; Seigler, 1996). Généralement, ils pensent à des plantes exsudant des poisons qui empêchent la croissance des autres plantes (Ricklefs et Miller, 2005). Einhellig et Leather (1988), Purvis (1990) et Watson (1992) cités par Kim (2004) ont rapportés que les produits chimiques normaux exerçant un effet allélopathique peuvent être les composés secondaires simples ou complexes. De leur côté, Ferguson et al. (2003) et Fanny (2005) ont

rappelé que ces composés allélopathiques sont des métabolites secondaires appartenant à différentes classes de composés chimiques, issus souvent de la voie du Shikimate, le plus souvent des composés phénoliques sous forme active (libre et protonée) (Blum, 2004). Ces substances varient qualitativement et quantitativement dans les différentes parties de la plante (fleurs, feuilles, épines, racines, tiges etc). Feeny, (1976) a défini le phénomène d'allélopathie comme une interférence chimique d'une ou plusieurs substances d'une espèce végétale avec une autre. Lorsque les plantes sensibles sont exposées à des produits allélochimiques, la germination et la croissance peuvent être affectées. Cependant, l'allélopathie n'apparaît que lorsque des quantités suffisantes de substances allélopathiques atteignent la graine cible. Hhashoum et al. 2017 ont montré que *Continus coggygria* montre un potentiel allélopathique marqué aussi bien en conditions de bio essais sur la germination et la croissance d'espèces herbacées qu'en condition naturelle sur les plantules de Chêne pubescent. Au contraire, *Acacia monspessulanum* n'a montré des effets que sur les espèces herbacées. Ces différents modes d'action allélopathiques, généralistes dans le cas de *Continus coggygria* et plus spécifiques dans le cas d'*Acacia monspessulanum*, sont peut-être liés à une différence quantitative : *Cnotinus coggygria* possède une grande quantité de composés phénoliques qui peuvent affecter une large gamme d'espèces cibles, tandis que la quantité de phénols contenus dans *A. monspessulanum* ne serait pas suffisante pour affecter certaines espèces. Bourgoïn (1999) a indiqué que, les composés responsables de l'allélopathie sont présents partout dans la plante, mais leurs concentrations est plus élevée dans les feuilles et les graines. Elles peuvent persister dans le sol et donc affecte plusieurs successions de végétation et les plantes voisines.

Des études antérieures réalisées par Chou, (1999) ; Souto et al. (1995), González et al. (2016) ; ont également indiqué que la diversité des espèces végétales pourrait être altérée en raison de composés allélopathiques. Noumide (2010) ; a aussi démontré un éventuel effet autoallélopathique et la dominance des interactions négatives (compétition) entre la végétation du Parc National du Bou Hedma et les jeunes plants d'*Acacia tortilis* et *Acacia radiana*.

ETUDE PHYTOCHIMIQUE D'A. MEARNSII

1.1 Rendement des extraits d'A. mearnsii

L'extraction par la macération à permet d'obtenir de différents extraits selon la couleur, l'aspect ainsi que le rendement de chaque extrait par rapport à la poudre sèche sont représentés dans (Tab.19 ; Fig.47). Les extraits obtenus présentent majoritairement un aspect liquide, de couleur vert foncé, marron ou jaune. Cela est dû à la présence des pigments végétaux ou bien à la nature des polyphénols entraînés par le solvant utilisé lors de l'extraction et à leur solubilité dans le solvant.

Selon les résultats (Fig.48), nous observons une nette différence entre les rendements des cinq extraits d'A. mearnsii. C. Les meilleurs rendements enregistrés sont ceux de l'extrait des fleurs (15,17 %) suivis de l'extrait des feuilles (7,56 %) puis l'extrait d'écorce (6,6%), l'extrait des racines (6,56 %), et l'extrait des gousses (6,33%).

Tableau 19 : Caractéristiques organoleptiques des extraits d'A. mearnsii obtenus

<i>Partie végétale</i>	<i>Aspect</i>	<i>Couleur</i>
<i>Extrait de feuille</i>	Liquide	Vert foncé
<i>Extrait de fleurs</i>	Visqueux	Jaune foncé
<i>Extrait de racines</i>	Liquide	Jaune foncé
<i>Extrait de gousses</i>	Liquide	Marron orangé
<i>Extrait d'écorce</i>	Liquide	Marron foncé



Figure 47 : Extraits d'A. mearnsii obtenus

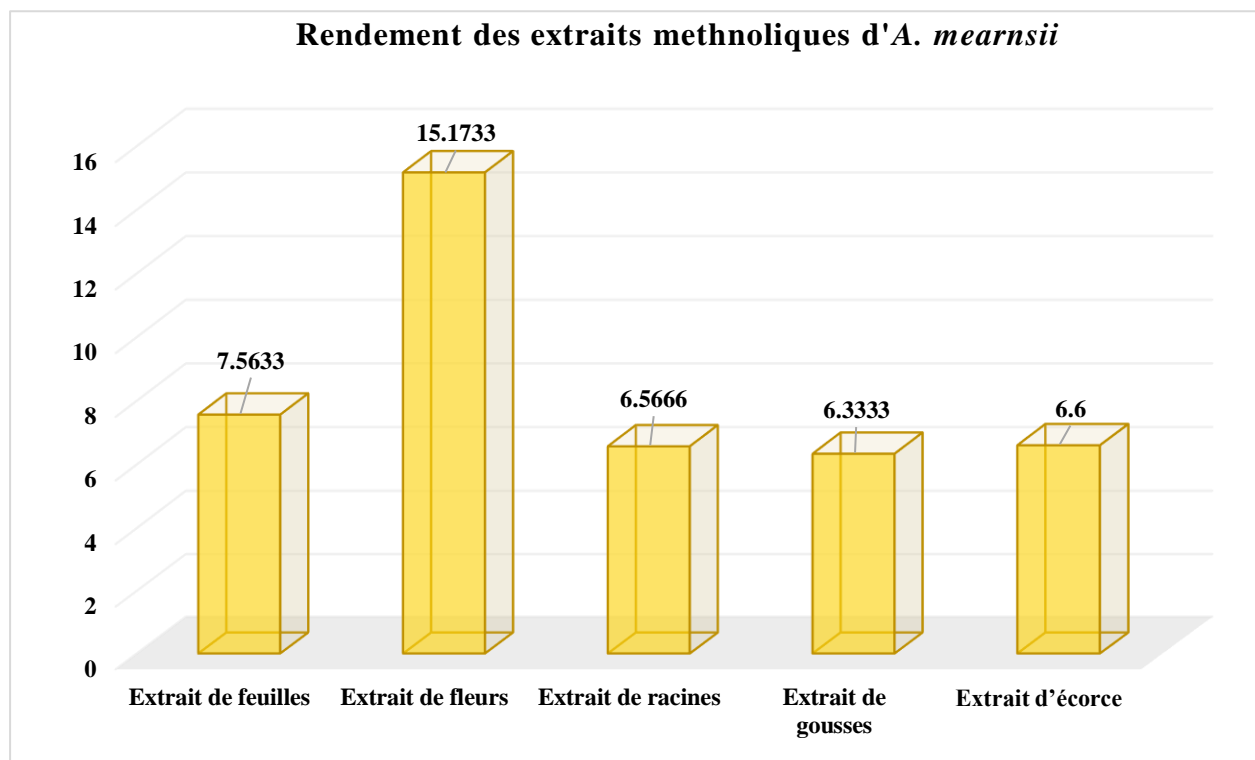


Figure 48 : Rendement des extraits méthanoliques d'*A.mearnsii*

1.2 Analyses qualitative des extraits d'*A. mearnsii*

1.2.1 Screening phytochimique

Les tests phytochimiques réalisés dans ce travail sur les extraits d'*A. mearnsii* révèlent la présence de plusieurs métabolites secondaires notamment dans l'extrait méthanolique, les résultats sont résumés dans le **Tableau 20**. Il a permis de mettre en évidence la richesse d'*A. mearnsii* en diverses classes de métabolites secondaires dans les cinq parties. Nous avons noté la présence des polyphénols, des flavonoïdes, des tanins hydrolysables, des coumarines, des alcaloïdes, des terpènes et des stérols dans l'extrait des feuilles ; cependant il est pauvre en tanins catéchiques. En ce qui concerne les analyses de l'extrait de fleurs ces résultats montrent que les fleurs d'*A. mearnsii* sont très riches en composés phénoliques tel que polyphénols, flavonoïdes et tanins catéchiques. Ils s'avèrent que l'extrait des racines est aussi riche en flavonoïdes, en tanins hydrolysables, en alcaloïdes, en coumarine ainsi qu'en terpènes et stérols mais pauvre en anthraquinones libres, en mucilage et en tanins hydrolysables.

Tableau 20 : Résultats du screening phytochimique des feuilles, des fleurs, des racines, des gousses et de l'écorce d'*A. mearnsii*. (+) : Présence (-) : Absence

	Feuilles	Fleurs	Racines	Gousses	Ecorce	Réaction
Anthocyanes	-	-	-	+	+	
Flavonoïdes : Réaction à la cyanidine	+	+	+	+	+	
Flavonoïdes : Test à la soude	+	+	+	+	+	
Tanins	+	+	+	+	+	
Tanins catéchiques	-	+	-	+	+	
Tanins hydrolysables	+	-	+	-	+	
Alcaloïdes	-	+	+	+	+	
Coumarines	+	-	+	+	-	
Terpènes et stérols	+	+	+	+	+	
Anthraquinones libres	-	-	-	-	-	
Mucilage	-	-	-	-	-	

Les racines d'*A. mearnsii* renferment des flavonoïdes, des tanins hydrolysables, des alcaloïdes, des coumarines ainsi que des terpènes et stérols. Le screening phytochimique de l'extrait des gousses indiquent la présence des flavonoïdes (test à la soude positif), appartenant soit au groupe des chalcone, dihydrochalcones, aurones, catéchines ou isoflavones (test à la cyanidine positif aussi). La recherche des tanins montre la présence des tanins catéchiques et l'absence des tanins galliques, il renferme aussi des anthocyanes, des stérols et terpènes, des alcaloïdes ainsi que des coumarines. Mais il ne contient pas du mucilage. Enfin, les tests phytochimiques effectués sur l'extrait des écorces ont permis de mettre en évidence la présence ou non de différentes familles de composés recherchés, huit (08) familles sur les onze (11) ont été détecté à savoir : anthocyanes, tanins (flavonoïdes (test à la soude et à la cyanidine sont positifs), alcaloïdes, stérols et terpènes cependant ce criblage phytochimique a révélé l'absence d'anthraquinones libres, de coumarines et du mucilage.

1.2.2 Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)

Les spectres Infrarouge (IR) sont utilisés pour identifier les groupes fonctionnels de métabolites secondaires sur la base de la valeur des pics dans la région de 4500 à 500 cm^{-1} . Un spectre Infra Rouge permet d'obtenir des informations sur le groupe caractéristique dans la molécule étudiée (Yadav, 2013). Chaque bande d'absorption est associée à un type de liaison ce qui permet de retrouver le groupe caractéristique (Yadav, 2013). La spectroscopie infrarouge est utilisée en chimie organique pour la détection des groupes fonctionnels, la confirmation de l'identité des composés et le suivi des réactions. L'ensemble de ces résultats (**Fig. 49 et 51**) montre la présence de chaînes aliphatiques saturées et insaturées, de groupements carbonyles, de groupements amine et hydroxyle, de structures carbonées avec des liaisons multiples, de groupements carbonyles ester, de groupements alcools (acides carboxyliques) et de groupements alcools (acides carboxyliques, phénols) et de cycles aromatiques (phénols).

En se référant au tableau 21, Le spectre de la partie feuille (**Fig.49 A**) montre la présence de bandes à 867 cm^{-1} (stérols) ; 1486,1 cm^{-1} (tanins et acide ellagique), 1653,3 cm^{-1} (terpènes), 1727 cm^{-1} (composés phénoliques, 1843,3 cm^{-1} (composés phénoliques) ,1981,2 cm^{-1} (acide gallique), 2155,6 cm^{-1} (composés phénoliques), 3018 cm^{-1} et 3277 cm^{-1} (tanins), 2743,1 cm^{-1} 3745 cm^{-1} , 3851 cm^{-1} et 3917,9 cm^{-1} (flavonoïdes).

Le spectre des fleurs (**Fig. 49 B**) montre la présence de la fonction amine traduit par la bande 1026,7,4 cm^{-1} indiquant la présence d'alcaloïdes par la vibration aliphatique du groupement C/N.

Les autres bandes notamment celles à $3037,2\text{cm}^{-1}$ et 3293cm^{-1} (tanins), $3673,8\text{cm}^{-1}$, $3745,3\text{cm}^{-1}$ et 3743cm^{-1} (flavonoïdes), $1843,3\text{cm}^{-1}$, indiquent également la présence des composés phénoliques flavonoïdes et tanins. On peut noter que le spectre présentant la bande à $871,6\text{cm}^{-1}$ attribue au groupe méthyle terminal des stérols. Le pic traduit par la bande $1617,5\text{cm}^{-1}$ indique la présence des terpènes. La vibration symétrique du cycle H-(C=C) $1557,5\text{cm}^{-1}$ montre la présence de résorcinol. $2917,9\text{cm}^{-1}$ (hydrocarbures aliphatiques).

Dans le spectre de racine (**Fig.49 C**), on note également la présence des bandes à $3309,4\text{cm}^{-1}$ et $3092,2\text{cm}^{-1}$ (tanins) ; $3743,3\text{cm}^{-1}$; $3745,3\text{cm}^{-1}$ et $3800,3\text{cm}^{-1}$ (flavonoïdes) ainsi qu'à $1843,3\text{cm}^{-1}$; caractéristiques des vibrations des groupes (O-H) présents dans les composés phénoliques. Les bandes d'absorption figurant à $2917,9\text{cm}^{-1}$, $866,6\text{cm}^{-1}$, sont attribuées à la vibration d'élongation du cycle aromatique. Ce qui indique la présence de stérols. Les bandes d'absorption caractéristiques à $1617,5\text{cm}^{-1}$ et $1027,4\text{cm}^{-1}$ attribuent à la vibration du groupement (C=C) et l'élongation aliphatique du (C-N) et ça indique la présence des terpènes et alcaloïdes dans les racines. La bande d'absorption présente $1533,2\text{cm}^{-1}$ est considérées comme bande de marquage des phénols confirme que cette bande est attribué à la molécule résorcinol des tanins de mimosa.

L'ensemble des résultats obtenus pour les gousses (**Fig.50 D**) montre la présence de la fonction amine traduite par la bande 1026cm^{-1} indiquant la présence d'alcaloïdes. Les bandes à $1617,5\text{cm}^{-1}$ indiquent également la présence de terpène. La présence des larges bandes à $3274,4\text{cm}^{-1}$; $3743,1\text{cm}^{-1}$; $3881,7\text{cm}^{-1}$; $3854,6\text{cm}^{-1}$ traduit la présence de tanins et flavonoïdes et terpènes dans cet organe. La présence simultanée des groupements hydroxyle et amine donne une superposition de leurs bandes d'absorption habituelle. Le spectre présente une bande à $881,6\text{cm}^{-1}$, qu'on attribue au groupe méthyle terminal des stérols et traduit la présence de cette famille dans les gousses. La bande $1700,4\text{cm}^{-1}$; $1699,7\text{cm}^{-1}$ et $1843,3\text{cm}^{-1}$ présente le spectre des acides phénoliques. La famille des phénols, et l'acide ellagique est représentée à $1495,4\text{cm}^{-1}$.

L'ensemble des résultats obtenus pour le spectre d'écorce (**Fig.50 E**) montre la présence de la fonction amine traduite par la bande à $1026,7\text{cm}^{-1}$ indiquant la présence d'alcaloïdes. Les autres bandes notamment celles à $878,1\text{cm}^{-1}$ et $1617,5\text{cm}^{-1}$ indiquent également la présence de terpènes et stérols. Des larges bandes à $3090,8\text{cm}^{-1}$; $3254,8\text{cm}^{-1}$ ainsi que les bandes à 3745cm^{-1} ; $3743,1\text{cm}^{-1}$ et 3851cm^{-1} ont été identifiées dans la même fraction. Elles sont dues principalement aux groupements OH phénoliques, présents dans la structure des tanins et

flavonoïdes. En plus la présence de la fonction acide traduite par la bande à $1575,5 \text{ cm}^{-1}$ indique la présence d'acide gallique et le résorcinol. On note également la présence d'une bande à $2917,9 \text{ cm}^{-1}$ caractéristique des vibrations des groupes CH et CH₂ présents dans les hydrocarbures aliphatiques.

Tableau 21 : Bandes d'absorption caractéristiques des composés phénoliques identifiées dans les cinq parties d'*A.mearnsii* (Tondi et Petutschnigg, 2015).

Bande	Attribution	Composés identifiés	References	Parties étudiées
866,6cm ⁻¹	Hochement ou Déformation angulaire hors du plan. (ω -CH ₃)	Groupe méthyle terminal des stérols	Bulama et al., 2015 ; Itoh et al., 1976	Racine
867,3 cm ⁻¹	Hochement ou Déformation angulaire hors du plan. (ω -CH ₃)	Groupe méthyle terminal des stérols	Bulama et al., 2015 ; Itoh et al., 1976	Feuille, Racine
872,5 cm ⁻¹	Hochement ou Déformation angulaire hors du plan. (ω -CH ₃)	Groupe méthyle terminal des stérols	Bulama et al., 2015 ; Itoh et al., 1976	Feuille, fleur
878,1 cm ⁻¹	Hochement ou Déformation angulaire hors du plan. (ω -CH ₃)	Groupe méthyle terminal des stérols	Itou et al., 1976 ; Bulama et al., 2015	Écorce
881 cm ⁻¹	Hochement ou Déformation angulaire hors du plan. (ω -CH ₃)	Groupe méthyle terminal des stérols	Itou et al., 1976 ; Bulama et al., 2015	Gousse
1026,7 cm ⁻¹	Vibration aliphatique de (ν C-N)	Alcaloïdes	Hocquemiller et al., 1984	Fleur, écorce, gousse, racine
1486,1cm ⁻¹	Cisaillement de (δ -CH ₃)	Tanins, acide ellagique	Schwanninger et al., 2004 ; Tondi et al., 2014.	Feuille
1495,4 cm ⁻¹	Vibration asymétrique de -H-C=C- (cycle aromatique)	Phénol, acide éllagique	Ajuong et Redington.,2004 ; Ajuong et Birkinshaw ..2004; Ajuong et Breeze.,1998; Kim et Kim.,2003; Nonier et al., 2005	Gousse
1535 cm ⁻¹	Vibration symétrique de - H-(C=C)	Phénol, Acide gallique, Résorcinol	Oo et al.,2009 ; Ping et al.,2012 ; Jensen et al., 2008	Racine
1538,2cm ⁻¹	Vibration symétrique de - H-(C=C)	Phénol, Acide gallique, Résorcinol	Oo et al.,2009 ; Ping et al.,2012 ; Jensen et al., 2008	Racine
1557,5 cm ⁻¹	Vibration symétrique de - H-(C=C)	Phénol, Acide gallique, Résorcinol	Oo et al.,2009 ; Ping et al., 2012 ; Jensen et al., 2008	Fleur, écorce

1575cm ⁻¹	Vibration de (ν –(C=C)	Terpènes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen., 2004b	Ecorce
1617,5 cm ⁻¹	Vibration de (ν –(C=C)	Terpènes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen., 2004b.	Fleur, écorce, gousse, racine
1653,3 cm ⁻¹	Vibration de (ν –(C=C)	Terpènes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen., 2004b	Feuille
1700,4 cm ⁻¹	Vibration de (ν –(C=O) -OH)	Composés phénoliques	Williams et Grayer, 2004	Gousse
1725,5 cm-1	Vibration de (ν –(C=O) -OH)	Acides phénoliques	Williams et Grayer, 2004	Feuille
1727 cm-1	Vibration de (ν –(C=O) -OH)	Composés phénoliques	Williams et Grayer, 2004	Feuille
1843,3 cm ⁻¹	Vibration de (ν –(C=O) -OH)	Composés phénoliques	Williams et Grayer, 2004	Feuille, fleur, racine
1981,2 cm ⁻¹	Déformation de (OH- (ω, OH)	Acide gallique	Schwanninger et al.,2004 ; Tondi et al., 2014).	Feuille
2155,6 cm ⁻¹	Vibration de (ν –(C=O) -OH)	Composés phénoliques	Williams et Grayer., 2004	Feuille
2917,9 cm ⁻¹	Vibration aliphatique de (CH=CH2)	Hydrocarbures aliphatiques	Lee et Lan, 2006 ; Ping et al., 2012	Feuille, fleur, écorce
3018 cm ⁻¹	Vibration de (ν O-H)	Tanins	Lee et Lan, 2006 ; Ping et al., 2012	Feuille
3037,2 cm ⁻¹	Vibration de (ν O-H)	Tanins	Lee et Lan, 2006 ; Ping et al., 2012	Fleur
3090,8 cm ⁻¹	Vibration de (ν O-H)	Tanins	Ping et al., 2012	Ecorce, racine
3254,8 cm ⁻¹	Vibration de (ν O-H)	Tanins	Ping et al., 2012	Écorce
3274,4cm ⁻¹	Vibration de (ν O-H)	Tanins	Ping et al., 2012	Gousse
3277,3 cm ⁻¹	Vibration de (ν O-H)	Tanins	Ping et al., 2012	Feuille, gousse
3293 cm ⁻¹	Vibration de (ν O-H)	Tanins	Ping et al., 2012	Fleur
3309,4 cm ⁻¹	Vibration de (ν O-H)	Tanins	Ping et al., 2012	Racine
3673,8 cm ⁻¹	Vibration de (ν O-H)	Flavonoïdes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen, 2004b	Fleur
3743cm ⁻¹	Vibration de (ν O-H)	Flavonoïdes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen, 2004b	Gousse
3745 cm ⁻¹	Vibration de (ν O-H)	Flavonoïdes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen, 2004b	Feuille, fleur, racine, gousse, écorce
3800,3cm ⁻¹	Vibration de (ν O-H)	Flavonoïdes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen, 2004b	Racine
3851 cm ⁻¹	Vibration de (ν O-H)	Flavonoïdes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen,2004b	Feuille, racine, gousse, écorce
3854,6cm-1	Vibration de (ν O-H)	Flavonoïdes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen,2004b	Gousse

ν (Elongation), β (Flexion dans le plan), γ (Flexion hors du plan), ω (Hochement ou Déformation angulaire hors du plan), ρ (Balancement ou Déformation angulaire dans le plan), τ (Torsion), δ (Cisaillement), a (asymétrique), s (symétrique).

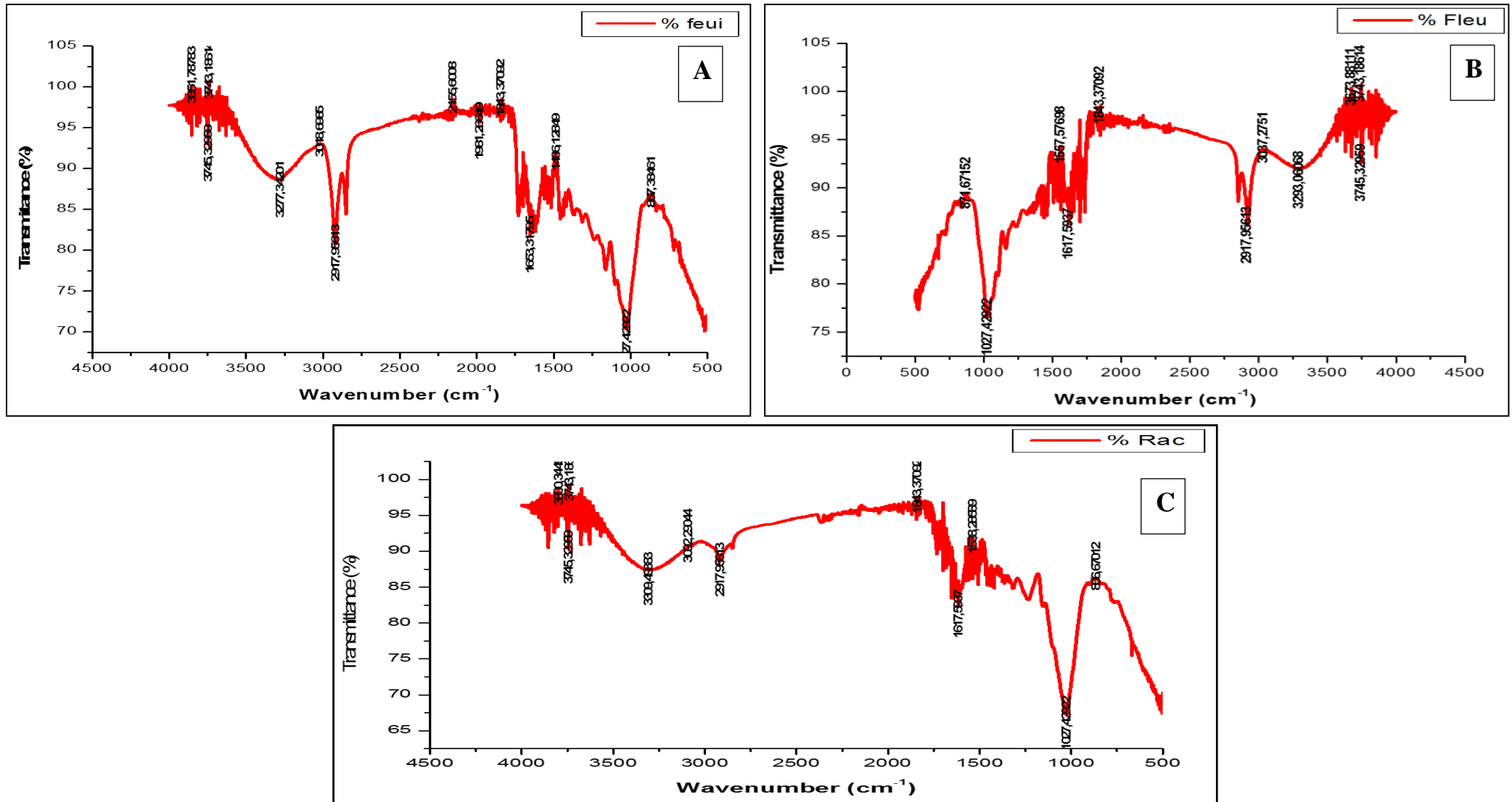


Figure 49 : Spectres infrarouge des feuilles, fleurs et racines d'*A.mearnsii*

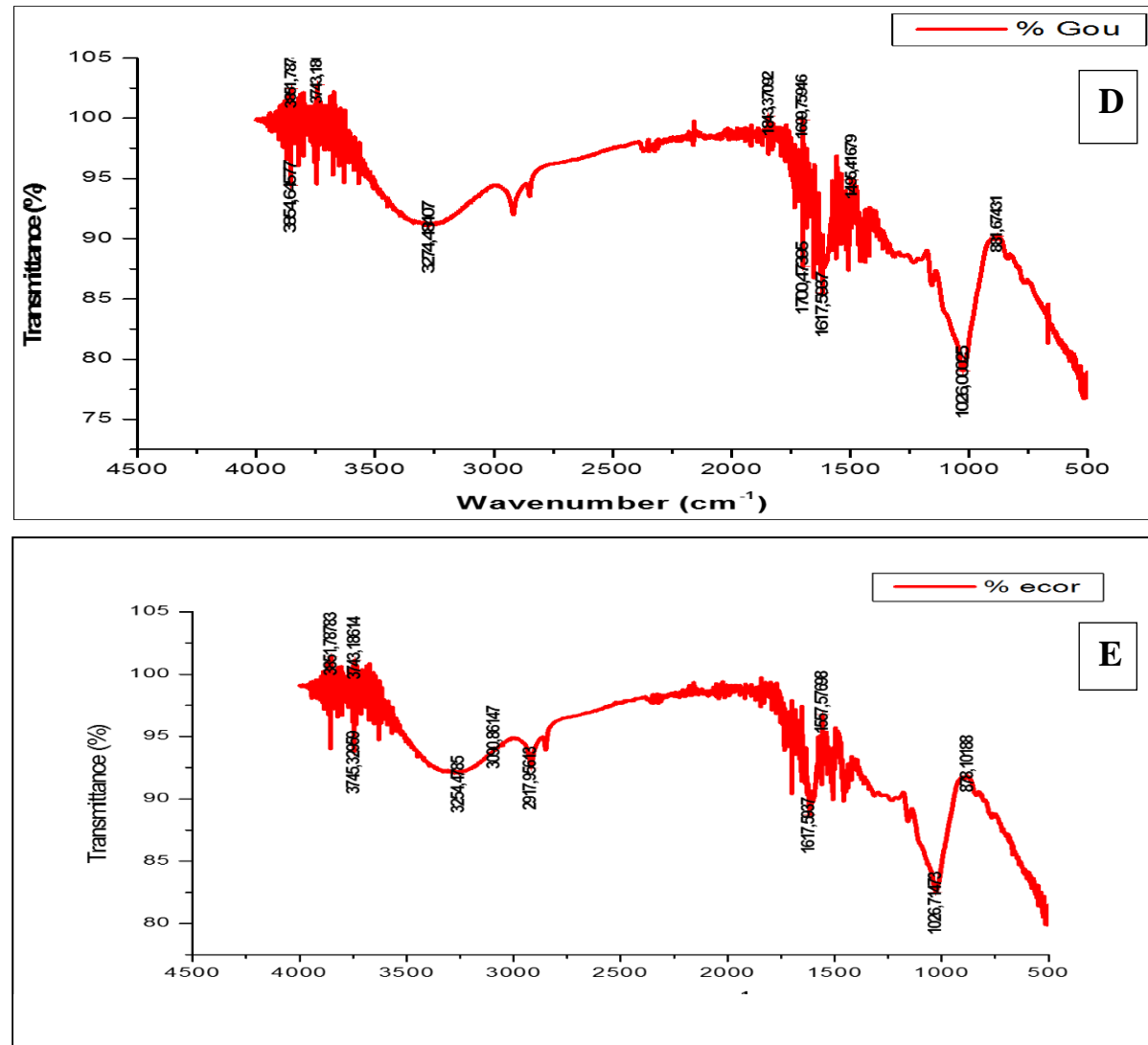


Figure 50 : Spectres infrarouge des gousses et ecorce d'*A.mearnsii*

1.3 Discussion

Le processus général de caractérisation de nouvelles molécules bioactive à partir matrice complexe telle que les plantes, fait intervenir différentes étapes dont les trois principales sont l'extraction, le dosage et l'identification des composés d'intérêt, toute a été guidé par des analyses phytochimiques. La technique qu'on a utilisée pour l'extraction des composés secondaires par le méthanol a donné un bon rendement. Les cinq extraits d'*A. mearnsii* ont enregistré des rendements satisfaisants, le plus élevé est celui de l'extrait des fleurs (15,17 %) suivi de l'extrait des feuilles (7,56 %) puis l'extrait d'écorce (6,6%), l'extrait des racines (6,56 %), et l'extrait des gousses (6,33%). La différence de rendement peut être expliquée par la variabilité de composition chimique de chaque partie (Shah et al. 2017) et de leurs teneurs en composés phénoliques. Il s'ensuit, que le rendement d'extraction et la composition des extraits varient selon l'espèce végétale, la saison de prélèvement, la durée de séchage, le climat, la composition biochimique de la plante à savoir leurs teneurs en métabolites secondaires, l'organe ciblé influencent aussi (Hadj-Salem, 2009).

Il est à noter que les extractions par des solvants sont les procédures les plus couramment utilisées pour préparer les extraits de matières végétales en raison de leur facilité d'utilisation, leur efficacité et leur large applicabilité. De nombreux travaux ont rapporté que le rendement en extraction chimique dépend du type de solvant avec différentes polarités, du temps d'extraction, de la température, du rapport échantillon/solvant ainsi que de la composition chimique et des caractéristiques physiques des extraits. Tirichine, (2010), indique que le choix du système de solvant d'extraction est très important dans la détermination des teneurs en polyphénols totaux. La méthode d'extraction peut influencer elle-même sur le rendement d'extraction, Hamid EL-Haoud Zaidi, et al, (2018) sont intéressés à chercher le solvant le plus performant pour l'extraction des composés phénoliques, ils ont conclu que les meilleurs rendements reviennent aux extraits obtenus par l'eau et le méthanol à l'opposé de l'hexane et le dichlorométhane, et que la macération par l'eau et le méthanol est la meilleure technique pour l'identification et la caractérisation des métabolites polyphénoliques.

Les résultats du test phytochimique ont fait ressortir une répartition hétérogène des métabolites secondaires pour les différentes parties de la même plante. Cette analyse a montré que l'écorce et les gousses d'*A. mearnsii* sont les plus riches en métabolites secondaires avec la présence de huit (8) familles sur les onze (11) recherchés. En effet, une grande partie de ces

métabolites secondaires sont des composés de défense qui éloignent les prédateurs ou inhibent la croissance de plantes concurrentes. Ces molécules sont aussi concentrées dans les racines, parties du végétal la plus exposée aux agressions de l'environnement avec sept (7) composés. Enfin les fleurs et les feuilles d'*A. mearnsii* contiennent toutes les deux six (6) familles de métabolites secondaires. Les résultats du criblage phytochimique révèlent la présence de flavonoïdes et de stéroïdes et terpènes, l'absence d'anthraquinones libres et du mucilage dans l'ensemble des organes d'*A. mearnsii*. Les anthocyanes sont uniquement présents dans les gousses et l'écorce. Les alcaloïdes sont présents dans les fleurs, les racines, les gousses et l'écorce mais absents dans les feuilles. Les coumarines sont présentes dans les feuilles, les racines et les gousses mais absents dans les fleurs et l'écorce d'*A. mearnsii*, toutes les formes de tanins sont présentes dans les organes d'*A. mearnsii*, les tanins catéchiques sont concentrés dans les fleurs, les gousses et l'écorce et sont totalement absents dans les fleurs et les racines cependant nous avons noté l'absence de tanins hydrolysables dans les fleurs et les gousses et leurs présences dans les trois autres parties de l'arbre. Koudor et al. (2019) ont révélé également la présence de ces métabolites dans les extraits d'écorce d'*Acacia polyacantha*, mais pas de flavonoïdes et anthraquinones, au niveau de l'écorce de tronc de cette plante récoltée à Zaria au Nigéria. Rasool en (2014), a démontré que les feuilles et les gousses d'*Acacia jacquemontii benth* sont riches en alcaloïdes, flavonoïdes, saponines, tannins et composés phénoliques. Les écorces, les feuilles, les racines et les gousses d'*Acacia arabica* et *Acacia radiana* ont été riches en métabolites secondaires très actifs tels que les saponines, les triterpènes, les alcaloïdes, les flavonoïdes et les tanins (Tindale et Roux, 1975 ; Sahai et al. 1980 ; Malan, 1991 ; El-Mousallamy et al. 1991 ; Hosamani et al. 2002 ; Seigler, 2003 ; Pinkard, 2003, Ncube et al., 2012). Les polyphénols et les tanins ont été également détectés chez *Acacia molissima* (Rhazi et al. 2015). Des travaux antérieurs sur les extraits des écorces et des racines d'*Acacia macrostachya* ont révélé la présence des terpènes, des stéroïdes, des flavonoïdes, des tanins et des alcaloïdes (Hamidou et al. 2021). Trabelsi et al. (2019), ont montré la richesse des racines d'*Acacia nilotica* en alcaloïdes, en tanins, en flavonoïdes, en terpènes et stéroïdes.

Le screening phytochimique par formation de coloration ne renseigne point sur la nature des molécules chimiques, donc pour plus de confirmation, nous avons eu recours à une spectroscopie infrarouge IR pour confirmer, fractionner et identifier les constituants des polyphénols tanins et flavonoïdes. Cette caractérisation IR effectuée sur nos cinq extraits a enregistré des bandes caractéristiques des polyphénols, des tanins, des flavonoïdes, des

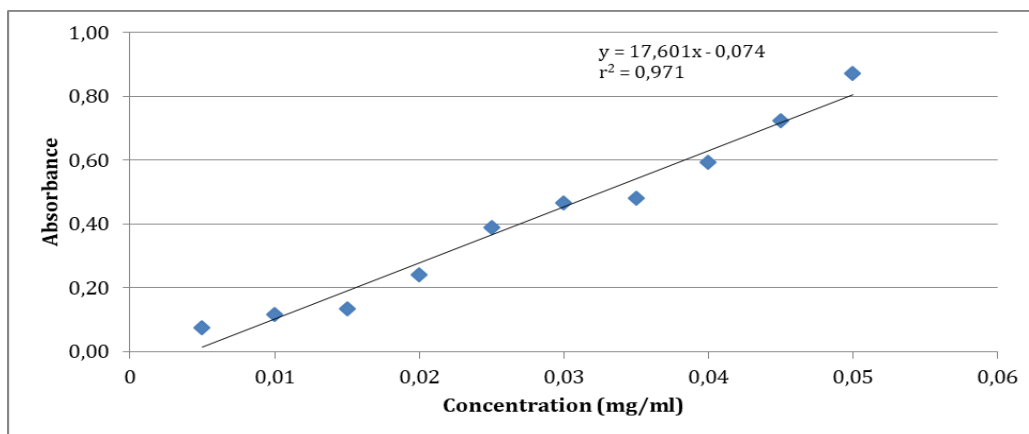
stérols, des terpènes et des alcaloïdes, Ce qui confirme encore les résultats du screening chimique qui montrait la richesse d'*A. mearnsii* en métabolites secondaires, de plus trois molécules spécifiques d'acacia : le résorcinol, l'acide gallique et l'acide ellagique ont été identifié par cette caractérisation. Ces résultats sont en adéquation avec ceux de Rhazi et al. (2021), sa caractérisation IR sur les écorces d'*Acacia mollissima* de la région d'Elmaamoura au Maroc a révélé la présence des pics caractéristique de l'acide gallique, l'acide ellagiques et le résorcinol et aussi de quelques flavonoïdes comme le flavanol et le flavanone. Ejidike et al. 2020, ont détecté six (06) groupes fonctionnels dans les feuilles d'*A. mearnsii* indiquant la présence de flavonoïdes et acides phénoliques, alors que nos résultats nous a permet de détecter 13 groupes fonctionnels dans les feuilles et la présence la présence des tanins et stérols. La variation de métabolites secondaires remarquée au niveau de nos résultats par rapport aux travaux antérieurs pourrait être liée à la période de récolte, à la nature du sol ou aux facteurs climatiques (Daddouna et al. 1976 ; Manolaraki et al. 2012).

1.4 Analyse quantitative

Les résultats de l'analyse quantitative des différents extraits bruts, pour leur contenu en polyphénols, flavonoïdes et tanins sont exprimés respectivement en termes d'équivalent de l'acide gallique, la quercétine et l'acide tannique à l'aide d'une courbe d'étalon mentionnée précédemment.

1.4.1 Dosage des polyphénols totaux (PPT)

La courbe d'étalonnage est tracée en utilisant différentes concentrations de l'acide gallique. La concentration polyphénols totaux dans les extraits d'*A. méarnsii* est déterminée en se reportant à la courbe d'étalonnage. La formule de la régression linéaire de cette courbe est de : $y = 17,601x + 0,074y$, pour un facteur de détermination égal à 0,971 (**Fig.51**). Les résultats sont exprimés en milligramme équivalent d'acide gallique par gramme de matière sèche (mg EAG/g MS).



Après extrapolation sur la courbe (**Fig.51**), les teneurs en polyphénols totaux exprimés en mg équivalent d'acide gallique par gramme de matière végétale sèche sont reportés dans la **figure 52**. Les résultats de la figure 51 indiquent une variabilité très importante intraspécifique en fonction de l'organe. Cette variabilité est plus importante dans l'extrait d'écorce où nous avons noté une concentration en PPT de 3541,4 mg EAG/g MS, suivi des racines (1581,3 mg EAG/g MS) des fleurs (1268,1 mg EAG/g MS), et des gousses (1232,35 mg EAG/g MS). Les feuilles ont marqué la teneur la plus faible avec 234,593 mg EAG/g MS.

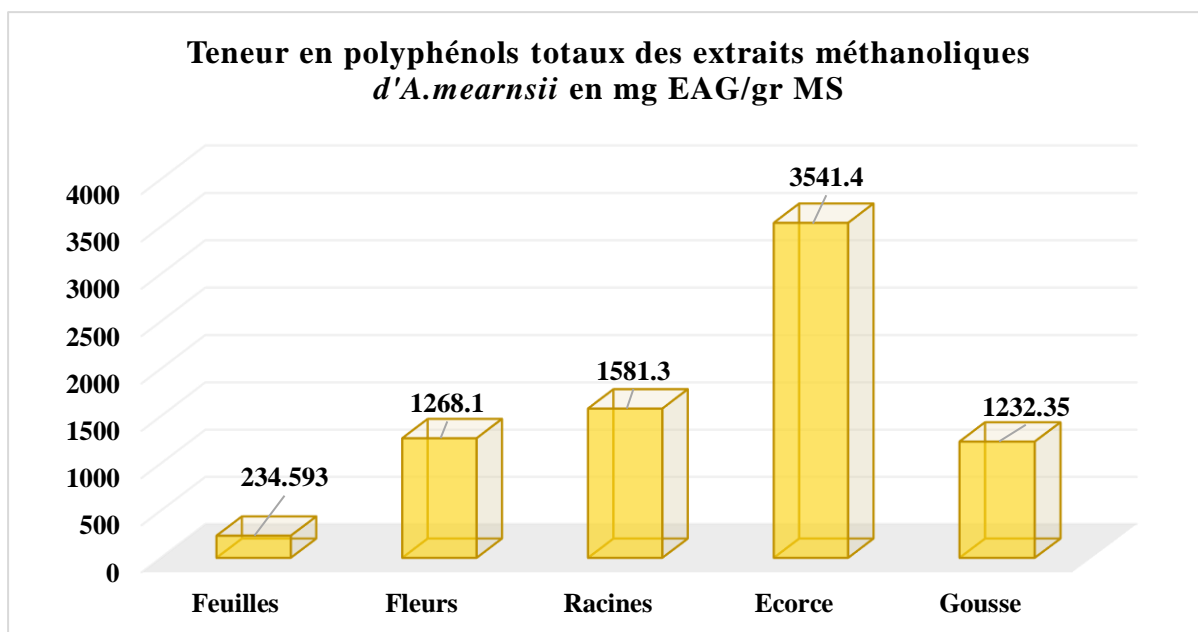


Figure 52 : Teneurs en polyphénols totaux de l'extrait méthanolique exprimé en mg EAG/g MS de différentes parties d'*A. mearnsii*

1.4.2 Dosage des tanins

La courbe d'étalonnage est tracée en utilisant différentes concentrations de l'acide tannique. La concentration de tanins dans les extraits d'*A. mearnsii* est déterminée en se reportant à la courbe d'étalonnage. La formule de la régression linéaire de cette courbe est de : $y = 0,368x - 0,140$, pour un facteur de détermination égale à 0,979 (**Fig.53**). Les résultats sont exprimés en milligramme équivalent d'acide tannique par gramme de matière sèche (mg EAT/g MS).

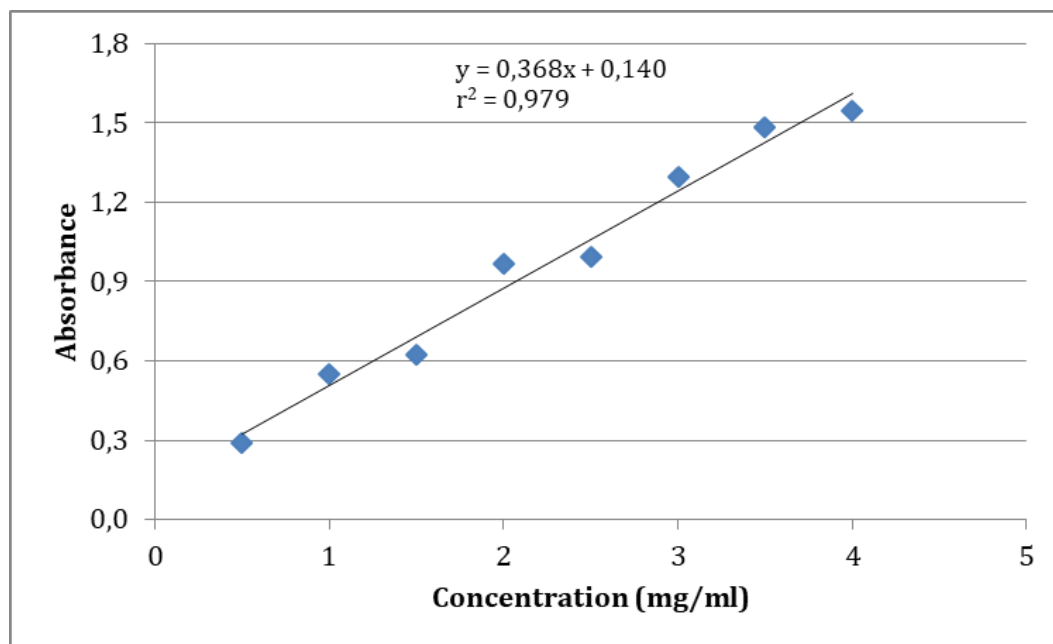


Figure 53 : Courbe d'étalonnage de l'acide tannique pour le dosage des tanins totaux

Les résultats de la **figure 54** indiquent que tous les extraits d'*A. mearnsii* contiennent les tanins. L'extrait d'écorce enregistre une quantité supérieure de tanins par rapport aux autres extraits avec une valeur de 521 mg EAT/g MS et la plus petite dans l'extrait des feuilles avec une valeur de 127,60 mg EAT/g MS. L'extrait des fleurs, des racines et des gousses montrent des teneurs de 149,1 mg EAT/g MS, 358,4 mg EAT/g MS et 365,7 mg EAT/g MS respectivement.

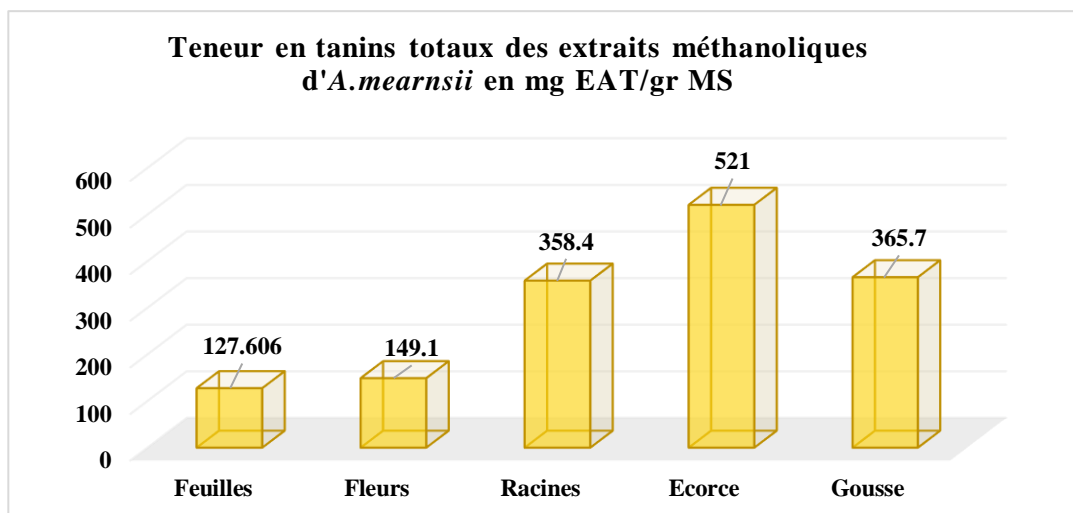


Figure 54 : Teneurs en tanins totaux de l'extrait méthanolique exprimé en mg EAT/g MS de différentes parties d'*A.mearnsii*

1.4.3 Dosage des flavonoïdes

La courbe d'étalonnage est tracée en utilisant différentes concentrations de Quercétine. La concentration de flavonoïdes dans les extraits d'*A.méarnsii* est déterminée en se reportant à la courbe d'étalonnage. L'équation de régression linéaire de cette droite est : $y = 0,530x - 0,092$, pour un facteur de détermination égale à 0,976 (Fig.55). La teneur en flavonoïdes est exprimée en milligrammes équivalent de Quercétine par gramme d'extrait (mg EQ / g d'extrait).

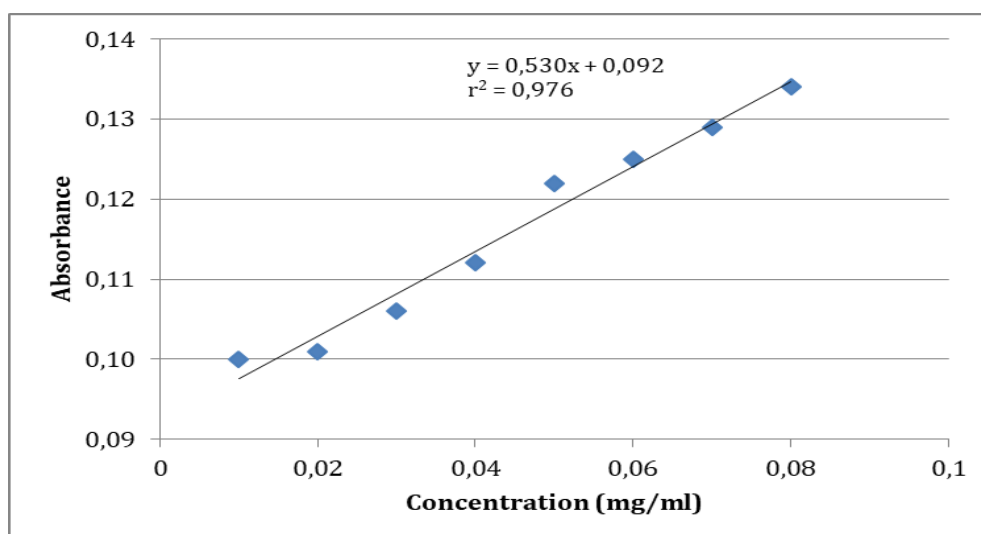


Figure 55 : Courbe d'étalonnage de la quercétine pour le dosage des flavonoïdes

L'analyse quantitative des flavonoïdes au niveau des cinq extraits d'*A.mearnsii* a montré que tous les organes sont riches en flavonoïdes (**Fig.56**). L'extrait d'écorce présente la quantité la plus importante en flavonoïde avec une concentration de 1056,9 mg EQ / g suivi de l'extrait de racines (712,4 mg EQ / g) cependant l'extrait des feuilles enregistre la teneur la plus faible avec concentration (221,39 mg EQ / g). Concernant l'extrait des gousses et des fleurs les valeurs sont presque proches ou nous avons noté 319,3 mg EQ / g et 393,4 mg EQ / g,

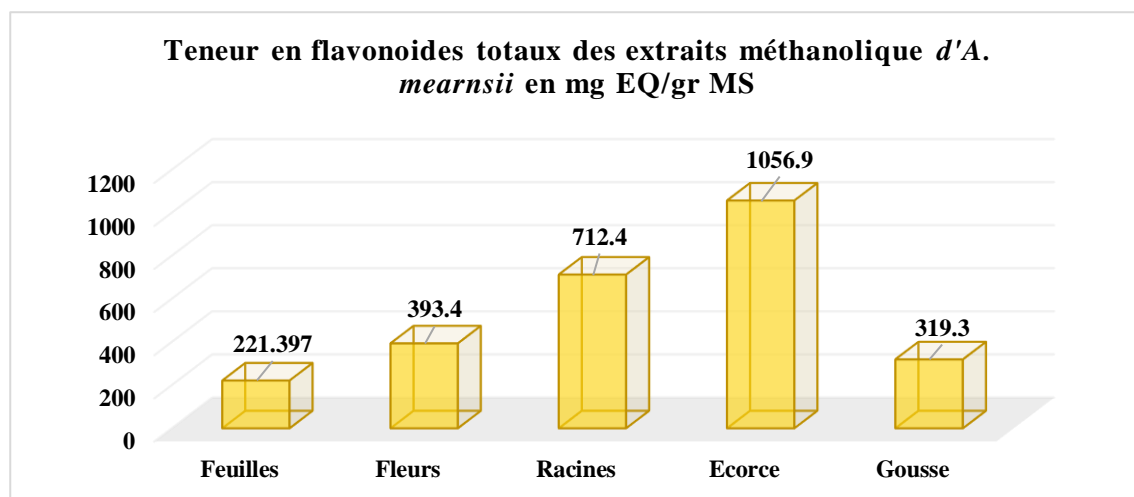


Figure 56 : Teneurs en flavonoïde de l'extrait méthanolique exprimé en mg EQ/g MS de différentes parties d'*A.mearnsii*

respectivement.

	Polyphénols totaux		Tannins		Flavonoïdes	
	Concentration (mg/ml)	Teneur en mg EAG/gr MS	Concentration (mg/ml)	Teneur en mg EAT/gr MS	Concentration (mg/ml)	Teneur en mg EQ/gr MS
Feuilles	8,768	234,593	2,551	127,606	4,426	221,397
Fleurs	25,362	1268,1	2,982	149,1	7,868	393,4
Racines	31,626	1581,3	7,168	358,4	14,248	712,4
Gousses	24,647	1232,35	7,314	365,7	6,386	319,3
Ecorces	70,828	3541,4	10,420	521	21,138	1056,9

Tableau 22 : Récapitulatif de dosage de polyphénols des cinq parties

1.5 Discussion

Au cours de notre étude phytochimique, nous avons déterminé la teneur en polyphénols totaux, en tanins et en flavonoïdes totaux dans différents extraits de cinq parties d'*A. mearnsii*. Nous avons remarqué que les parties les plus riches en composés métaboliques sont organisées dans l'ordre descendant suivants : l'écorce > racines > fleurs > gousses > et feuilles (Tab. 22).

L'écorce d'*Acacia mearnsii* contient des quantités très importantes de composants solubles dans l'eau (Uushona et al., 2021). Les tanins de cette espèce sont considérés comme les principales sources industrielles de proanthocyanidins (PACs : tanins condensés), il a été démontré qu'ils représentent 28,8 % de sa composition métabolique (Batiha et al., 2022). Le dosage des polyphénols totaux montre que l'extrait d'écorce contient la teneur la plus élevée de PPT avec 3541,4 mg EAG/g, de 1056,9 EQ/gr MS de flavonoïdes totaux (FT) et 521mg EAT/g MS c'est-à-dire à une concentration de 10,42 mg/L de tanins condensés. Des quantités de métabolites secondaires inférieures à nos résultats ont été obtenus par Xiong et al. (2017), ils ont enregistré dans les extraits bruts de l'écorce d'*A. mearnsii* 621.1 EAG/g de PPT, 16.4 EQ/gr MS de FT et 52.7 EAT/g MS pour les tanins condensés, tandis qu'ils ont obtenus des teneurs plus élevées avec des fractions du même extrait séparé par HSCCC (high-speed counter-current chromatography) un maximum 983.0 EAG/g pour les PPT, 51,2 EQ/gr MS pour les FT et 95.5 EAT/g MS.

Quant à l'extrait de racines, une concentration de 1581,3 mg EAG/g de polyphénols, 712 EQ/gr de FT MS et 358 EAT/g MS de tanins ont été enregistrées. Des concentrations relativement inférieures ont été obtenues dans les extraits méthanolique des racines d'*Acacia macromoustachya* avec 223,77 mg EAG/g de polyphénols et 210,18 mg EAT/g MS de tanins (Hamidou, 2021).

Concernant les fleurs d'*A. mearnsii* des teneurs très élevées en polyphénols, en flavonoïdes et en tanins ont été enregistrées 1268,1 mg EAG/g, 393,4 EQ/gr, 149,1 EAT/g MS respectivement. Dans les travaux de Belhadi, 2018 ; les teneurs en polyphénols des fleurs d'*A. mearnsii* ont été de 169,53 mg EAG/gr, qui sont des teneurs très faibles par rapport aux notre. Pedro et al. 2022, ont remarqué que le stade de développement des fleurs d'*A. mearnsii* joue un rôle dans sa composition en polyphénols et en flavonoïdes. Le début de la floraison présente des PPT supérieurs (310.55 EAG/g) à ceux du stade tardif (300.03 EAG/g) à l'inverse des FT (317.97 EQ/gr) le stade précoce inférieur au stade tardif (342.73 EQ/gr). Différents travaux ont montré que les polyphénols participeraient activement à la

reproduction sexuelle des plantes. En effet des anthocyanes, des flavanols et des chalcones joueraient un rôle essentiel dans le développement du pollen et du tube pollinique (Bahouran, 1995), cela explique la teneur la plus élevée des polyphénols dans les fleurs d'acacia, vu que la récolte a été faite en pleine saison de reproduction.

Les teneurs des métabolites secondaires de gousses sont également très élevées nous avons noté 1232,35 mg EAG/g Ms de PPT une valeur sept fois supérieur à celle obtenue par Belhadi, (2018) (162,56 mg EAG/gr), des teneurs de 319,3 EQ/gr et 365,7 EAT/g MS de flavonoïdes et de tanins respectivement. Peu de travaux ont été réalisés sur la phytochimie des gousses d'*A. mearnsii* tel qu'il est le cas pour les racines, cependant d'autres travaux similaires confirme que les gousses égrenées d'Acacias sont une source importante et prometteuse de polyphénols à l'encontre des graines (Moulay, 2012). L'analyse quantitative des composés phénoliques (polyphénols totaux, flavonoïdes) a exhibé la richesse des extraits des cosses (gousses égrenées) de l'*Acacia arabica* en phénols totaux par rapport à ceux des graines, avec des valeurs de 259.75 EAG/gr et 4.723 mg EAG/gr respectivement (Moulay, 2012). Chez *Acacia nilotica* la teneur en tanins des gousses était plus basse (186 mg/EAT gr) (Rira, 2019).

Reed (1986), Abdulrazak et al. (2000) et Rubanza et al. (2003) rapportent des teneurs élevées en composés phénoliques et en tanins dans les feuilles de certaines Acacia. Dans ce travail, les feuilles d'*A. mearnsii* sont l'organe le moins concentré en composés chimiques avec 234,593 mg EAG/g de PPT. Belhadi et al. 2018 a enregistré une teneur de 111,20 mg EAG/gr de PPT, tandis que, Uushona et al. (2021) ont noté des concentrations un peu plus élevées en saison froide et humide 295 mg EAG/gr et 307 mg EAG/gr en saison chaude et sèche. Ces auteurs suggèrent que la variation saisonnière influence la qualité nutritive et phytochimique des feuilles d'*A. mearnsii*. Il en est de même pour les flavonoïdes qui ont marqué respectivement, des variations selon la saison sec et fraîche (0,35 et 0,29 mg EQ/gr), et les tanins, (285 et 269 mg/EAT) (Uushona et al. 2021). Xiong et al. 2016 ont repéré des variations de concentrations des composés phénoliques des feuilles d'*A. mearnsii* dans différents types de solvants et leurs éluions, cependant, les extraits méthnolique ont enregistré des teneurs élevées de PPT (630.7 mg EAG/gr) et des teneurs moyennes en Ft (283 mg EQ/gr) et faible en tanin condensés (12.6 mg/EAT). Nos résultats restent toujours, supérieurs à ceux dénichés dans la littérature (Flavonoïdes 221,39 mg EQ/gr et tanin 127,60 mg/EAT gr).

Nos résultats sont remarquablement importants, des teneurs en composés phénoliques qui se situent entre (120 et 3500 mg/g) sont différents des teneurs revues dans la littérature sur la majorité des espèces d'acacia et notamment *A. mearnsii*. Khelalfa et ses collaborateurs en (2021) a montré que des arbustes d'*Acacia dealbata*, *Acacia horrida* et *l'acacia pycnanatha*, contiennent des teneurs élevées en PPT, la teneur la plus élevée est enregistrée pour *Acacia dealbata* (798,4 mg EAG/gr) suivi d'*Acacia horrida* (785,1 mg EAG/gr) et la plus faible par *Acacia pycnantha* (591,2 mg EAG/gr). L'extrait d'écorce d'*Acacia seyal* et *Acacia confusa* avaient des quantités importantes de polyphénols totaux et de flavonoïdes totaux allaiant de 1820,5 à 1927,1 mg GAE/100 g et de 13,8 et 30,9 mg QE/100 g dans les extraits aqueux et méthanolique respectivement (Mérito et al., 2020). La variation des concentrations en phénols totaux, en flavonoïdes et en tanins pourrait être attribuée au stade de croissance, à l'origine anatomique du tissu végétal et aux facteurs génotypiques qui contrôlent la biosynthèse, l'accumulation de composés polyphénoliques (Haslam, 1999) ou l'influence des facteurs édaphiques et climatiques (Rubanza et al., 2005). Eventuellement, un stress induit par l'environnement engendre le déclenchement des mécanismes de défense des plantes et par conséquent la modification de sa composition chimique (Makkar, 2003). Autre possibilité pour expliquer ces variations des concentrations des composés phénoliques est la procédure

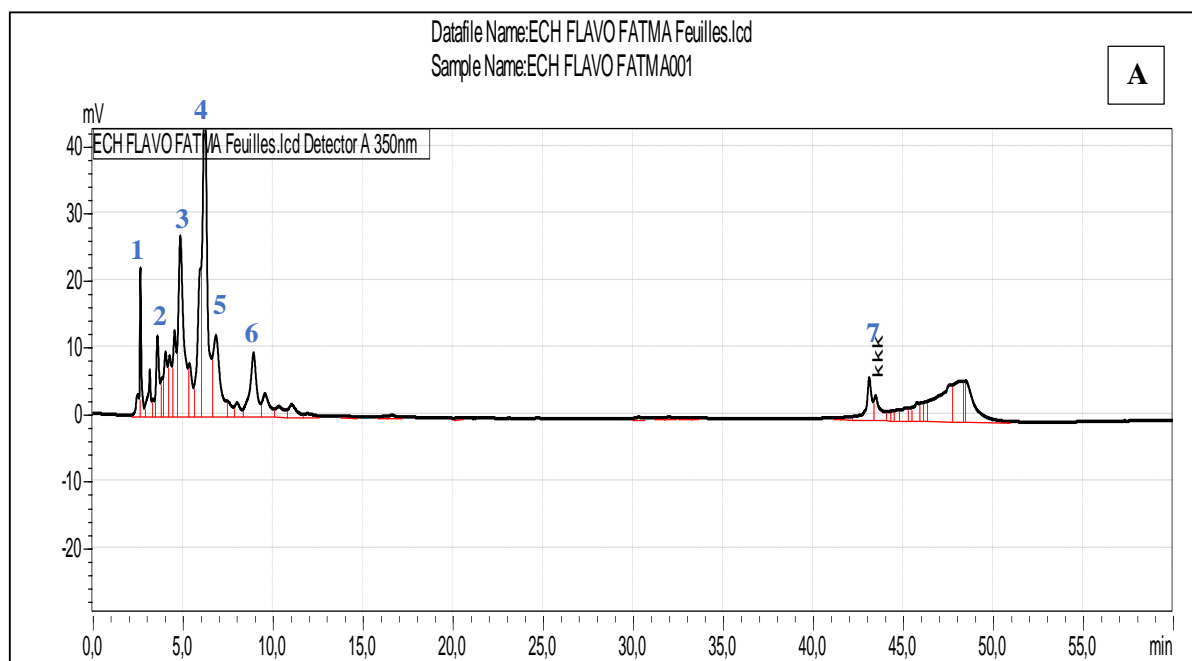
d'extraction, à la méthode d'analyse et aux standards utilisés, la zone et la période de récolte, le mode de préparation des fractions ou encore par une différence entre espèce du même genre (Gotor, 2008).

1.6 Quantification par HPLC des composés phénoliques

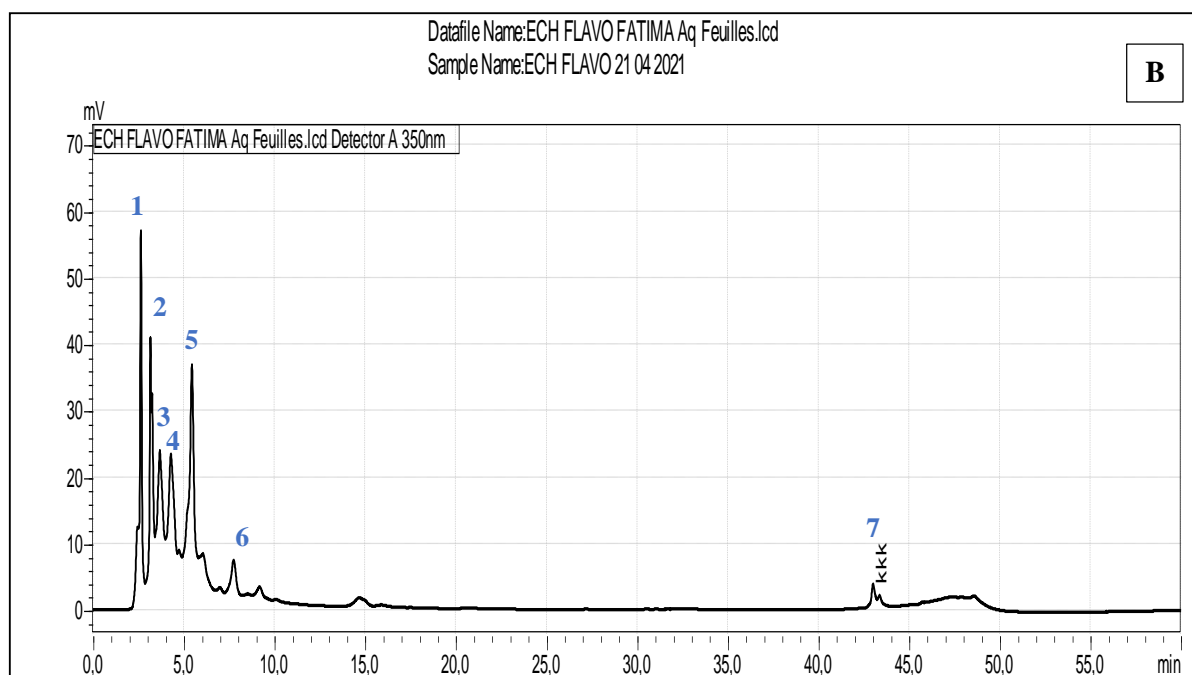
Vu que nous avons utilisé des extraits aqueux pour réaliser le test de germination, nous avons choisi de comparer la composition phénolique par HPLC des deux extraits aqueux et méthanoliques. L'analyse quantitative par HPLC des deux extraits des parties d'*A.mearnsii*, est résumée dans le tableau 24. Les chromatogrammes des différents extraits sont enregistrés en UV à 350 nm.

1.6.1 Analyses des extraits de feuille

L'analyse de l'extrait méthanolique des feuilles d'*A.mearnsii* par HPLC révèle que cette plante contient Sept (7) composés phénoliques identifiés en comparaison avec les standards injectés dans les mêmes conditions chromatographiques. Les acides phénoliques identifiés dans cet extrait sont l'acide chlorogénique, l'acide caféique, la rutine, l'iso quercétine, l'héspéridine, le 5,7-dihydroxy-1-méthoxyflavone et l'acide férulique (**Tab. 23 ; Fig 56-A**). L'analyse de l'extrait aqueux indique qu'il existe également Sept (7) composés phénoliques (**Tab.24**). Nous avons observé un profil phénolique différent de celui de l'extrait méthanolique. En effet, ce chromatogramme (**Fig.56--B**) est constitué de trois composés phénoliques identifiés dont l'acide caféique et l'acide chlorogénique qui sont deux acides phénoliques élués à 4,303 et 3,267 min respectivement, et un flavonoïde qui est la quercétine élué à 2,651 min. Cependant, les Quatre autres composés n'ont pas pu être identifiés.



1 Iso-quercétine, 2 Hespéridine, 3 Rutine, 4 Acide férulique, 5 Acide caféique, 6 Acide chlorogénique 7 le 5,7-dihydroxy-1-méthoxyflavone



1 Composé majoritaire (NI) 1, 2 Composé majoritaire (NI) 2, 3 Quercétine, 4 Composé majoritaire (NI) 3, 5 Acide caféique, 6 Composé majoritaire (NI) 4, 7 Acide chlorogénique

Figure 56 : Profils chromatographique de l'extrait méthanolique et aqueux des feuilles d'*A. mearnsii*

1.6.2 Analyse des extraits de fleurs

Selon la figure (57-A), l'analyse du chromatogramme de l'extrait des fleurs d'*A. mearnsii* révèle la présence de cinq composés phénoliques dans l'extrait méthanolique (l'acide chlorogénique (élué à 3,318 min), l'iso quercétine (5,840 min), l'Hespéridine (8,894 min) et deux autres composés majoritaires non identifiés (élués 4,764 et 6,140 min). Concernant l'extrait aqueux le chromatogramme (Fig.57-B) affiche six (06) pic correspondant à quatre composés phénoliques dont l'acide caféique qui est à 4,213 min et trois flavonoïdes qui sont l'Iso quercétine (5,966 min), Quercétine (2,662 min) et Catéchine (3,187 min). D'autres composés avec des pics bien représentés n'ont pas été déterminés. Il s'agit de composés élués à des temps de à 4,858 et 6,279 min.

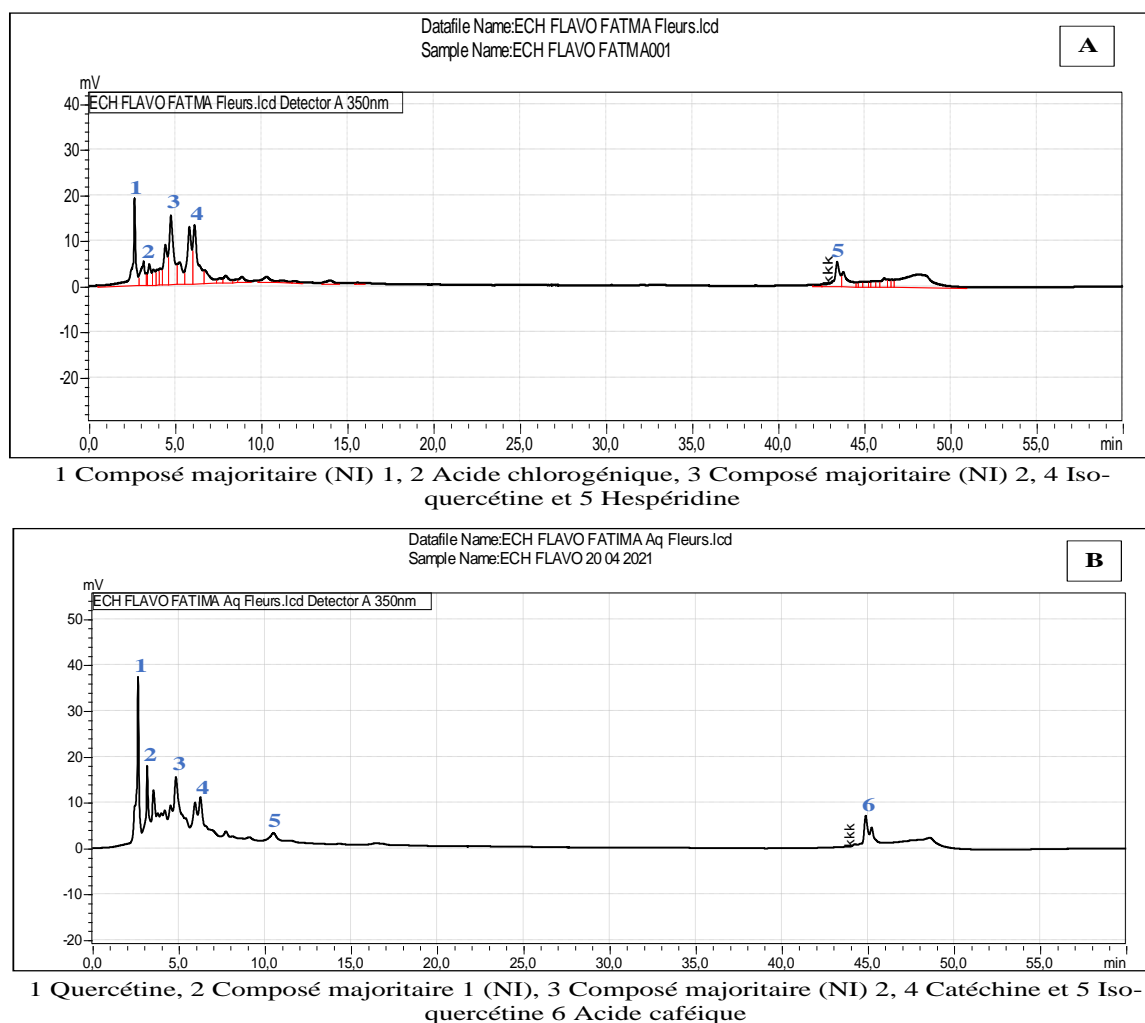
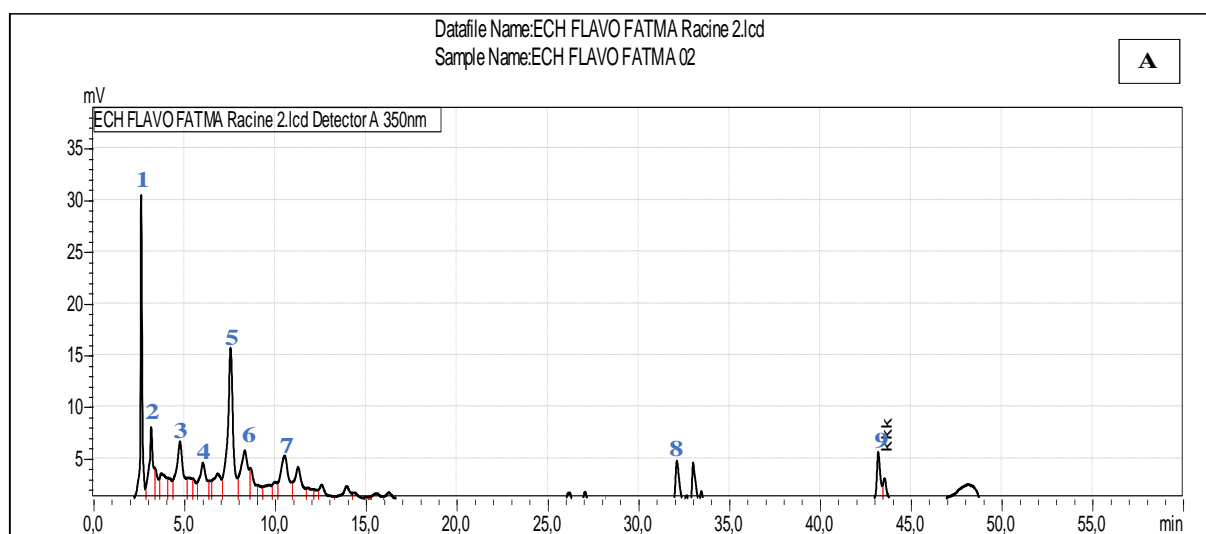


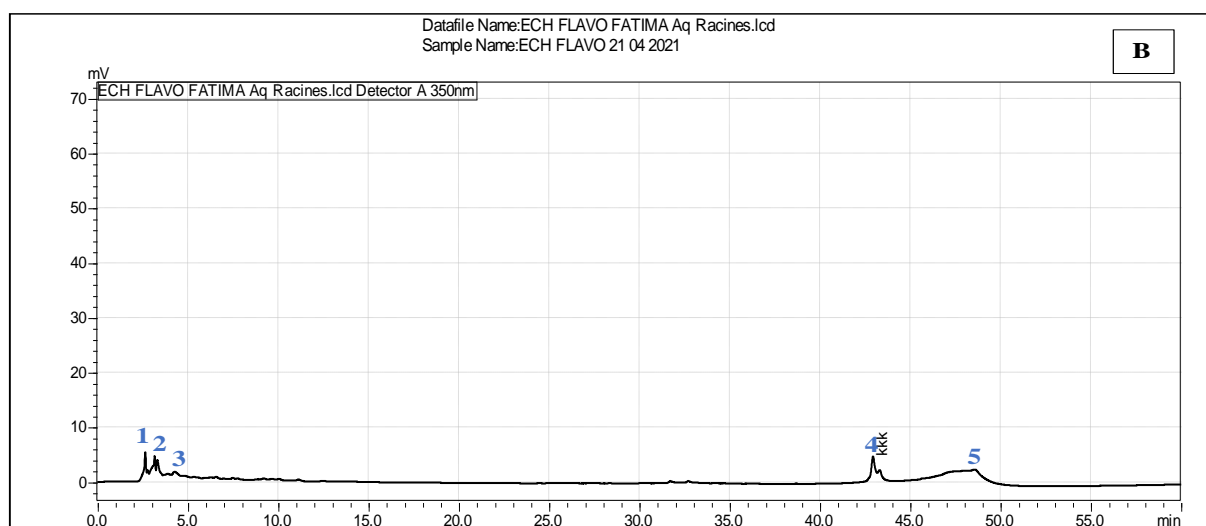
Figure 57 : Profils chromatographique de l'extrait méthanolique et aqueux des fleurs d'*A.mearns*

1.6.3 Analyse des extraits de racine

La figure 58-A montre que la quantification par HPLC des composés phénoliques effectuée sur l'extrait méthanolique des racines d'*A. mearnsii*, a révélé la présence de neuf composés phénoliques, sauf trois ont pu être identifiés, il s'agit de l'Acide chlorogénique, la catéchine et le Flavanone (2,3-Dihydroflavone). Quant aux profils chromatographiques de l'extrait aqueux (Fig. 58-B) six composés phénoliques y ont été enregistré : l'Acide caféïque, l'Acide chlorogénique, la Quercétine, et deux composés majoritaires non identifiés.



1 Composé majoritaire 1 (NI), 2 Composé majoritaire 2 (NI), 3 Composé majoritaire 3 (NI), 4 Acide chlorogénique, 5 Composé majoritaire 4 (NI), 6 Composé majoritaire 5 (NI), 7 Flavanone (2,3- Dihydroflavone), 8 Composé majoritaire 7 (NI), 9 Composé majoritaire 6 (NI), FI



1 Acide chlorogénique, 2 Quercétine, 3 Composé majoritaire 1 (NI), 4 Acide caféïque, 5 Composé majoritaire 2 (NI)

Figure 58 : Profil chromatographique de l'extrait méthanolique et aqueux des racines d'*A.mearnsii*

1.6.4 Analyse de l'extrait des gousses

L'analyse chromatographique de l'extrait méthanolique de gousses a permis d'identifier quatre molécules qui sont : Quercétine, Catéchine, l'Acide caféique et l'Hespéridine (**Fig.59-A**). Le profil d'élution des composés issus de la fraction aqueuse (**Fig.59-B**), indique une composition phénolique moins riche de cette fraction avec des pics moins marqués, probablement due à la nature apolaire du solvant d'extraction. Nous avons ainsi pu déterminer la présence de trois composés principalement, des flavonoïdes (Iso quercétine, quercétine et catéchine), élués à 5,94 min, 2,65 min et 3,21 min respectivement. Cependant le profil chromatographique indique la présence d'un autre pic majoritaire non identifié, élué à un temps de 4,133 min.

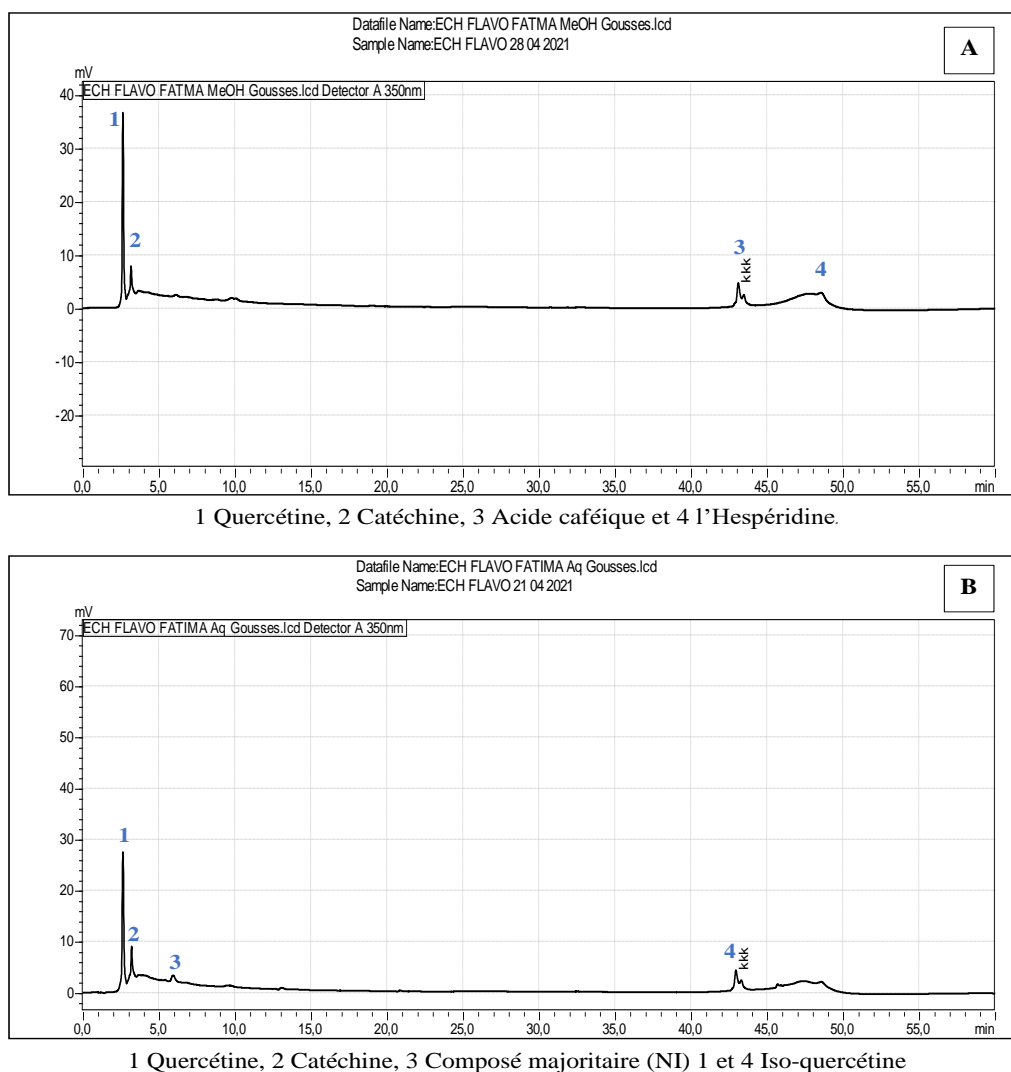


Figure 59 : Profil chromatographique de l'extrait méthanolique et aqueux des gousses d'*A.mearnsii*

1.6.5 Analyse de l'extrait d'écorce

La figure 60-A montre le profil chromatographique des analyses HPLC de l'extrait d'écorce. Nous notons que les composants majoritaires de cet extrait sont : la quercétine, la catéchine et l'acide chlorogénique, alors qu'il y en a que deux composés dans l'extrait aqueux (Fig.60-B) qui sont l'acide chlorogénique et la quercétine.

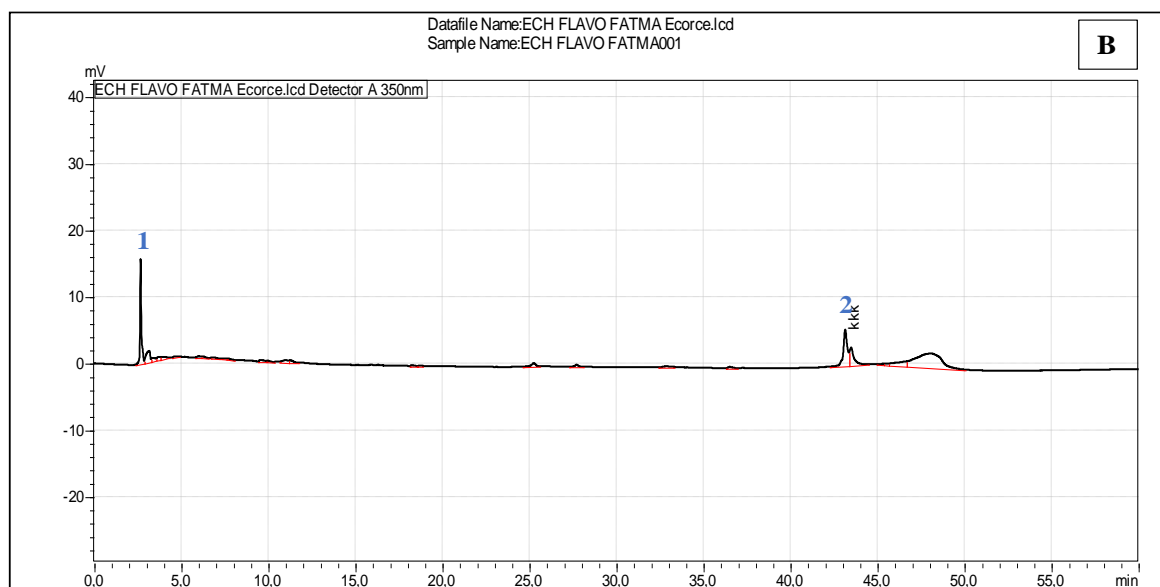
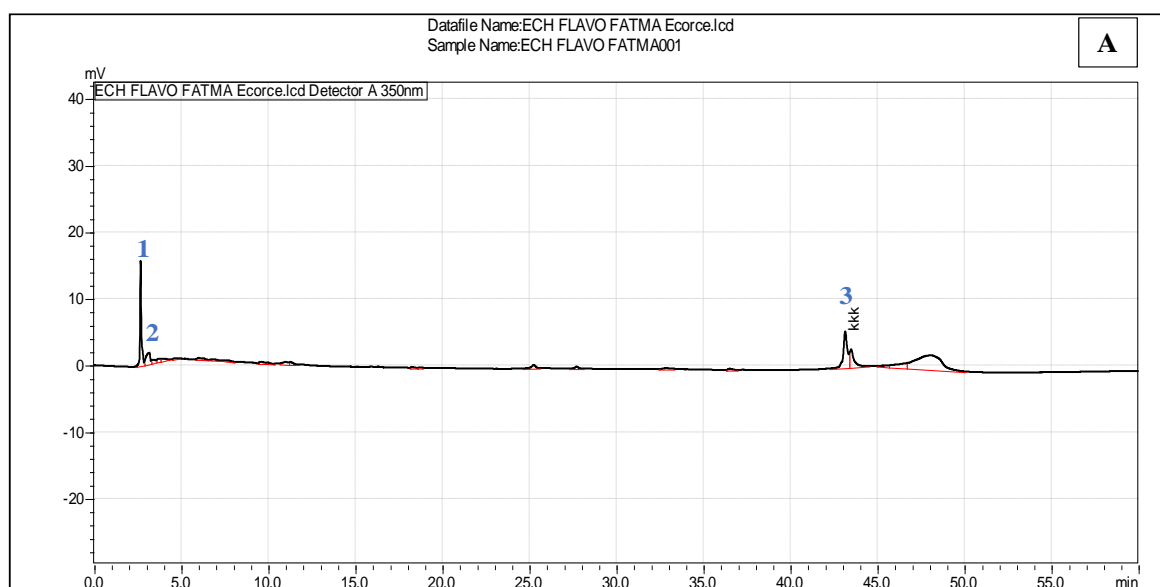


Figure 60 : Profil chromatographique de l'extrait méthanolique et aqueux des écorces d'*A.mearnsii*

Tableau 23 : Récapitulatif des composés phénoliques présents dans les cinq parties d'*A.mearnsii* dans les extraits méthanoliques.

N°	Composés identifiés	Tr (min)	Aire S/pic	Proportion (%)	Parties étudiées
01	Acide chlorogénique	3,353	22673	0,467	Feuilles
02	Acide caféique	4,294	109216	2,251	
03	Rutine	4,887	552569	11,389	
04	Iso quercétine	5,992	288183	5,939	
05	Acide férulique	6,246	968477	19,961	
06	Hespéridine	8,957	241443	4,976	
07	5,7-dihydroxy-1-méthoxyflavone	30,335	2863	0,059	
01	Acide chlorogénique	3,318	11700	0,527	Fleurs
02	Composé majoritaire 1 (NI)	4,764	262281	11,831	
03	Iso quercétine	5,840	203158	9,164	
04	Composé majoritaire 2 (NI)	6,140	241967	10,915	
05	Hespéridine	8,894	19799	0,893	
01	Catéchine	3,200	124046	3,860	Racines
02	Acide chlorogénique	3,385	53689	1,671	
03	Composé majoritaire 2 (NI)	4,787	183631	5,714	
04	Composé majoritaire 3 (NI)	6,053	118942	3,701	
05	Composé majoritaire 4 (NI)	7,574	347635	10,817	
06	Composé majoritaire 5 (NI)	8,356	156991	4,885	
07	Composé majoritaire 6 (NI)	10,552	155468	4,838	
08	Composé majoritaire 7 (NI)	11,290	113638	3,536	
09	Flavanone (2,3-Dihydroflavone)	33,037	59738	1,859	
01	Quercétine	2,649	260526	31,021	Gousses
02	Catéchine	3,183	124060	14,773	
03	Acide caféique	4,358	102297	12,180	
04	Hespéridine	8,820	2824	0,336	
01	Quercétine	2,673	86643	15,317	Ecorces
02	Catéchine	3,188	26952	4,765	
03	Acide chlorogénique	3,412	6933	1,225	

Tableau 24 : Récapitulatif des composés phénoliques identifiés dans les cinq extraits aqueux d'*A.mearnsii* par HPLC. Tr : temps de rétention. NI : non identifié

N°	Composés identifiés	Tr (min)	Aire S/pic	Proportions (%)	Parties étudiées
01	Acide caféique	4,303	607172	13,309	Feuilles
02	Acide chlorogénique	3,267	233321	5,114	
03	Quercétine	2,651	441672	9,681	
04	Composé majoritaire (NI)	3,176	307366	6,737	
05	Composé majoritaire (NI)	3,694	560893	12,295	
06	Composé majoritaire (NI)	5,464	859939	18,850	
07	Composé majoritaire (NI)	6,070	302905	6,640	
01	Acide caféique	4,213	115851	3,605	Fleurs
02	Iso quercétine	5,966	187713	5,841	
03	Quercétine	2,662	417531	12,991	
04	Catéchine	3,187	226315	7,042	
05	Composé majoritaire (NI)	4,858	389933	12,133	
06	Composé majoritaire (NI)	6,279	352887	10,980	
01	Acide caféique	4,299	45992	9,006	Racines
02	Acide chlorogénique	3,327	50028	9,796	
03	Quercétine	2,653	48734	9,543	
04	Composé majoritaire (NI)	3,137	60024	11,754	
05	Composé majoritaire (NI)	3,889	33016	6,465	
01	Iso quercétine	5,945	90918	7,034	Gousses
02	Quercétine	2,651	48734	19,076	
03	Catéchine	3,219	60024	11,273	
04	Composé majoritaire (NI)	4,133	1331415	10,186	
01	Acide chlorogénique	3,413	50027	9,790	Ecorces
02	Quercétine	2,670	84640	4,760	

Tableau 25 : Récapitulatif des composés phénoliques présents dans les cinq parties d'*A.mearnsii* dans les extraits méthanoliques et aqueux

N°	Composés identifiés	Extraits méthanoliques					Extraits aqueux				
		Feuilles	Fleurs	Racines	Gousses	Ecorce	Feuilles	Fleurs	Racines	Gousses	Ecorces
01	Acide caféique	+	-	-	+	-	+	+	+	-	-
02	Acide chlorogénique	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+
03	Quercétine	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
04	Iso quercétine	+	+	-	-	-	-	+	-	+	-
05	Rutine	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06	Acide férulique	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07	Hespéridine	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-
08	5,7-dihydroxy-1méthoxyflavone	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
09	Flavanone2,3dihydroflavone	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
10	Catéchine	-	-	+	+	+	-	+	-	+	-
11	Composé majoritaire 1 (NI)	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-
13	Composé majoritaire 2 (NI)	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-
14	Composé majoritaire 3 (NI)	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-
15	Composé majoritaire 4 (NI)	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
16	Composé majoritaire 5 (NI)	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
17	Composé majoritaire 6 (NI)	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
18	Composé majoritaire 7 (NI)	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
19	Composé majoritaire 8 (NI)	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
20	Composé majoritaire 9 (NI)	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
21	Composé majoritaire 10 (NI)	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
22	Composé majoritaire 11 (NI)	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
23	Composé majoritaire 12 (NI)	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
24	Composé majoritaire 13 (NI)	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-

1.7 Discussion

Parallèlement à la détermination du taux de polyphénols, de tanins et de flavonoïdes dans l'ensemble des extraits récupérés à partir d'*A. mearnsii*, nous avons procédé à la caractérisation des composés phénoliques par la technique HPLC. Au total 24 composés phénoliques ont été détectés dans les extraits méthanoliques et aqueux des cinq parties. Dix composés phénoliques ont été identifiés dans la présente étude à savoir l'acide caféique, l'acide chlorogénique, la quercétine, l'iso-quercétine, la rutine, l'acide férulique, l'héspéridine, 5,7-dihydroxy-1-méthoxyflavone, Flavanone 2,3 dihydroflavone et la catéchine. Notons qu'au cours de nos analyses, nous n'avons pas pu identifier tous les composés par manque des étalons. Seize 16 composés ont été détectés dans les extraits méthanoliques et quatorze 14 composés pour les extraits aqueux. Les racines, les feuilles, les fleurs, sont les parties les plus riches en composés phénoliques suivies de gousses et l'écorce présentait le moins de substances avec seulement trois métabolites secondaires dont deux sont les plus connus comme des substances allélopathiques. La majorité des molécules détectées dans notre recherche a été déjà identifié par d'autres auteurs, qui travaillent essentiellement sur les molécules extraites de l'écorce ou les feuilles d'*A. mearnsii* tel que myricetin myricetin-3-rhamnoside quercitrin quercitrin-3-rhamnoside catechin galocatequin isoquercitrin mearnsetin myricetin-3-glucoside (Drewes & Isley (1968); Mackenzie (1967); Saayman & Roux (1965) dans Correia, 2015).

Le profil chromatographique des racines a présenté 09 composés méthanoliques et 05 composés aqueux, c'est la partie la plus diversifiée et riche en substances phénoliques. Aucune étude n'a été réalisée sur le profil phytochimique des racines d'*A. mearnsii*. Cependant, des études similaires sur *Acacia confusa*, ont signalé la présence de six flavonoïdes ainsi que deux alcaloïdes ont été identifiés, catechine, epicatechine, pentahydroxyflavan, hexahydroxyflavan, tetrahydroxydihydroflavonol, melacacidine, tetrahydroxyflavonol, N-methyltryptamine et N, N-dimethyltryptamine, dont les deux dernières ont été jugées phytotoxique (Lee et al., 2000).

Le profil chromatographique des feuilles *A. mearnsii* est composé de sept (7) molécules toutes identifiées, dont les plus importantes en portion sont l'acide férulique et la rutine. Dans les travaux de Xiong, 2016 ; Les principaux constituants phénoliques identifiés dans les feuilles d'*A. mearnsii* par LC-ESI-IT-TOF-MS ont été dominées par les flavonoïdes notamment dans les extraits méthnolique et aqueux. L'eau et les fractions éluées de méthanol contenaient le tri-

, di- et mono-glycosides de myricétine, de quercétine, myricétine-3-O-rhamnoside (myricitrine) et procyanidine B-dimère comme composants principaux avec autres monoglycosides et aglycones flavonoïdes en tant que composés mineurs. L'identification rapporté par Batiha et al., 2022, révèle la présence d'Acide férulique, Quercétine 3-O- (4'-O-acétyl) -rhamnopyranoside dans les feuilles d'*Acacia mearnsii*, et d'autres molécules non identifiées dans nos extraits comme le p-Coumaroyl-glucoside, acide p-Coumaroylquinique et la sapogénine stéroïdienne étaient les produits chimiques les plus couramment trouvés dans les extraits de feuilles et d'écorce.

Les fleurs avec 06 et 05 métabolites aqueux et méthanoliques, dominés par deux composés majoritaires non identifiés et iso- quercétine. Seulement 12 composés sur 21 ont pu être identifiés et quantifiés par Pedro et al. 2022 dans les extraits des fleurs jeunes et matures. Les fleurs d'*A. mearnsii* étaient très riches en vanilline, d'acide p-coumarique, acide trans-cinnamique, 4-O, 5,7-trihydroxyflavanone, catéchol et (-) - épicatechine, le reste des composés tels que l'Acide gallique, syringaldéhyde, acide caféique, 5-méthylfurfural, (+) catéchine et quercétine sont présents en quantités réduites (Pedro et al. 2022). Les fleurs d'acacias jouent un rôle crucial dans la capacité de colonisation et d'invasion. Ils limitent la croissance d'autres espèces en raison de l'interférence allélopathique causée par sa décomposition dans le sol, modifiant ses caractéristiques pour diminuer la viabilité des autres espèces et, par conséquent, augmentant sa prolifération sans opposition. Cet effet dure longtemps puisque la toxicité s'infiltré lentement dans le sol (Pedro et al., 2022).

Les gousses avec seulement quatre composés phénoliques sont très riches en Quercétine et Catéchine. Chez *A. nilotica* il a été identifié l'acide gallique ; épicatechine ; acide caféique ; acide ellagique ; acide férulique, rutine et gallotannins, l'acide gallique et l'épicatechine étaient les plus concentrés (Singh, 2009). Seuls le Digalloyl glucose et Galloyl glucose ont été identifiés dans les extraits méthanoliques d'*Acacia farnesiana* (Delgadillo et al. 2018).

Les travaux de Xiong et al. 2017 ont montré que la composition chimique du tanin d'écorce d'*A. mearnsii* est constituée du robinetinidol, gallocatechin, catechin et fisetinidol. Selon une étude phytochimique récente, le fractionnement de l'extrait aqueux d'écorce d'*A. mearnsii* a montré que le tanin était composé de 20,6% de sucres et de 72,4% composés polyflavonoïdes dont seize composés incluant un flavan-3-ol glycoside, 4-O-methylrobinetinidol 3-O-D-glucopyranoside et deux nouveaux proanthocyanidines (le fisetinidol-(4 -6) -gallocatéchine et l'épibrobinetinidol-(4 -8) -catéchine). De plus, les composés robinetinidol, acide syringique, gallocatéchine, catéchine, taxifoline, butine, robinetinidol-(4 -8) - gallocatéchine,

robinetinidol-(4 -8) -catéchine, fisetinidol-(4 -8)-catéchine, 1,6-di-O-galloyl- -D-glucose, 4-hydroxy-2-méthoxyphényl 1-O- -D-glucopyranoside, 3,5-diméthoxy-4- l'alcool hydroxybenzylique 4-O- D-glucopyranoside et le glucoside multifidol ont été identifiés(Ogawa et Yazaki, 2018). Nos analyses, ont permis d'identifier que l'Acide chlorogénique, Quercétine et Catéchine.

Il est à noter que les composés phénoliques participent activement dans les interactions de la plante avec son environnement, soit en jouant le rôle de signaux de reconnaissance vis-à-vis de certains microorganismes, soit en lui permettant de résister à diverses agressions, d'origine biologique ou non (Dixon et Pavia ,1995). Ces métabolites secondaires spécialisés, qu'ils soient constitutifs ou qu'ils s'accumulent à la suite à un stress exogène, jouent un rôle essentiel dans l'équilibre de la plante au sein de son milieu naturel et dans ses capacités d'adaptation (Lynn et al ,1990). Le type et le nombre de métabolites produits par les plantes sont spécifiques à_chacune, et dépendent avant tout de facteurs environnementaux. Se défendre contre les herbivores, se protéger des bactéries, inhiber le développement d'autres plantes (l'allélopathie), contrer les effets délétères du rayonnement solaire ou, à l'inverse, attirer les insectes pollinisateurs (par la couleur, l'odeur et le goût), les métabolites secondaires jouent un rôle central dans le rapport de la plante avec son milieu.

Ces composés sont connus aussi pour leur effet inhibiteur de la germination, soit dans les conditions naturelles où ils participent alors aux relations allélopathiques entre les végétaux, soit lorsqu'ils sont apportés de manière exogène dans le milieu expérimental (Reigosa et al., 1999). La quercétine est un flavonoïde qui inhibe l'auxine oxydase, en raison de leur richesse en groupements phénols (OH) est capables de se fixer sur certains protéines et enzymes, et de modifier ainsi les équilibres enzymatiques ; il intervient à différents stades du développement, notamment lors de la germination (Taylor et Grotewold, 2005). Il est connu également pour son effet inhibiteur de l'acide peptidique nucléique qui intervient dans le support de l'information génétique et détermine l'identité biologique de l'organisme (Taylor et al, 2005). Il faut signaler que l'acide caféique et l'acide férulique sont des inhibiteurs de la germination (Heller et al ,1995), l'acide chlorogénique intervient dans l'inhibition du développement embryonnaire et la différenciation impliqués dans le phénomène de rhizogenèse (Taylor et al, 2005). D'autre part, Leather GR et Einhellig FA (1988) ont noté que le phénol influence les processus physiologiques des plantes comme la perméabilité membranaire et les activités enzymatiques, alors que Zobel et Brown (1991) ont admis que les coumarines inhibent la germination de quelques plantes. En outre, les alcaloïdes, flavonoïdes ont la capacité

d'inhiber l'action de certaines enzymes végétales telle que ATPase, ou bloque le déroulement de certains phénomènes tels que le métabolisme oxydatif, le transport membranaire, la réduction de la synthèse de certaines protéines et lipides. La toxicité de l'extrait de tanin de l'écorce d'*A. mearnsii* a été évaluée avec *Saccharomyces cerevisiae* qui a causé un ralentissement de sa croissance. Il a été également prouvé que l'écorce possédait des effets inhibiteurs significatifs sur l'enzyme α -glucosidase et l' α -amylase (Ogawa et Yazaki, 2018). Une autre, étude a révélé l'existence des mécanismes inhibiteurs des extraits d'écorce d'*A. mearnsii* sur l'algue *Microcystis aeruginosa*, les changements induits par l'extrait aqueux entraînent la destruction de la structure cellulaire de l'algue et les structures internes suite à la rupture de la membrane et la destruction des organites (Liu et al., 2015). D'autres travaux expliquent l'action inhibitrice de quelques métabolites secondaires végétales comme le benzoxazolinones sur l'auxine de coléoptile de l'avoine (Bais et al., 2004 ; Lesuffleur, 2007). Mao et al. 2006 ont trouvé que les flavonoïdes ont un effet inhibiteur sur l'activité de l'ATPase des membranes plasmiques des racines de l'Avoine.

Les flavonoïdes et les iso-flavonoïdes interviennent également dans les signaux d'interactions plante-microorganisme. Au cours de la symbiose avec *Rhizobium*, les flavonoïdes interviennent notamment dans le chimiotactisme et la nodulation des légumineuses. Lors des réactions de défense, la synthèse de novo de flavonoïdes aux propriétés antifongiques est stimulée (Tomasi et al. 2008).

1.8 Synthèse de la partie

En combinant les résultats du test de germination des glands de chêne liège aux résultats de l'étude phytochimique des différentes parties d'*A. mearnsii*, et en se référant aux travaux existants dans la littérature ; nous pouvons confirmer l'existence d'un effet allélopathique exercés par *A. mearnsii* sur *Q. suber* intervenant dans l'un des stades de la vie de la plante (pendant la germination ou durant la croissance et le développement). Nous avons noté que les extraits des cinq parties d'*A. mearnsii* sont riches en métabolites secondaires et ont présenté des effets inhibiteurs sur la germination des glands et sur le développement de la radicule. Cet effet négatif est peut-être dû à la production de ces substances par la plante, Il faut noter que les substances secondaires sont connues pour leurs grandes diversités et leurs différentes propriétés (antimicrobiennes, antifongique, inhibitrice) et dans la majorité des cas cette bioactivité est due à ces constituants actifs tels que les polyphénols, les monoterpènes, les sesquiterpènes, les alcools, les stérols et les tocophérols...etc. Compte

tenu de leurs nombres de groupes différents et complexés, ses substances sont synthétisées par les végétaux supérieurs en réponse à des conditions de stress, de compétition et concurrences et surtout pour lutter contre les agents pathogènes infectieux et les parasites (Cimanga et al., 2002 ; Bustta et al., 2008, Kaur et al., 2005 ; Ncube et al., 2012).

Selon Chuihua et al. (2003, 2004), Les flavonoïdes inhibent la germination et le développement des graines de *Echinochloa crus-Galli*, *Cyperus difformis* et *Cyperus iris*. La germination des graines ne se produit que lorsque certaines conditions favorables sont réunies (oxygène, température, eau). De plus, les substances naturelles produites par les plantes sont capables de retarder ou inhiber la germination des graines et la croissance des semis. Heller et al., (1995) ont prouvé que l'acide caféïque, l'acide férulique et l'acide chlorogénique, sont connus comme inhibiteurs chimiques ayant une action directe sur l'embryogenèse. En effet, la capacité de ces molécules à s'oxyder piège facilement l'oxygène qui ne peut plus atteindre l'embryon. Ces substances correspondent à la « blastokoline », qui empêche le noyau de germer.

OH., 2018 a montré que *Bombax ceiba* affecte la diversité des espèces et la couverture végétale et représente une menace pour les communautés végétales dans les nouvelles zones urbaines. La sévérité de l'impact de la litière était corrélée avec la taille des graines, la quantité de litière et la saison coïncidant avec l'abscission des feuilles due à la présence de certains composés phénoliques et flavonoïdes libres. L'acide gallique était abondant parmi les composés phénoliques alors que la quercétine et l'api génine étaient courants parmi les flavonoïdes. Les recherches de Kil et Lee, (1987), ont rapporté que les extraits aqueux de *Chrysanthemum morifolium* L. empêchent la germination des graines de plusieurs espèces en conditions expérimentales grâce à la présence d'un certain nombre d'acides phénoliques dans cette espèce, qui peuvent être la cause potentielle de l'effet allélopathique remarqué. Des travaux aussi mené par Beninger et al. (2003) ont démontré que les acides phénoliques et les flavonoïdes présentent dans l'espèce *Chrysanthemum morifolium* L sont responsables de la réaction allélopathique des extraits de feuilles. Par ailleurs (Djurdjevic, 2004) a montré que l'extrait de bulbes et de feuille d'*Allium ursinum* ont un effet inhibiteur sur la germination de plusieurs plantes, il en déduit que la teneur de substances allélochimiques joue un rôle très important dans l'inhibition de la germination. (Yamamoto.2009) a révélé que la coumarine a inhibé la croissance de *Zoysia japonica* Steud. Mais a favorisé la croissance d'*Anthoxanthum odoratum* L. La réponse des espèces végétales coexistantes aux

allélochimiques produits par une espèce donnée peut différer considérablement, et les effets allélopathiques peuvent être hautement spécifiques (Inderjit et al. 2011).

Des recherches réalisées par Wink et al. (1992) et Einhellig et al. (2004) sur les effets importants des allélochimiques de la plante cible ont été identifiés, aux niveaux cellulaires et moléculaires. Au niveau cellulaire, les allélochimiques affectent la perméabilité membranaire, modifient l'activité des chloroplastes, la concentration en chlorophylle, les taux de respiration mitochondriale ou peuvent causer un fonctionnement anormal des ribosomes, réduisant ainsi l'efficacité de la fonction cellulaire. Dans les racines, l'absorption des nutriments, la conductivité de l'eau, la nodulation ou même le développement des racines peuvent être limités sous l'action des allélochimiques (Harper et Balke, 1981 ; Muller, 1986 ; Callaway, 1990 ; Mallik et Zhu, 1995) et peuvent être la cause de perturbations importantes dans la régénération de forêt. Dans les tiges, le transport de l'eau et des assimilats peut être sévèrement limité (Einhellig et al. 1985). L'efficacité photosynthétique et le potentiel hydrique dans les feuilles sont fréquemment modifiés en présence d'allélochimiques (Rizvi et al. 1992). La capacité germinative des graines peut également diminuer (Wink and Twardowski, 1992 ; Einhellig et al. 2004). En effet, le retard et la réduction de la germination par les allélochimiques ont été largement rapportés (Jobidon et Thibault, 1986 ; Mallik et Pellissier, 2000).

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

L'objectif principal de notre recherche est de comprendre le comportement et les stratégies adaptatives de l'espèce exotique *Acacia mearnsii* jugée envahissante dans la région d'El Kala depuis quelques années.

Dans la première partie, nous avons visé d'analyser les variations saisonnières des propriétés physicochimiques des sols provenant de deux subéraies une naturelle non envahie, et une totalement envahie par l'*A. mearnsii* dans la région d'EL-Kala (wilaya d'EL-Taref) ainsi que l'évaluation de l'état mycorhizogène des sols envahi et non envahi.

L'ensemble des résultats de l'évaluation des facteurs édaphique et du pouvoir mycorhizogène ont montré que le sol envahi (S₂) présente une texture légère (sableux), qu'il est plus riche en éléments nutritifs (phosphore (P), azote (N) et matière organique (MO) par rapport au sol non envahi (S₁). Une variation très hautement significative a été enregistrée de la concentration du (P) et de (N), les valeurs les plus importantes ont été détectées en présence d'*A. mearnsii*. Ces deux éléments sont les facteurs déterminants de la double symbiose de cette espèce. Le pH et la (MO) ont seulement montré une variation saisonnière dans les deux sites; les deux sols sont plus acides pendant la saison humide, cependant la (MO) est plus importante dans la saison sèche, elle baisse significativement pendant le printemps signe de l'importante activité de décomposition.

D'autre part, la prospection des spores dans les deux sols a permis de décrire huit morphotypes de spores de CMA, la densité sporale et la richesse spécifique ont été plus remarquable et importante dans le site envahi (575 spores dans le S₂ contre 275 spores dans le S₁) ce qui explique le fort potentiel mycorhizogène de ce dernier. En outre, la diversité fongique a révélé la présence de huit morphotypes. La tentative de l'identification des morphotypes observés nous permet de noter la présence des genres (*Glomus*, *Funniformis*, *Septoglomus*, *Acaulospora* et *Gigaspora*).

Nous avons noté une forte corrélation entre les paramètres physicochimiques et la densité sporale liée à la présence d'*A. mearnsii*. Ce que nous pouvons en tirer de cette partie, est que l'espèce envahissante possède dans son environnement d'invasion toutes les conditions exogènes parfaitement adéquates pour s'installer, reproduire et concurrencer toutes les espèces indigènes et endémiques dans leur milieu naturel.

Dans la deuxième partie, nous avons évalué l'existence d'un potentiel allelopathique de différentes parties d'*A. mearnsii* sur la germination des glands de *Quercus suber* en se basant

sur notre étude bibliographique qui suggère que le succès de certaines espèces invasives a été lié à la libération des substances organiques toxiques, pouvant freiner ou empêcher le développement des plantes indigènes. Cette stratégie complexe de compétition entre espèces, met en jeu, des molécules organiques appartiennent le plus souvent à la classe des métabolites secondaires. Ces composés extrêmement nombreux et diversifiés regroupent les terpènes, les alcaloïdes, ainsi que les composés phénoliques. C'est dans ce dernier groupe que l'on rencontre le plus souvent des substances susceptibles d'exercer une action allélopathique. Pour cette raison nous avons tenté d'identifier et de caractériser les composés phénoliques d'*A. mearnsii* pouvant intervenir dans son pouvoir envahissant.

Les résultats de l'étude de l'effet allélopathique des extraits aqueux (feuilles, racines, gousses et écorce) sur la germination des glands de chêne ont montré que la majorité des extraits aqueux (extrait de racines, extrait de feuilles, extrait de gousses et extrait d'écorce) d'*A. mearnsii* ont des effets inhibiteurs variables sur la germination et la croissance des racines des glands de chêne liège, nous avons remarqué le retard de développement de la racicule des glands de chêne germés dans les traitements extraits de feuilles, racines et gousses.

Les résultats du test phytochimique ont fait ressortir une répartition hétérogène des métabolites secondaires pour les différentes parties de la même plante. Cette analyse a montré que l'écorce et les gousses d'*A. mearnsii* sont les plus riches en métabolites secondaires avec la présence de huit (8) familles sur les onze (11) recherchés. En effet, une grande partie de ces métabolites secondaires sont des composés de défense qui éloignent les prédateurs ou inhibent la croissance de plantes concurrentes. Ces molécules sont aussi concentrées dans les racines, parties du végétal la plus exposée aux agressions de l'environnement avec sept composés. Enfin les fleurs et les feuilles d'*A. mearnsii* contiennent tous les deux six (6) familles de métabolites secondaires. La caractérisation par IR a révélé la présence de (13 composés) dans les feuilles, (11 composés) dans les fleurs, (11 composés) dans les racines, (11 composés) dans les gousses et (10 composés) dans les écorces.

Le dosage des composés phénolique a enregistré d'importantes quantités de polyphénols totaux, des tanins totaux et des flavonoïdes totaux dans presque toutes les parties. La quantification par HPLC des extraits méthanoliques et aqueux des cinq parties de la plante a permis de détecter 24 composés méthabolique et identifier quelque uns seulement à cause du manque de standards. Les racines (neuf composés dans l'extrait méthanolique et cinq dans l'extrait aqueux), les feuilles (sept composés), sont les parties les plus riches en composés phénoliques. L'écorce est le moins diversifié en substances phénolique avec seulement trois

composés dans l'extrait méthanolique et 2 dans l'extrait aqueux, dont deux (la Quercétine et la Catéchine) sont les plus connus comme des composés allélopathiques. La disposition d'*A. mearnsii* d'une telle richesse et diversité métabolique peut expliquer son pouvoir allélopathique et qui peut être due à l'origine de son succès d'invasion dans le PNEK.

Nos résultats fournissent la preuve que les extraits végétaux d'*A. mearnsii* contiennent des composés allélochimiques dont l'action peut potentiellement s'exercer en condition naturelles.

L'acacia semble exsuder des composés inhibiteurs de la croissance du chêne-liège qui seraient également à l'origine de leur très faible mycorhization (Beddiar et al. 2012, Boudiaf, 2012). L'action inhibitrice des extraits sur les glands et les plantules, peut expliquer la difficulté de régénération que trouve le chêne liège dans les conditions naturelles, vu que le chêne est en contacte directe aux racines et litière d'*A. mearnsii*. En effet, les composés exsudés par les racines de certaines plantes ont eu des effets allélopathiques nuisibles au développement des plantes voisines et influencent négativement les mécanismes de coexistence entre espèces végétales (Sanon, 2009). D'autre part, ces composés chimiques peuvent atteindre d'autres plantes et peuvent induire une activité inhibitrice ou stimulatrice sur les plantes cibles (Hashoum, 2017).

Ce travail a permis de produire des résultats originaux et positifs et qui ouvrent des perspectives prometteuses pour l'avenir : **(i)** Les espèces légumineuses présentent un intérêt agronomique et écologique considérable car elles contribuent fortement à la fertilité des sols la fabrication du bois grâce à leurs richesses en substances organiques qui ont à la fois des avantages et des inconvénients. Cette espèce envahissante, peut représenter une source très importante en phytothérapie ; il est donc, intéressant de chercher ses propriétés thérapeutiques pour en exploiter dans l'intérêt de l'homme (activité antioxydantes, activité antibactérienne, activité antifongique, activité antivirale ...). Il sera essentiel à l'avenir de préciser la composition qualitative et quantitative de chacun des composés phénoliques, afin de les étudier individuellement. Cela doit d'abord permettre de comprendre le mode d'action de chacun d'eux, et ensuite d'évaluer les éventuels effets de synergie ou d'antagonisme, ainsi que leur biodisponibilité. **(ii)** L'avancement d'*A. mearnsii* dans la subéraie du PNEK a pu freiner et empêcher la croissance des autres plantes par la libération des composés chimiques dans les sols causant de graves problèmes environnementaux tel que la dégradation des écosystèmes naturels et la disparition des plantes indigènes. Nous essayerons de trouver des

moyens de lutte réduire pour réduire et gérer l'effet indésirable de cet envahisseur et protéger toutes les espèces ainsi que notre écosystème naturel.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- Abdel Latéf, A.A.H., et Chaoping, H.** 2011. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition, antioxidant enzymes activity and fruit yield of tomato grown under salinity stress. *Scientia Horticulturae*. 127, 228–233.
- Abdelfettah A.** 2014. Plaidoyer pour la forêt algérienne. Réflexion sur une gestion écologique des forêts algériennes dégradées. *Forêt méditerranéenne* t. XXXV, 4
- Abdelguerfi A et Louar M.** 1999. Autoécologie et variabilité de quelques légumineuses d'intérêt fourrager et/ou pastoral : possibilités de valorisation en région méditerranéenne. *Pastagens et Forragens* ; 20 :81-112.
- Aboh B.A., Houinato M., Oumorou M. et Sinsin B.** 2008. Capacités envahissantes de deux espèces exotiques, *Chromolaena odorata* (Asteraceae) et *Hyptis suaveolens* (Lamiaceae), en relation avec l'exploitation des terres de la région de Bétécoucou (Bénin) *Belg. J. Bot.* 141 (2) : 125-140.
- Adelman, M. J., and Morton, J. B.** 1986. Infectivity of vesiculararbuscular mycorrhizal fungi: influence of host-soil diluent combinations on MPN estimates and percentage colonizat *Biochem.* 18: 77-83.
- Addison. P,** Samways.M.J., 2006, -Surrogate habitats demonstrate the invasion potential of the African pugnacious ant. *Biodiversité et Conservation*, 15 :411-428.
- Afnor.** 1992. Analyses granulométriques par sédimentation (NF P94-057).
- Afnor.** 1999. Qualité des sols. Recueil de normes françaises, 4^{ème} édition. AFNOR Ed., Paris-La défense, 2 volumes, 566 et 408 p.
- Afnor.** 2004. Détermination de la distribution granulométrique des particules du sol (NF X 31 107). In : Evaluation de la qualité des sols. Volume 1 : Méthodes d'analyse chimique. Afnor (Ed.). Paris.
- Ahmed R, Rafiqi Hoque A T M, Hossain M K.** 2008. Allélopathic effects of life litters of *Eucalyptus camaldulensis* on some forest and agriculture crops. *Journal of Forestry Reasertch*, 19(1):19-24.
- Akiyama K, Matsuzaki K, Hayachi H.** 2005. Plant sesquiterpenes induce hyphal branching in arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature*, 435: 824-827.
- Albino UB, Andrade G.** 2006. Evaluation of the functional group of microorganisms as bioindicators on the rhizosphere microcosm. In: Rai MK (ed) *Handbook of Microbial Biofertilizers*. Food Products Press. pp 29-49.

Allison SD, Vitousek PM. 2004. Rapid nutrient cycling in leaf litter from invasive plants in Hawaii. *Journal of Ecology* 141, 612-619.

Albouvette C, Olivian C, Migheli Q, Steinberg C. 2009. Control microbiologique des champignons phytopathogènes du sol avec un accent particulier sur fusarium oxysporum induisant le flétrissement.

Amah A. 2019. Trajectoires paysagères et biodiversité : effets de l'anthropisation sur les plantes envahissantes à l'échelle de l'Aire Protégée Togodo et sa périphérie dans le sud-est du Togo. Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement (AgroParisTech)

Ammar I., Ennouria M., Khemakhem B., Yanguid T., Attia H. 2012. Variation in chemical composition and biological activities of two species of *Opuntia* flowers at four stages of flowering. *Ind. Crops. Prod.* 37 : 34-40.

Amadou, B., Robin, D., Moussa, D., Bernard, D. 2011. Les champignons ectomycorhiziens. Des arabes forestiers en Afrique de l'Ouest. Méthodes d'étude, diversité, écologie, utilisation en foresterie et comestibilité 13p.

Amandier L, Rodolphe VIDAL. 2007. Etude des causes du dépérissement des subéraies varoises de 2003 à 2005, forêt méditerranéenne t. XXVIII, n° 1, mars 2007.

Anonyme. 2000. Etude prospective du secteur forestier en Afrique (FOSA) Algérie. FAO. Rapport de 60 p.

Aronson J., Pereira J.S. et Puasas J.G. 2009. Cork Oak Woodland on the edge. Islandpress. Washington. Covelo. London. 350p.

Arianoutsou M. et al. 2010. The alien flora of Greece: taxonomy, life traits and habitat preferences. *Biol. Invasions*, 12, 3525-3549.

Ashton IW, Hyatt LA, Howe KM. 2005. Invasive species accelerate decomposition and litter nitrogen loss in a mixed deciduous forest. *Journal of Ecological application* ,15(4): 1263-1272.

Asner GP et Vitousek PM. 2005. Remote analysis of biological invasion and biogeochemical change. *Proceedings of the national academy of sciences* ,102(12):4383-6. Doi:10.1073/pnas.0500823102.

Azcón-Aguilar C., Palenzuela J., Roldán A., Bautista S., Vallejo R., Barea J.M. 2003. Analysis of the mycorrhizal potential in the rhizosphere of representative plant species from desertification-threatened Mediterranean shrublands, *Appl. Soil Ecol.* 22, 29–37.

B

Bâ AM, Dalpé Y, Guissou T .1996. Les Glomales d'*Acacia holosericea* et d'*Acacia mangium*. *Bois et Forêt des Tropiques* 250 : 5-18.

Bagchi G.D., Jaiind D.C et Kumar S.1997. Arteether: A potent plant growth inhibitor from *Artemisia annua*. *Phytochemistry*. Vol 45. No 6 :1131-1133.

Bago B., Bentienga S.P., Brenac V., Dodd J.C., Piche Y., Simon L. 1998. Molecular Analysis of *Gigaspora* (Glomales Gigasporaceae). *New phytol.*, 139, pp. 581-58.

Bais H.P, Vepachedu R, Gilroy S, Callaway R.M, Vivanco J.M. 2003. Allelopathy and exotic plant invasion: from molecules and genes to species interactions. *Science* 301 :1377–1380. Cité par Ding et al., 2007.

Baize D. 2000. Guide des analyses courantes en pédologie INRA, France .257p.

Balasundram N., Sundram K., Samman S.2006. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chem.* 99(1): 191-203.

Balergue C., Puech-Pagès V., Bécard G., et Rochange S F.2011. The regulation of arbuscular mycorrhizal symbiosis by phosphate in pea involves early and systemic signalling events. *Journal of Experimental Botany.* 62, 1049–1060.

Barkosky R.P. et Einhellig F.A. 1993. Effects of salicylic acid on plant-water relationships. *J. Chem. Ecol.*, 19 :237-247. Cité par Batish et al., 2007.

Barni E, Siniscalco C.2000. Dynamique de la végétation et mycorhizes arbusculaires dans les successions de champs anciens des alpes italiennes occidentales. *Mycorrhize* 10,63-72.

Baruch Z, Goldstein G.1999. Leaf construction cost, nutrient concentration, and net CO₂ assimilation of native and invasive species in Hawaii. *Journal of oecologia* 121(2): 183-192.

Batiha, Gaber El-Saber, Nosheen Akhtar, Abdulrahman A. Alsayegh, Wafaa Fouzi Abusudah, Najlaa Hamed Almohmadi, Hazem M. Shaheen, Thakur Gurjeet Singh, et Michel De Waard. 2022. Bioactive Compounds, Pharmacological Actions, and Pharmacokinetics of Genus *Acacia*. *Molecules* 27, no. 21: 7340.

Batish D R., Singh H P., Kaur S et Kohli RK Yadav S.S.2007. Caffeic acid affects early growth, and morphogenetic response of hypocotyl cutting of mung bean (*Phaseolus aureus*). *Journal of Plant Physiology* ,10 :1016-1025.

Bowman, J.M.1986. The Self-Consistent-Field Approach to Polyatomic Vibrations. *Acc. Chem. Res.* 1986, 19, 202-208

Becker F.1987. Bilan de santé actuel et retrospectif du sapin (*Abies alba* Mill) dans les Vosges. Etude écologique et dendrochronologique. *Ann. Sci.For.*, 44 : 379/402.

Beddiar A., Adouane M., Merabet A et Boudiaf I.2012. Le chêne-liège (*Quercus suber* L.) menacé par les acacias introduits dans le Parc National d'El Kala (Nord-Est algérien). *Integrated Protection in Oak Forests IOBC/wprs Bulletin*, 76: 1-4

Bekdouche F. 2010. Evolution après feu de l'écosystème subéraie de Kabylie (Nord Algérien). Thèse de doctorat d'état en Sciences agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie. 175p.

Belsky A J, Mwanga S M, Amundson R G, Duxbury J M, Ali A R.1993. Comparative effects of isolated trees in their under-canopy environments in height and low rainfall savannas. *Journal of applied ecology* ,30 :143-155.

Benabdeli, K. 1996. Mise en évidence de l'importance de la formation basse dans la sauvegarde des écosystèmes forestiers : cas des Monts de Dayas (Algérie occidentale). *Ecologia Mediterranea*, 22(3/4) :101-112.

Benabdeli K. 1996. Evaluation écologique des paysages, classification, potentialités et aménagement du territoire. Séminaire régional sur l'aménagement du territoire et l'université, Arzew (Algérie) 14/5/1996.

Benabdeli K. 1996. Aspects physionomico- structuraux de la végétation forestière ligneuse face à la pression anthropozoogène dans les monts de Tlemcen et les monts de Dhaya (Algérie occidentale. Thèse soutenue le 26 juin 1996 ; université de Sidi Bel Abbes.

Benabdeli K. et moulay A. 2013. Quelle stratégie de gestion durable des territoires forestiers en Algérie face à leur vulnérabilité. IIIème Semaine Forestière Méditerranéenne, Tlemcen, 17-21 mars 2013.

Benabdell K. 2014. Quel aménagement de l'espace forestier garant d'une préservation de la biodiversité en Algérie ? 2ème Congrès International sur la Biodiversité Végétale - Marrakech 2014 Maroc.

Benabdeli K. 2016. Quel aménagement forestier face aux changements climatiques en Algérie ? Troisième Journées Scientifiques des Géosciences de l'environnement. Université de Saida 10 mars 2016.

Benderradji M.E.H., alatour D., ARFA A.M.T., benachour K.2006. Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation. Impact du phénomène en Algérie, *New Medit.N.4/2006*. 19p.

Belboukhari, N., Merzoug, Z., Cheriti, A., Sekkoum, K., Yakoubi, M. 2013. Characterization and qualitative composition of the essential oils from six medicinal plants by IR spectroscopy. *Phytochem BioSub J* 7, 14–8.

Benjamin, Wolfe and John et N. Klironomos.2005. Breaking new ground: soil communities and exotic plant invasion. *Bioscience*, vol 55, issue 6, pages 477-487.

Beninger C W, Abou-Zaid M M, Kistner A L E, Hallett R H, Ikbali M J, Grodzinski B et Hall J C.2003. A flavanone and two phenolic acids from chrysanthemum.

Benmeddour. T.2010. Etude du pouvoir allélopathique de l'Harmel (*Peganumharmala L.*), le laurier rose (*Neriumoleander L.*) et l'ailante (*Ailanthusaltissima (Mill.) Swing.*) sur la germination de quelques mauvaises herbes des céréales.

Benseghir LA.2002. Amélioration des techniques de production hors-sol du chêne-liège : conteneurs-substrats-nutrition minérale. Mémoire de magistère. Université Badji Mokhtar. Annaba. 91p.

Bernhard R., Daniel D et Martin T.1993. Biomasse, minéralisation et productivité en plantation d'*Acacia mangium* et *A. auriculiformis* au congo. Bois et forêts des tropiques 238, 35-44,1993.

Bertin C., Xiaohan Yang L A et Weston. 2003. The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere. Plant & Soil256: 67–83p.

Bermer C., Braker G., Mathies D., Andreas Reuter A., Engels C et Conrad R.2007. Impact of plant functional group, plant species, and sampling time on the composition of nirK-type denitrified communities in soil. Appl.Environ. Microbiol.76 (21) 6867-6884.

Benabid A. 2000. Flore et écosystème du Maroc : évaluation et préservation de la biodiversité. Ibis Press, Paris, 357 p.

Benmeddour T .2010. Etude du pouvoir allélopathique de l'Harmel (*Peganum harmala* L.), le laurier rose (*Nerium oleander* L.) et l'ailante (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swing.) sur la germination de quelques mauvaises herbes des céréales. Thèse de Magister, Université Ferhat Abbas, Setif, PP : 106.

Benyacoub S.1993 : -Kala (Nord- Est Algérien). Thèse de Bourgogne, Dijon.

Benyacoub S., Louanchi M., Baba Ahmed R., Benhouhou S., Chalabi B., Haou F., Ziane N. et Roueg R. 1998. Plan directeur de gestion du parc National d'El-Kala et du complexe des zones humides. Projet G.E.F. (Global Environment Facility) -Banque Mondiale. 220p. + 28 cartes. Disponible au Parc National d'El Kala.

Bethlenfalvay G J et Lindemann R G. 1992.Les mycorhizes dans l'agriculture durable : actes d'un symposium parrainé par les divisions S-3 et S-4 de la Soil Science Society of America, la division A-8 de l'American Society of Agronomy et la division C-2 de la Crop Science Society of America à Denver, CO.Agris.fao. Organisation.

Blackburn TM, Psek P, Bacher S et al. 2011. Un cadre unifié propose pour les invasions biologiques. Trends ecol evol 26 :333-339.

Blum. U .2005 Relationships between phenolic Acid concentrations. Transpiration. Water utilisation. leaf area expansion. And uptake of phenolic Acid: nutriment culture studies. Journal of chemical ecology .31p.

Bojilov, D.G., Simeonova, Z.B., Solakov, N.Y., Angelova-Romova, M.Y., Tsvetanova, V.M et Ivanov, I.I .2014. Chemical composition of *Gleditsia Triacanthos* L.: application in phytotherapy of socially significant diseases. Journal of international scientific publications : materials, methods and technologies, 8, 382-392.

Bonfante-Fasolo P.1984. Anatomy and morphology of VA mycorrhizae, In VA mycorrhiza, Powell, CL et Basavaraj, DJ, CRC Press, Boca Raton, 5-33.

Bonfante P, Genre A. 2010. Mechanisms underlying beneficial plant-fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. Nature communications 1: 48.

Bonfante P, Genre A.2008. Plants and arbuscular mycorrhizal fungi: an evolutionary-developmental perspective. Trends Plant Sci.13(9):492-8. doi: 10.1016/j.

Bouabdelli Z .2019. Study of mycorrhizas of species of the genus Pistacia, based on edapho-climatic conditions in Algeria. Ziane Achour University of Djelfa.

Boudiaf I. 2012. Analyses des facteurs microbiens régissant le caractère invasif d'*Acacia mearnsii* dans la subéraie du Parc National d'El Kala (Nord-est Algérien). Thèse de doctorat, Université Montpellier 2. France.

Boudiaf I, Baudoin E, Sanguin H, Beddiar A, Thioulouse J, Galiana A, Prin Y, Le Roux C, Lebrun M et Duponnois R .2013. The exotic legume tree species, *Acacia mearnsii*, alters microbial soil functionalities and the early development of a native tree species, *Quercus suber*, in North Africa. Soil Biology and Biochemistry, 65 : 172-179.

Boudiaf I, Beddiar A, Le Roux C, Prin, Yand et Duponnois R. 2014. Invasion d'une subéraie naturelle d'Algérie par un acacia australien : *Acacia mearnsii* (De Wild). IOBCWPRS Bull. 101 : 11-14.

Boudy. 1955. Economie forestière nord-africaine, tome quatrième, description forestière Del 'Algérie et de la Tunisie, Larose, Paris. 520 p.

Bouchafre E T et Fraval A. 1991. Présentation du chêne liège et de la subéraie. in. Villemant et Frayal, 1991-la faune du chêne liège. Actes éditions. Rabat. 1-26p.

Bouillet JPD, Laclau J P, Nouvellon Y et Epron D. 2013. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantation. Forest ecology and management, vol :301, page : 6-27.

Bouhraoua R T.2003. Situation sanitaire de quelques forêts de chêne-liège de l'ouest algérien : étude particulière des problèmes posés par les insectes- Thèse d'état, département de foresterie, faculté des sciences, université de Tlemcen. 290p.

Boulunier T et Nicholas J D.1998. Estimating species richness: the importance of heterogeneity in species detectability. The ecological society of America: 1018. Ecology 73 (3).

Bouton F., 2005. Mise en évidence du potentiel allélopathique de la graminée *Festuca paniculata* dans les prairies subalpines. Rapports de stage de Master 1. Université Joseph Fourier- UFR de Biologie, Grenoble.

Bouzi A., benabdeli K., belgherbi B et bouzi K.2021. Contribution of ecological

restoration in preservation of forests ecosystems in Algeria. Acta Scientifica Naturalis 8 : 109–117, <https://content.sciendo.com/view/journals/asn/asn-overview.xml>.

Bowman D M J S et Kirkpatric J B. 1996. Establishment, suppression and growth of *Eucalyptus delegtensis* R T. Baker in multiaged forests; intraspecific allelopathy, competitionen adult nd juvenile for moisture and nutrients nd damage too seedlings. Aust J Bot ,34 : 81-94. Cité pr Ahmed et al. 2008.

Bradow J M. 1993. Inhibition of cotton seedling growth by volatile ketones emitted bycover crop residues.J.Chem.Ecol., 19 :1085-1108.

Brady N C et Weil R R.2008. The nature and properties of soils, 14th-liukovsky.niu.edu.tw.

Braker G, Fesefeldt A, Paul Witzel K. 1998. Development of PCR primer systems for amplification of nitrite reductase genes (*nirK* and *nirS*) to detect denitrifying bacteria in environmental samples. Applied and environmental microbiology 64 (10),3769-3775.

Belhadi F. 2018. Mémoire Master. Les plantations d'*Acacia mearnsii* (De wild) au Nord-Est Algérien : une inquiétude écologique. Université Badji Mokhtar Annaba/Algérie. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie p 34.

Besserer A, Puech-Pages V, Kiefer P, Gomez-Roldan V, Jauneau A, Roy S, Portais JC, Roux C, Bacard G et Sejalon-Delmas N. 2006. Les strigolactones stimulent les champignons mycorhiziens à arbuscules en activant les mitochondries. PloS Biology 4 : 1239 – 1247.

Besserer A., Bécard G., Jauneau A., Roux C et Séjalon-Delmas N.2008. Le GR24, analogue synthétique des strigolactones, stimule la mitose et la croissance du champignon mycorhizien à arbuscules *Gigaspora rosea* en boostant son métabolisme énergétique. Physique Végétale. 148 :402–413.

Bevege D I et Bowen, GD .1975. Différences entre la souche d'endogone et la plante hôte dans le développement des mycorhizes vésiculaires-arbusculaires. Dans : *Endomycorrhizas* (éd. par FE Sanders , B. Mosse & PB Tinker) pp. 77 – 86 . Academic Press, Londres et New York.

Boizot N, Charpentier J.P. 2006. Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. Méthodes et outils pour d'observation et l'évaluation des milieux forestiens, prairiaux et aquatiques, INRA, 82p.

Binggeli, P.1996. A taxonomic, biogeographical and ecological overview of invasive woody plants. Vegetation Science, 7: 121-124.

Brown D E., Rashotte A M., Murphy A S., Normanly J., Tague B W., Peer W A., Taiz L. et Muday G K. 2001. Flavonoids act as negative regulators of auxin transport in vivo in *Arabidopsis*. Plant Physiol. 126, 524-535.

Bucić-Kojić A., Planinić M., Tomas S., Bilić M et Velić D. 2007. Study of solidliquid extraction kinetics of total polyphenols from grape seeds. Journal of Food Engineering, 81: 236–242.

Buee L, Bussiere T, Buee-Scherrer V, Delacourte A et Hof P R .2000. Tau protein isoforms, phosphorylation and role in neurodegenerative disorders. *Brain Res Brain Res Rev* 33:95-130.

Buer C S., Imin N et Djordjevic M A.2010. Flavonoids: New Roles for Old Molecules. *J. Int. Plant Biol.* 52 (1), 98-111.

Burgess T., Dell B. et Malajczuk N. 1994. Variation in mycorrhizal development and growth stimulation by 20 *Pisolithus* isolates inoculated onto *Eucalyptus grandis*. *New Phytologist*, 127: 731-739.

Burgess N., D'Amico Hales J., Underwood E et al. 2004. Terrestrial ecoregions of Africa and Madagascar: a continental assessment. Washington, D.C. : Island Press, pp. 1-501.

Brundrett MC.2009. Associations mycorrhiziennes et autres moyens de nutrition des vaisseaux plantes : comprendre la diversité globale des plantes hôtes en résolvant les conflits L'information et le développement de moyens de diagnostic fiables. *Plante et sol*, 320: 37-77.

Brunel S. et Tison J.M. 2005. A method of selection and hierarchization of the invasive and potentially invasive plants in continental Mediterranean France. *In: Brunel S., ed. Proceedings of the International workshop: invasive plants in Mediterranean type regions of the world*, 25-27 May 2005, Mèze, France. Strasbourg, France: Council of Europe Publishing, 27-36.

Bulama, J S., Dangoggo, S M., Mathias, S N. 2015. Isolation and Characterization of BetaSitosterol from ethyl acetate extract of root bark of *Terminalia glaucescens*. *Int. J. Sci. Res. Publ.*

Bürkert B, Robson A.1994. 65Zn uptake in subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) by three vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in a root free sandy soil. *Soil Biology & Biochemistry* 26 :1117- 1124.

C

Capdevilla Argüelles L., Iglesias Garcia A., Orueta J.F. et Zilleti B. 2006. *Especies exóticas invasoras : diagnostico y bases para la prevencion y el manejo*. Madrid : Naturaleza y Parques Nacionales, série Técnica.

Callaway, R.M. 1990. Effects of Soil Water Distribution on the Lateral Root Development of Three Species of California Oaks. *American Journal of Botany* 77 : 1469–1474.

Callaway RM, Hierro JL. 2003. Allélopathie et invasion de plantes exotiques. *Plante et sol* 256,29-39. <http://doi.org/10.1023/A:1026208327014>.

Callaway RM, Ridenour WM. 2004. Novel weapons: a biochemically based hypothesis for invasive success and the evolution of increased competitive ability. *Front Ecol Environ* 2 :436–443.

Calvet R.2003. Le sol : propriétés et fonctions Tome 1 Constitution et structure. Phénomène aux interfaces. Editions France Agricole.Dunod.465p, 2-85557-082-4.

Campa C, Diouf D, Ndoye I, Dreyfus B.2000. Differences in nitrogen metabolism of *Faidherbia albida* and other N₂- fixing tropical woody acacias reflect habitat water availability. The new phytologist 147(3), 571-587.

Camron H.J. et Julian J.R.1980. Inhibition of protein synthesis in lettuce (*Lactuca sativa* cultivar Black Seed Simpson) by allelopathic compounds.J. Chem. Ecol., 6 :989-996.

Cappellazzo, G., Lanfranco, L., Fitz, M., Wipf, D., et Bonfante, P. 2008. Characterization of an amino acid permease from the endomycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. Plant Physiology. 147, 429–437.

Castañeda-Ovando A., Pacheco-Hernández M.L., Páez-Hernández ME., Rodríguez JA., Galán-Vidal CA. 2009. Chemical studies of anthocyanins: A review. Food Chem. 113, 859-871.

Chabot R, Antoun H, Cescas MP .1996. Growth promotion of maize and lettuce by phosphate solubilizing *Rhizobium leguminosarum* biovar phaseoli. Plant & Soil 184 : 311-321.

ChekchakiSamir, Zaafour etArifa Beddiar.2020. Cartographie diachronique de la dynamique forestière et évolution de l'invasion des subéraies et des eucalyptaies par l'Acacia noir (*Acacia mearnsii* De Wild) dans le Parc National d'El Kala (Nord-Est algérien). Physio-Géo, Volume 15.

Cherif El Amine Mohamed Errih et Hayet Madani Cherif. 2009.Modélisation statistique du transport solide du bassin versant de l'Oued Mekerra (Algérie) en zone semi-aride méditerranéenne, Hydrological Sciences Journal, 54 :2, 338-348.

Chesnokova MG., Shalaj., Kraus YA., Cherkashina NV., Mironov A. 2016. Analysis of corrosion defects on oil pipeline surface using scanning electron microscopy and soil thionic and sulfate-reducing bacteria quantification. Procedia Engineering, 152, 247 -250.

Cheyrier V., Dueñas-Paton M., Salas E., Maury C., Souquet JM., Sarni Manchado P., Fulcrand H.2006. Structure and Properties of Wine Pigments and Tannins. Am. J. Enol. Vitic. 57: 298-305.

Chiapusio G., Sanchez A.M., Reigosa M.J., Gonzalez L. et Pellissier F.1997.Do germination indices adequately reflect allelochemical effects on the germination process.J. Chem Ecol. 2445- 2459 p.

Chiapusio G. Gallet C. Dobremez JF et Pellissier F.2002. Composées allélopathiques. Herbicides de demain. In Regnault Roger C. Philogéne B J. R et vincent C. B iopesticides d'origines végétales. Ed lavoisier. Paris. Chung, I. M., K. H. Kim, J. K. Ahn, S. B. Lee, S. H. Kim and S. J.

Cheok CY, Salman HAK, Sulaiman R.2014. Extraction and quantification of saponins: A review. Food Research International;59: 16-40.

Chou CH., et Waller GR eds.1983. Allelochemicals and pheromones Taipei; Institute of Botany, academia sinica monograph series No.5.

Celik 1., Ortas 1., Kilic S. 2004. Effects of compost mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. Soil & tillage Research 78 (2004) 59-67.

Celesti-Grapow et al. 2009a. Plant invasion in Italy – an overview. Roma: Palombi et Partners srl.

Christian JM, Wilson SD.1999. Long-term ecosystem impacts of an introduced grass in the northern Great Plains. Ecology 80 (7), 2397.

Clarini J. 2014. Histoire d'un livre. L'analyse des conflits de propriété dans le XVIIIe siècle anglais, menée par l'historien britannique Edward P. Thompson dans « La Guerre des forêts », résonne fortement à l'ère d'Internet. Journal le monde du 23 janvier.

Corrales M., Garcí A.F., Butz P., Tauscher B. 2009. Extraction of anthocyanins from grape skins assisted by high hydrostatic pressure. J. Food Eng. 90 : 415-421.

Correia, JD. 2015. Valorization of Acacia melanoxylon extracts for Biorefinery: phenolic content, antioxidant and anti-inflammatory activities. Universidade de Lisboa faculdade de ciências departamento de química e bioquímica.

D

Daft, MJ ; McCord, SB. 1975. Stewart, WDP Études écologiques sur les bactéries lysant les algues dans les eaux douces. Freshw. Biol, 5, 577–596.

Dajoz R. 1985. Précis d'écologie. Ecologie fondamentale et appliquées. 5ème édition Gauthier Villard.Paris:505p.

Daldoum MA, Nimer AM.2002. Effects of acacia Senegal (L., wild) on sanday soils:a case study of El Demokeya forest. University of Khartoum. Journal of agriculture science 10(1),198-210.

Dalibart M. et Servant L. 2000. Spectroscopie dans l'infrarouge, Techniques de l'Ingénieur, traité Analyse et Caractérisation, p. 2.

Dalpe, Y. 2005. Les mycorhizes : un outil de protection des plantes mais non une panacée. Phytoprotection. 86, 53–59.

Dandan Zhao, Zhiwei Zhao. 2007. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the hot-dry valley of the jinsha River, southwest China. Applied soil ecology 37, 118-128.

- Deans JD, Diagne O, Lindley DK, Dione M, Parkinson JA.** 1999. Nutrient and organic matter accumulation in Acacia Senegal fallows over 18 years. *Forest Ecology and Management* ,124/153-167.
- De Abreu N., Mazzafera P.** 2005. Effect of water and temperature stress on the content of active constituents of *Hypericum brasiliense* Choisy. *Plant Physiol. Biochem.* 43. 241-248.
- De Belair.**1990. Structure et fonctionnement et perspectives de gestion de quatre éco-complexe lacustre et marécageux (El-Kala, Est algérien), thèse Doct. Univ.U.S.T.L. Montpellier, France.
- Declerck S, Strullu DJ, Planchette C, Guillemette T.** 1996. Entrappement of invitro produced spores of *Glomus versiforme* in alginate beads : invitro and invivo inoculum potentials. *J. Biot.* 45:51-57.
- Del Moral R, Muller CH.**1970. The allelopathic effects of *Eucalyptus camaldulensis*. *American Midland Naturalist* 83: 254-282.
- De Souza LM., Cipriani TR., Iacomini M., Gorin PAJ., Sasaki GL .**2008. HPLC/ESI-MS and NMR analysis of flavonoids and tannins in bioactive extract from leaves of *Maytenus ilicifolia*. *J. Pharmaceut. Biomed. Anal.* 47 : 59-6.
- D G F.**2016. Stratégie forestière à l'horizon 2035, Edition 2016.
- Dhima, K. V., I. B. Vasilakoglou, I. G. Eleftherohorinos and A. S. Lithourgidis.** 2006. Allelopathic potential of winter cereal cover crop mulches on grass weed suppression and sugarbeet development. *Crop Science* 46 :1682-1691.
- Dosseh C., Moretti C., Tessier A M., Delaveau P.** 1980. ÉTUDE CHIMIQUE DES FEUILLES DE *BYRSONIMA VERBASCIFOLIA* RICH. ex JUSS. *Plantes Médicinales Phythér.* 14, 136–142.
- Diallo BM, Joly HI, Mckey D, Hosert-Mckey M, Chevalier MH.**2007. Genetic diversity of *tamarindus indica* populations: Any clues on the origin from its current distribution? *African journal of biotechnology* 6 (7).
- Diagne O., Ingleby K.** 2003. Ecologie des champignons mycorrhiziens arbusculaires infectant *Acacia raddiana*. In : Grouzis Michel (ed.), Le Floch E. (ed.) *Un arbre au désert : Acacia raddiana.*, Paris : IRD, pp. 205-228.
- Di Castri F. et Younès T.** 1990. Fonction de la diversité biologique au sein de l'écosystème, *Acta Oecologica*, 3, 429-444. Robertson, Vernhes J. et Younès T. (1993). *Diversitas, iubscope-unesco. Programme on Biological Diversity : a Progress Report, Biology International* 26, 21-22.
- Dixon RA, Pavia NL .**1995. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *Plant Cell.* 7: 1085-1097.

Djeridane A., Yousfi M., Nadjemi B., Boutassouna D., Stocker P., Vidal N. 2006. Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants' extracts containing phenolic compounds. *Food Chemistry*, 97, pp :654-660.

Djurdjevic L., Dinic A., Pavlovic P., Mitrovic M., Karadzic B., Tesevic.2004. Allelopathic potential of *Allium ursinum* L. *Biochemical systematics and ecology* 32: 533-544.

Dommergues YR ; E, Duhoux and Diem HG. 1999. Les arbres fixateurs d'azote. Caractéristiques fondamentales et rôle dans l'aménagement des écosystèmes méditerranéens et tropicaux avec référence particulière aux zones subhumides et arides. CIRAD, Editions Espaces, FAO,IRD,Monpellier et Rome,499 p.

Donald O et Saporta, Sol. 1958. Classification des clusters intervocaliques. *Langue* 34. 261-66.

DD Douds et al.1993. Populations de spores du champignon VAM et colonisation des racines du maïs et du soja en agriculture durable conventionnelle et à faibles intrants

DD Jr Douds, Nagahashi G, Pfeffer PE, Kayser WM, Reider C .2005. On-farm production and utilization of arbuscular mycorrhizal fungus inoculum. *Canadian Journal of Plant Science* 85: 15-21.

Drewes, S. E. et Ilsley, A. H. 1968. Isolation of 3-methoxyfisetin from *Acacia mearnsii*. *Chem Comm (London)* :1246-1247.

Duponnois R., Planchette C. et Bâ A.M.2001. Growth stimulation of seventeen fallow leguminous plants inoculated with *Glomus aggregatum* in Senegal. *Eur. J. Soil Biol.* 37 : 181-186.

Duponnois R, A.M. Bâ, Y Prin, E. Baudoin, A. Galiana et B. Dreyfus.2005. Les champignons mycorrhiziens : une composante majeure dans les processus biologiques régissant la stabilité et la productivité des écosystèmes forestiers tropicaux. P 421-440.

Duponnois R., Planchette, C, Thioulouse, J, Cadet P. 2001b. The mycorrhizal soil infectivity and arbuscular mycorrhizal fungal spore communities in soils of different aged fallows in Senegal. *Applied Soil Ecology*, 17: 239-251. Foy, C.D. (1992). Soil chemical factors limiting plant root growth. *Advances in Soil Science*, 19: 87-149.

Duponnois R et Planchette C. 2003. A mycorrhiza helper bacterium (MHB) enhances ectomycorrhizal and endomycorrhizal symbiosis of Australian *Acacia* species. *Mycorrhiza* 13: 85–91.

Duponnois R.2006a. Mycorrhiza Helper Bacteria: Their ecological impact in mycorrhizal symbiosis. In: *Handbook of Microbial Biofertilizers*. Rai MK (ed); Food Products Press, Binghamton NY. pp: 117- 135.

Duponnois R.2006b. Bacteria Helping Mycorrhiza Development. In: Mukerji KG, Manoharachary C, Singh J (eds) *Microbial Activity in the Rhizosphere*. Springer-Verlag, Berlin. pp: 297-310.

Duponnois R, Kisa M .2006. The possible role of trehalose in the mycorrhiza helper effect. *Canadian Journal of Botany* 84: 1005-1008.

Duponnois R., Sanon A., Hafidi M., Ndoye I. and A. M. Bâ. 2013. Généralités sur la symbiose mycorhizienne. In : des champignons symbiotiques contre la désertification des écosystèmes méditerranéens, tropicaux et insulaires, Eds Robin Duponnois, Mohamed Hafidi, Ibrahima Ndoye, Heriniairana Ramanankierana, Amadou M. Bâ, IRD Editions, Paris, pp 20 - 55.

E

Ehrenfeld, JG. 2003. Effects of exotic plant invasions on soil nutrient cycling processes. *Ecosystems*, 6, 503-523.

Ehrenfeld JG, Kourtev P, Huang W. 2001. Changes in soil functions following invasions of exotic understory plants in deciduous forests. *Ecological applications*, Wiley online library.

Einhellig, F.A. 1986. Mechanisms and modes of action of allelochemicals.

Elhoucine L. 2013. Les champignons associés au platypus cylindrus Fab. (Coleoptera, Curculionidae, Platypodinae) dans un jeune peuplement de chêne-liège de la forêt de M'Sila (Oran, nord-ouest d'Algérie) : Etude particulière de la biologie et l'insecte. Diplôme de Doctorat en Sciences Forestières, Université Aboubakr Belkaid-Telemcen. 181p.

Emberger L. 1952. Sur le quotient pluviothermique. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 234 : 2508-25311.

Emerenciano V.P., Barbosa K.O., Scotti M.T., Ferrero M.J.P. 2007. Self organising maps in chemotaxonomic studies of Asteraceae: a classification of tribes using flavonoid data. *J. Braz. Chem. Soc.* 18: 891-899.

Erdogan-Orhan, E., Belhattab, R., Senol, F. S., Gülpinar, A. R., Hosbas, S., et Kartal, M. 2010. Profiling of cholinesterase inhibitory and antioxidant activities of *Artemisia absinthium*, *A. herba-alba*, *A. fragrans*, *Marrubium vulgare*, *M. astranicum*, *Origanum vulgare* subsp. *glandulosum* and essential oil analysis of two *Artemisia* species, *Industrial Crops and Products*, 32, 566-571.

Einhellig F.A. et Schon M.K. 1982. Noncompetitive effects of *kochia scoparia* on grain sorghum and soybeans. *Can. J. Bot.*, 60 : 2923-2930. Cité par Blanco J.A., 2007.

Einhellig, F.A., M.S. Muth, et M.K. Schon. 1985. Effects of allelochemicals on plantwater relationships. *ACS Symposium series - American Chemical Society (USA)*.

Einhellig F.A., Eckrich P.C. 1984. Interaction of temperature and ferulic acid stress on grain sorghum and soybeans. *J Chem Ecol*, 10 : 161-70. Cité par Batish et al., 2007.

Einhellig F A., Rasmussim J A., Hejl A M et Souza I F. 1993. Effects of root exsudates sorgoleone on photosynthesis. *J.Chem.Ecol.*, 19 : 369-375. Cité par Robles et al., 1999.

Einhellig, F.A., J.C.G. Galindo, J.M.G. Molinillo, et H.G. Cutler. 2004. Mode of allelochemical action of phenolic compounds. *Allelopathy: Chemistry and mode of action of allelochemicals* 217-238.

El Mokni, R., Elaissi, A., et El Aouni, M. H. 2016. *Cuscutacampestris* (Cuscutaceae) un holoparasite nouveau et envahissant pour la flore de Tunisie. *Fl. Medit*, 26, 179-189.

El Tahir B A, Ahmed D M. Ardo J et Gaafar A M. 2009.Changes in soil properties following conversion of *Acacia Senegal*, plantation to other land management systems in North Kordofan State, Sudan. Journal of arid environments 73,499-505.

Enwall K, Nyberg K, Bertilsson S, Cederlund H, Stenstrom J et Hallin S.2007. Long-term impact of fertilization on activity and composition of bacterial communities and metabolic guilds in agricultural soil. Soil biology biochemistry 39 (1), 106-115.

Evans H G et Barbier L E. 1977.Fixation biologique de l'azote pour la production d'aliments et de fibres. La science. Nouvelle Série, Vol. 197, n° 4301 (22 juil. 1977) , pp. 332-339 (8 pages).

F

Faller ALK et Fialho E. 2010. Polyphenol content and antioxidant capacity in organic and conventional plant foods. Journal of Food Composition and Analysis, 23: 561–568.

Fatunbi A O., Dube S., Yakubu M T et Tshabalala T. 2009. Allelopathic Potential of *Acacia mearnsii* De Wild. Agricultural and Rural Development Research Institute (ARDRI); 2Department of Livestock and Pasture Science, 3 Department of Botany, University of Fort Hare, PB X 1314, Alice 5700, EC, South Africa, 7(12), 1488–1493.

FAO .1997. State of the World's Forests 1997. Rome

Farkas G L et Kiraly Z. 1992. Role of phenolic compounds in the physiology of plant diseases and disease resistance. Phytopathol. Z., 44 :105–150. Cité par Blanco, 2007.

Feeny.P. 1976.- Plant appetency and chemical defense. Ed. Plenum Press, New York.

Ferrazzano GF., Amato I., Ingenito A., Zarrelli A., Pinto G et Pollio A .2011. Plant Polyphenols and Their Anti-Carcinogenic Properties: A Review. Molecules. 16: 1486-1507.

Finney D J. 1979. Bioassay and the Practice of Statistical Inference. International Statistical Review 47, 1–12.

Firmin S., Labidi S., Fontaine J., Laruelle F., Tisserant B., Nsanganwimana F., Pourrut, B., Dalpé Y., Grandmougin A., Douay F. Shirali P., Verdin A., Lounès-Fisher N H., Weidenhamer J D., Riopel J L., Quijano L et Menelaou M A.1990. Stimulation of witchweed germination by sesquiterpene lactones: a structure–activity study. Phytochemistry, 29 : 2479–2483. Cité par Blanco, 2007.

Floc'h, E., Le Houerou, H. N., et Mathez, J. 1990. History and patterns of plant invasion in Northern Africa. In: Biological invasions in Europe and the Mediterranean Basin (pp. 105-133). Springer, Dordrecht

FM-pnud.2003. Plan d'Action et Stratégie Nationale sur la Biodiversité. Projet ALG/97/Forestry & Urban Greening, 4(3-4), 125-134.

Fogliani B.2002.De la connaissance physiologique des Cunoniaceae endémiques de la nouvelle-Calédonie, à la recherche des caractéristiques physico-chimiques et biologiques de leurs substances bioactives d'intérêt. Thèse de Doctorat en physiologie végétale et phytochimie. 42-5.

Fortin JA, Plenchette C, Piche Y .2008. Les mycorhizes la nouvelle révolution verte, édition Multi Mondes.

FOSA.2000. L'étude prospective du secteur forestier en Afrique. Algérie. FAO, Rome, 60 p.

Fterich A, Mosbah A. and Mohamed M. 2012. Impact of grazing on soil microbial communities along a chronosequence of *Acacia tortilis* subsp. raddiana in arid soils in Tunisia. Eur. J. Soil Biol. 50 : 56-63.

Fraga-Beddiar, A., et Le Tacon, F. 1990. Interactions between a VA mycorrhizal fungus and Frankia associated with alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaetn.). Symbiosis. 9, 247-258.

Frank A.B.1877. Über die biologischen Verhältnisse des Thallus einiger Krustenflechten. Beiträge zur Biologie der Pflanzen, vol. 2, pp. 123-200.

Franke-Snyder M, Doubs JRDD, Galves L, Phillips JG, Wagoner P, Drinkwater L, Morton JB. 2001. Diversity of communities of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi present in conventional versus low-input agricultural sites in eastern Pennsylvania, USA. Appl.Soil Ecol.16,35-48.

Fратиanni F, Marina T , Monica D.P , Rosa P , Filomena N.2007. Polyphenolic composition in different parts of some cultivars of globe artichoke (*Cynara cardunculus* L. var. scolymus (L.) Fiori). Food Chemistry 104,1282–1286.

Fraval A. 1991. Contribution à la connaissance des rythmes de floraison du chêne-liège en forêt de Mamora. Ann. Rech. For. Maroc, 25 :102-118.

Freckleton RP, Watkinson AR. 2001 b. Prévoir les coefficients de concurrence pour le mélange végétaux : réciprocité, transitivité et corrélations avec les traits de l'histoire de vie. Ecologie Lettres 4: 348-357.

Friedman, J. 1995. Allelopathy, Autotoxicity, and germination. In Seed development and germination. CRC Press, Florida. pp. 629-643.

G

Gàbor M, Cody V, Middleton E J, Harborne J B, Beretz A, Liss A R. 1988. Plants Flavonoids in biology and Medecine II; Biochemical, Cellular and Medecinal properties. New York, 1-15 p.

Gaouar A. 1980. Hypothèse et réflexion sur la dégradation des écosystèmes forestiers dans la région de Tlemcen. Forêt méditerranéenne, 2 : 131-146.

Gaujout D. 1995. La pollution des milieux aquatiques. Aide-mémoire, 2 -ème édition TEC et DOC. Paris. 520p.

Gentili F et Jumpponen A .2006. Potential and possible uses of bacterial and fungal biofertilizers. in: Rai MK (ed) Handbook of Microbial Biofertilizers. Food Products Press. pp 1-28.

Genre. A, Chabaud. M, Timmers. ACJ, Bonfante. P, Barker. DG.2005. Arbuscular Mycorrhizal Fungi Elicit a Novel Intracellular Apparatus in Medicago truncatula Root Epidermal Cells before Infection. The Plant Cell 17 : 3489–3499.

Genre A, Mireille C, Coline B, Virginie P P, Mara N, Thomas R, Joëlle F, Soizic R, Guillaume B, Paola B et David G B.2013. Oligomères de chitine à chaîne courte de champignons mycorrhiziens à arbuscules déclencher Ca nucléaire²⁺ piquer dans Medicago truncatula racines et leur production est renforcée par la strigolact. Nouveau Phytologue, 198 : 179–189.

Gerdemann J W et Nicolson T H. 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Trans. Br. Mycol. Soc. 46: 235-244.

Gerdemann J W et Trappe J M.1974. The endogonaceae in the Pacific Northwest. Myc. Memoir., 5: 1-76.

Gil L et Varela M C.2008. Technical guidelines for genetic conservation and use Cork Oak (*Quercus suber*), EUFORGEN, Bioversity International, Rome, Italy. 6p.

Giovannetti M., Schubert A, Cravero M C and Salutini L. 1988. Spore production by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus monosporum* related to host species, root colonization and plant growth enhancement. Biol. Fertil. Soils 6: 120-124.

Giovannetti M. et al.1991. Morphological, cytochemical, and ontogenetic characteristics of a new species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. Canadian Journal of Botany.

Giovannetti M, Avio L, Sabrana C, Cite rnesi AS.1993. Factors affecting appressorium development in the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* (Nicol et Gert) et Trappe. New Phytol., 123 : 115-122.

Gobat J M, Aragno M et Matthey W.2003. Le sol vivant, 2e Edition. Presses Polytechniques Universitaires Romandes, Lausanne. 568 p.

Gosling P., Hodge A., Goodlass G et Bending G D. 2005. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. Agriculture, Ecosystems and Environment. Article in Press.

Gosling, P., Hodge, A. Goodlass, G. et Bending, G. D .2006. Review: Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. Agriculture, Ecosystems and Environment, vol. 113, p. 17-35.

Gosling P., Ozaki A., Jones J., Turner M., Rayns F et Bending G D. 2010. Organic management of tilled agricultural soils results in a rapid increase in colonization and spore populations of mycorrhizal fungi. Agriculture, Ecosystems and Environment, 139, pp. 273-279.

Gonzalez, GF ; dos Santos, FA ; Da Costa, FB.2016. Lactones Sesquiterpéniques : Plus Than Composé végétal protecteurs avec haute toxicité. Critical Reviews in Plant Sciences 2016, 35, 18–37.

Gotor, AA. 2008. These de doctorat. Étude des variations des teneurs et de la variabilité des compositions en tocophérols et en phytostérols dans les akènes et l'huile de tournesol (*Helianthus annuus* L.). Ecole doctorale : Sciences de la matière Unité de recherche : Laboratoire d'Agrophysiologie de l'E.I. Purpan.

Ghoreish S M A., Sasmito P, Ferri P. Hassani L A. 2017. Évaluation des performances du stockage d'énergie thermique saisonnière à grande échelle dans une fosse de roche pour une application dans la ventilation des mines souterraines. Tome 185, partie 2, pp 953-2250.

Giri, C., Zhu, Z., Tieszen, L.L., Singh, A., Gillette, S., et Kelmelis, J.A. 2008. Mangrove forest distributions and dynamics (1975–2005) of the tsunami-affected region of Asia. *Journal of Biogeography*. 35, 519–528.

Gough C, Cullimore J. 2011. Lipo-chitooligosaccharide signaling in endosymbiotic plant-microbe interactions. *Molecular plant-microbe interactions* 24: 867–78.

Grayston SJ et Campbell CD .1996. Functional biodiversity of microbial communities in the rhizosphere of hybrid larch (*Larix eurolepis*) and Sitka spruce (*Picea sitchensis*). *Tree Physiol* 16: 1031-1038.

Grayston SJ, Vaughan D, Jones D. 1996. Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with annual plants: the importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability. *Applied Soil Ecology* 5: 29-56.

Grayston S J, Griffith G S, Mawdsley J L, Campbell C D et Bardgett R D. 2001. Accounting for variability in soil microbial communities of temperate upland grassland ecosystems. *Soil Biol Biochem* 33: 533– 551.

Griffin AR, Midgley S J, Bush D, Cuningham P, Rinaudo T. 2011. Plantations mondiales et utilisation des acacias australiens-passé, présent et futur. *Diversité et répartitions*, 17 ,837-847.

Guyot S., Le Bourvellec N., Marnet N., Drilleau J F. 2002. Procyanidins are the most abundant polyphenols in dessert apple maturity. *L.WT.* 35, 289-291.

H

Hadj Sahraoui A. 2015. Arbuscular mycorrhizal fungal inoculation protects *Miscanthus × giganteus* against trace element toxicity in a highly metal-contaminated site. *Science of The Total Environment*. 527–528, 91–99.

Hahn. 2003. Allelopathy: Comparison of allelopathic potential of rice leaves, straw, and hull extracts on barnyardgrass. *Agronomy journal* 95 :1063-1070.

Haig, T. 2008. Allelochemicals in Plants. In R. S. Zeng, A. U. Mallik, and S. M. Luo [eds.], *Allelopathy in Sustainable Agriculture and Forestry*, 63–104. Springer New York, New York, NY.

Hall I R. et Fish B J. 1979. A key to the Endogonaceae. Trans. Brit. Mycol. Soc, 73 :261-270.

Hallé, F. 2008. Aux origines des plantes, tome 1, Francis Hallé. Fayard (Paris).

Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica 4(1): 1-9, available at: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm.

Hamidou, TG., Yssouf, K., Issa, T., Mario, D. 2021. Phytochemical screening and antioxydant and cytotoxic effect of *Acacia macrostachya*. Plants 10 (7): 1353.

Hanxia Yu et al.2020. Soil nitrogen dynamics and competition during plant invasion: insights from *Mikania micrantha* invasions in China. Journal of New Phytologist, Vol. 229,10.1111/nph.17125.

Harrison M J. 2012. Cellular programs for arbuscular mycorrhizal symbiosis. Current opinion in plant biology 15: 691–8.

Harley JL, Smith S.1983.Mycorrhizal symbiosis, Academic Press, 1-32, New York.

Harper, J.R., et N.E. Balke. 1981. Characterization of the Inhibition of K⁺ Absorption in Oat Roots by Salicylic Acid. Plant Physiology 68: 1349–1353.

Hart MM, Ridear RJ, Klironomos JN.2003. Plant coexistence mediated by arbuscular mycorrhizal fungi. Trends Ecol. Evol 18: 418-423.

Hashoum H, Santonja T, Gauquelin A, Saatkamp J, Gavinet S, Greff C, Lecareux et al. 2017. Biotic interactions in a Mediterranean oak forest: role of allelopathy along phenological development of woody species. European Journal of Forest Research 1–12.

Haslam E. 1999. Practical Polyphenolics: From Structure to Molecular Recognition and Physiological Action. Trends in Food Science & Technology 10: 339.

Hayman DS. 1975. The occurrence of mycorrhiza in crops as affected by soil fertility. In: Sanders F.E, Mosse B., Tinker P.B. (Editors), Endomycorrhizas. Academic Press, London, pp. 409-509.

Haugland E. et Brandsaeter L.O. 1996. Experiment on bioassay sensitivity in the study of allelopathy. J. Chem. Ecol., 22 :1845-1859.

Hayouni EA., Abedrabba M., Bouix M., Hamdi M.2007. The effects of solvents and extraction method on the phenolic contents and biological activities in vitro of Tunisian *Quercus coccifera* L. and *Juniperus phoenicea* L. fruit extracts. Food Chemistry, 105: 1126–1134.

Hao Z P., Wang Q., Christie P et Li X L.2007.Allelopathic potential of watermelon tissues and root exudates. Scientia Horticulturae ,112: 315-320.

Hedge R S et Miller D A. 1990. Allelopathy and autotoxicity in Alfalfa: characterization and effects of preceding crops and residue incorporation. *Crop. Sci.*, 30 :1255-1259.

Heine. 1855. Poème de Heinrich Heine extrait de l'Intermezzo [1821-1822] et traduit en français par Gérard de Nerval [1848] p 100.

Heller R., Esnault R et Lance C. 1995. *Physiologie végétale. 2. Développement.* 5^{ème} Ed. MASSON, Paris.

Hetrick BAD., Kitt D G et Wilson G T. 1986. L'influence de la fertilisation au phosphore, de la sécheresse, des espèces fongiques et non du sol sur la réponse de croissance mycorhizienne chez les plantes des prairies à herbes hautes. *Revue canadienne de botanique* ; 64 :1199–1203.

Hien E., Favre-Bonte S., Masse D et Nazaret S. 2010. Impact de l'épandage de déchets urbains sur les communautés bactériennes de sols agricoles dans la périphérie de Ouagadougou, Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4, (5), 1721-1729.

Hiltner L. 1904. Über neuere Erfahrungen und Problem auf dem Gebiet der Bodenbakteriologie unter besonderer Berücksichtigung der Grundüngung und Brache (On recent insights and problems in the area of soil bacteriology under special consideration of the use of green manure and following. *Arbeiten der Deutschen Landwirtschaftlichen Gesellschaft* 98: 59-78.

Hirrel M C et Gerdemann J W. 1979. Enhanced carbon transfer between onions infected with a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. *New Phytologist.* 83, 731–738.

Hocquemiller R., Debitus C., Roblot F., Cavé A., Jacquemin H. 1984. Alcaloïdes des Annonacées, XLVIII. Alcaloïdes des Écorces de Guatteria discolor. *J. Nat. Prod.* 47, 353–362.

Hodge A., Campbell C D et Fitter A H. 2001. An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material. *Nature* 413, 297–299.

Holopainen J K. 2004b. Multiple functions of inducible plant volatiles. *Trends Plant Sci.* 9, 529–533.

Holway DA., Lack L., Suarez AV., Tsutsuin D. et Case.TJ. 2002. The cases and conséquences of an invasion. *Annual Review of Ecology and Systematique*, 33 :181-

Honer D, Larrere R., Lepar J., Mrty P. Et Vivien FD. 2005. *Introduction à la biodiversité.* Ed. C.N.R.S, Paris, 253P.

Ho I, Trappe JM. 1973. Translocation of C from Festuca plants to their endomycorrhizal fungi. *Nature: New biology* 244: 30–1.

Hughes Flint R, Uowolo A. 2006. Impacts of Flalcataria moluccana invasion on decomposition in Hawaiian lowland wet forests: the importance of stand-level controls. *Ecosystems* 9(6), 977-991.

Hahn. 2003. Allelopathy: Comparison of Allelopathic Potential of Rice Leaves, Straw and Hull Extracts on Barnyardgrass. *Agronomy Journal* 95 :1063-1070.

I

Inderjit. 1996. Plant Phenolics in Allelopathy. *The Botanical Review*, 62(2): 186-202.

Inderjit, Duke S.O. 2003. Ecophysiological aspect of allelopathy. *Planta*, 217: 529–539. Cité par Ding et al., 2007.

Inderjit, D.A. Wardle, R. Karban, et R.M. Callaway. 2011. The ecosystem and evolutionary contexts of allelopathy. *Trends in Ecology & Evolution* 26: 655–662.

Imtiaz MR., Mujawara LH., Shahzade T., Almeelbia T., Ismaila I, Oves M. 2016. Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils. *Microbiological Research*, 183, 26-41.

Ignat I., Volf I., Popa V.I. 2011. A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chem.* 126, 1821-1835.

INVAM, « Collection internationale de cultures de champignons mycorhiziens arbusculaires (vésiculaires) », <https://invam.wvu.edu/> . Voir sur : Google Scholar.

ISO 11265. 1994. Qualité du sol -Détermination de la conductivité électrique spécifique.

ISO 11263. 1994. Qualité du sol-Dosage du phosphore - Dosage spectrométrique du phosphore soluble dans une solution d'hydrogénocarbonate de sodium.

ISO 14235. 1998. Qualité du sol -Dosage du carbone organique par oxydation sulfochromique.

ISO 11464 .2006. Qualité du sol - Prétraitement des échantillons pour analyses physico-chimiques.

Itoh T., Tamura T., Matsumoto T., Dupaigne P., 1976. Etudes sur l'huile d'avocat, en particulier sur la fraction stérolique. Suite de l'étude sur la fraction 4- monométhylstérolique. *Fruits* 31, 473–481.

J

Jackson Robert B, Banner Jay L, Jobbagy Esteban G, Pockman William T, Wall Diana H. 2002. Ecostem carbon loss with woody plant invasion of grasslands. *Nature* 418 (6889), 623-626.

Jaiyeoba IA. 1996. Amelioration of soil fertility by woody perennials in cropping fields: evaluation of tree species in the semi arid zone of Nigeria. *Journal of arid Environments*, 33 :437-482.

Jakobsen, I., et Rosendahl, L. 1990. Carbon flow into soil and external hyphae from roots of mycorrhizal cucumber plants. *New Phytologist*. 115, 77–83.

Janos DP .1980. Mycorrhizae influence tropical succession. *Biotropica* 12 : 56-64.

Jansen C, Von, Wettstein D., Schafar W., et al. 2005. Les schémas d'infection dans les épis de l'orge et de blé inoculés avec le gène de type sauvage et la trichodiène synthase ont perturbé le fusarium graminearum Actes de l'academie nationale des sciences des Etats Unis d'Amérique ,102 (46),16892-16897.

Jauzein Ph.1998. Bilan des espèces naturelles salées en France méditerranéenne. 6^e Symposium méditerranéen EWRS, Montpellier, France, 13-15 mai 1998 : 18-25.

Jeffries petter, Robinson Louisa -Boyer, Rice Paul, Ray J. Newsam et John C. Dodd.2007 Ultrastructure of spore development in *Scutellospora heterogama*. *Mycorrhiza* (2007) 17 :395–403.

Jeddi, K. et Chaieb, M. 2012. Restoring degraded arid Mediterranean areas with exotic tree species: Influence of an age sequence of *Acacia salicina* on soil and vegetation dynamics. *Flora* 207: 693-700.

Jelali N., M'sehli W., Dell'orto M., Abdelly C., Gharsalli M et Zocchi G.2010. Changes of metabolic responses to direct and induced Fe deficiency of two *Pisum sativum* cultivars. *Env. Exp. Bot.* 68 (3), 238-246.

Jensen N J et Gross M L. 1987. Mass spectrometry methods for structural determination and analysis of fatty acids. *Mass Spectrom. Rev.* 6, 497–536.

Jobidon R., Thibault J.R., Fortin J.A. 1986. Phytotoxic effect of barley, oat and wheat mulches in eastern Quebec Forest plantations. 1. Effects on red raspberry (*Rubus idaeus* L.). *For. Ecol. Manage.* 29: 277–294. Cité par Blanco, 2007.

Johansson J F., Paul L R et Finlay R D .2004. Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture. *FEMS Microbiology Ecology* 48 : 1-13.

Johnson N C., Zak D., Tilman D et al .1991. Dynamique des mycorhizes vésiculaires-arbusculaires au cours de la succession des champs anciens. *Oecologia* 86,349-358.

Johnson D, Leake J R, Ostle N, Ineson P et Read D J .2002. In situ (CO₂)-C-13 pulse-labelling of upland grassland demonstrates a rapid pathway of carbon flux from arbuscular mycorrhizal mycelia to the soil. *New Phytologist* 153: 327-334.

Jones D L .1998. Organic acids in the rhizosphere – a critical review. *Plant & Soil* 205: 25-44.

Joner, E.J., et Leyval, C. 2003. Phytoremediation of organic pollutants using mycorrhizal plants: a new aspect of rhizosphere interactions. *Agronomy for Sustainable Development*. 23, 495 - 502.

Joyce L. Spain, Ewald Sieverding et Fritz Oehl.2006. Appendicispora: a new genus in the arbuscular mycorrhiza forming Glomeromycetes, with a discussion of the genus Archaeospora. Mycotaxon, Volume 97, pp. 163–182.

Junqua C. 1954. À propos de l'Hydrocirius columbiae S. et de l'intérêt biogéographique de la Calle. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle d'Afrique du Nord, 45 (7-8) : 318-322.

Jun X., Deji S., Ye L et Rui Z. 2011. Micromechanism of ultrahigh pressure extraction of active ingredients from green tea leaves. Food Control, 22: 1473- 1476.

K

Khanbabaee K et Ree T.V. 2001. Tannins: classification and definition. Nat. Prod. Rep. 18, 641-649.

Khefif N. 2006. Contribution à l'étude comparative de la qualité du liège de reproduction de deux provenances (Hafir de l'Ouest et Collo de l'Est). Diplôme d'ingénieur d'Etat en foresterie, Université Aboubakr Belkaid-Telemcen.76.

Khelalfa K. 2021. Thèse de doctorat. Valorisation des rations protéiques pour ruminants via un enrobage moléculaire. Université des Frères Mentouri-Constantine1 Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie Département de Biochimie et Biologie Moléculaire et Cellulaire.

Khelifi H.1987. Contribution à l'étude phytoécologique et phytosociologique des formations à chêne liège dans le Nord Est algérien. Thèse de Magister en Ecologie USTHB, Alger, p 151.

Kennedy T A., Naeem, S., Howe, KM., Knops, J.M., Tilman, D., Reich, P.2002. Biodiversity as a barrier to ecological invasion. Nature 417, 636–638.

Kil B S, Lee S Y.1987. Allelopathic effects of Chrysanthemum morifolium on germination and growth of several herbaceous plants. J. Chem.Ecol., 13 :299-308. Cité par Clifford et al .2005.

Kim S M., Cho, Y S et Sung S K. 2001. The antioxidant ability and nitrite scavenging ability of plant extracts. Korean J. Food Sci. Technol. 33, 626-632.

Kimmins J P. 2003. Old-growth Forest: An ancient and stable sylvan equilibrium, or a relatively transitory ecosystem condition that offers people a visual and emotional feast? Answer - it depends. The Forestry Chronicle 79 :429-440.

Kisa M, Sanon A, Thioulouse J, Assigbetse K, Sylla S, Spichiger R, Dieng L, Berthelin J, Prin Y, Galiana A, Lepage M et Duponnois R.2007. Arbuscular mycorrhizal symbiosis counterbalances the negative influence of the exotic tree species Eucalyptus camaldulensis on the structure and functioning of soil microbial communities in a sahelian soil. FEMS Microbiology Ecology 62: 32-44.

Kobayashi K. 2004. Factors affecting phytotoxic activity of allelochemicals in soil. *Weed Biology and Management* 4, 1-4p.

Koepe D E., Rohrbaugh L M., Rice E L., Wender S H. 1970a. The effect of X radiation on the concentration of scopolin and caffeoylquinic acids in tobacco. *Radia. Bot.*, 10 : 261–265. Cité par Blanco, 2007.

Koepe D E., Southwick L M., Bittell J E. 1976. The relationship of tissue chlorogenic acid concentration and leaching of phenolics from sunflowers grown under varying phosphate nutrient conditions. *Can. J. Bot.*, 54: 593–599. Cité par Blanco J.A., 2007.

Kohli R K., Batish D., Singh H P. 1998. Allelopathy and its implications in agroecosystems. *J. Crop Prod.*, 1 : 169–202.

Koitaabashi R., Suzuki T., Kawazu T., Sakai A et Kuroiwa T. 1997. 1,8-cineole inhibits root growth and synthesis in the root apical meristem of *Brassica campestris* L. *J. Plant. Res.*, 110 : 1-6.

Koukita L S, Epron D, Bouillet J P et Louis M. 2014. Changes in N and C concentrations, soil acidity and P availability in tropical mixed acacia and eucalypt plantations on a nutrient-poor sandy soil. *Plant and soil* 379(1), 205-216.

Kourtev P S. Ehrenfeld J G et Huang W Z. 1998. Effects of exotic plant species on soil properties in hardwood forests of new jersey. *Journal of water, air and soil pollution* 105 (1), 493-501.

Kourtev P S. Ehrenfeld JG et Huang W Z. 1999. Differences in earthworm densities and nitrogen dynamics in soils under exotic and native plant species. *Journal of biological invasions* 1 (2), 237-245.

Kourtev P S. Ehrenfeld J G et Haggblom M. 2003. Experimental analysis of the effect of exotic and native plant species on the structure and function of soil microbial communities. *Journal of soil biology and biochemistry* 35(7), 895-905. Elsevier.

Koske R E, Miller D D et Walker . 1983. *reticulata*: a newly described endomycorrhizal fungus from New England. *Mycotaxon* 16(2): 429-435.

Kruse M., Strandberg M et Strandberg B. 2000. Ecological Effects of Allelopathic Plants: à Review. NERI Technical Report No. 315. National Environmental Research Institute, Silkeborg, Denmark. 66 p.

Ksentin H. 2018. Thèse de doctorat. Essai de restauration écologique d'un sol forestier dégradé (réserve de Brabtia, Nord-est algérien) via l'utilisation des mycorhizes et des plantes nurses.

Ksouri R., Falleh H., Megdiche W., Trabelsi N., Hamdi B., Chaieb K., Bakhrouf A., Magné C et Abdelly C. 2009. Antioxidant and antimicrobial activities of the edible medicinal halophyte *Tamarix gallica* L and related polyphenolic constituents. *Food Chem. Toxicol.* 47, 2083-2091.

Kumar R, Kumar A et Dhillon R S.1998. Morphological and physio-chemical characteristics of soils under different plantation in arid ecosystem. Indian Journal of forestry ,21(3) :248-252.

Kurle J E et Pflieger F L.1994. Les populations de spores de champignons mycorhiziens à arbuscules réagissent aux conversions entre les pratiques de gestion à faibles intrants et les pratiques de gestion conventionnelles dans une rotation maïs-soja. Revue d'agronomie. Vol, 86, p, 467-475.

L

Labidi S., Calonne M., Ben Jeddi F., Debiane D., Rezgui S., Laruelle F., Tisserant B., Grandmougin-Ferjani, A., et Sahraoui A L.-H.2011. Calcareous impact on arbuscular mycorrhizal fungus development and on lipid peroxidation in monoxenic roots. Phytochemistry. 72, 2335–2341.

Laguna O.2019. Valorisation des composés phénoliques de colza et de tournesol : du fractionnement des matières premières à la synthèse de molécules multifonctionnelles. École doctorale GAIA – Biodiversité, Agriculture, Alimentation, Environnement, Terre, Eau Unité de recherche UMR IATE – CIRAD.

Laiho O.1965. Further studies on the ectendotrophic mycorrhiza. Acta Forestalia Fennica 79: 1-35.

Lambers H, Raven J A, Shaver G R, Smith S E.2008.Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age. Trends in Ecology et Evolution 23: 95-103.

Lanfranco L, Bianciotto V, Lumini E, Souza M, Morton JB, Bonfante P.2001. A combined morphological and molecular approach to characterize isolates of arbuscular mycorrhizal fungi in Gigaspora (Glomales). New Phytol 152 :169–179.

Latif S., Chiapusio G et Weston L A. 2016. Allelopathy and the Role of Allelochemicals in PlantDefence, Advances in Botanical Research.

Linderman R G .1988. Mycorrhizal interactions with the rhizosphere microflora: the mycorrhizosphere effect. Phytopathology 78 : 366-371.

Lehouérou H N. 1980. L'impact de l'homme et de ses animaux sur la forêt méditerranéenne. Forêt méditerranéenne, tome 2, n° 1, p. 31-44.

Lenoir I., Lounès-Hadj Sahraoui A., Frédéric L., Yolande D et Joël F. 2016a. Arbuscular mycorrhizal wheat inoculation promotes alkane and polycyclic aromatic hydrocarbon biodegradation : Microcosm experiment on aged-contaminated soil. Environmental Pollution. 213, 549–560.

Levine J M et D'Antonio C M. 1999. Elton revisited: a review of evidence linking diversity and invasibility. Oikos 1 :15–26.

Leyval C et Berthelin J .1993. Rhizodeposition and net release of soluble organic compounds by pine and beech seedlings inoculated with rhizobacteria and ectomycorrhizal fungi. *Biology & Fertility of Soils* 15: 259-267.

Leyval C et Jonner E J. 2001. Bioavailability of heavy metals in the mycorrhizosphere. in: *Trace elements in the rhizosphere*. CRC Press. pp 165-185.

Lisiewska Z., Kmiecik Wet Korus A. 2006. Content of vitamin C, carotenoids, chlorophylls and polyphenols in green parts of dill (*Anethum graveolens* L.) depending on plant height. *J. Food. Comp. Anal.* 19: 134-140.

Lind E M et Parker J D.2010. Novel weapons testing: are invasive plants more chemically defended than native plants? *PLoS ONE* 5(5): e10429. Doi: 10.1371/journal.pone.0010429.

Liu, Z., Zhou, L., Liu, D., Zhu, Q., et Chen, W. 2015. Inhibitory mechanisms of *Acacia mearnsii* extracts on the growth of *Microcystis aeruginosa*. *Water Science and Technology*, 71(6), 856–861.

Lodge D M, 1993. Biological invasion: lesson for ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, 8:133-137.

Louni D. 1994. Les forêts Algériennes. Forêt méditerranéenne, tome XV, n° 1, Janvier 1994. P59, 63.

Lopes F.1996: O sobreiro e a cortiça. - *Revista Florestal* 9 : 2.

López-Pedrosa, A., González-Guerrero, M., Valderas, A., Azcón-Aguilar, C., et Ferrol, N. 2006. GintAMT1 encodes a functional high-affinity ammonium transporter that is expressed in the extraradical mycelium of *Glomus intraradices*. *Fungal Genetics and Biology*. 43, 102– 110

Lovett J.V., Ryuntyu M.Y., Liu D.L.1989. Allelopathy, chemical communication, and plant defense. *J.Chem.Ecol.*, 15 :1193-1201.

Lowe S, Browne M et al.2007. 100 espèces exotiques envahissantes parmi les plus néfastes au monde. *Publications ISSSG*, 12 pages.

Lubchenco J, Olson AM, Brubaker LB, Carpenter SR, Holland MM, Hubbell SP, Levin SA, MzcMahon JA, Matson PS, Melilo JM, Mooney HA, Peterson CH, Pulliam HR, Real LA, Regal PJ, Risser PG. 1991. L'initiative biosphere durable : un programme de recherche écologique. *Ecologie* 72 : 371-412.

Lynn, DJ et Mayland C.1990. Phenolic signals in cohabitation: implications for plant development. *Plant Physiol. Plant Mol. Bioi.* 41 :497-526.

M

Madoui A. 2002. Les incendies de forêt en Algérie Historique, bilan et analyse. *Forêts méditerranéenne* t. XXIII, n° 1, juin 2002, 23p.

Mackenzie, A. 1967. Mearnsitrin: a new [methoxylated] flavonol glycoside [a rhamnoside] from the leaves of *Acacia mearnsii*. *Tetrahedron Lett* 26 :2519-2550.

Macheix J.J., Fleuriet A., Jay-Allemand C. 2005. Les composés phénoliques des végétaux, un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne, 192p.

Macheix J.J., Fleuriet A., Jay-Allemand C. 2006. Dans P. Sarni-Manchado, V. Cheynier, Les polyphénols en agroalimentaire, Lavoisier, Editions Tec & Doc.

Mahmoud O.H. 2018. La litière de feuilles de *Bombax ceiba* L. menace la couverture végétale et la diversité floristique dans un nouvel écosystème urbain. *Flore*, volume 244, page 22-30.

Makkar H.P.S. 2003. Quantification of Tannins in Tree and Shrub Foliage. A Laboratory Manual. Food and Agriculture Organization of the United Nations/International Atomic Energy Agency (FAO/IAEA). P 49–53.

Mallik, A.U., et Pellissier.F. 2000. Effects of *Vaccinium myrtillus* on Spruce Regeneration: Testing the Notion of Coevolutionary Significance of Allelopathy. *Journal of Chemical Ecology* 26: 2197–2209.

Poinsot V, André O, Puech-Pagès V, Haouy A, Gueunier M, Cromer L, Giraudet D, Formey D, Niebel A, et al. 2011. Fungal lipochitooligosaccharide symbiotic signals in arbuscular mycorrhiza. *Nature* 469: 58–63.

Malešev D., Kuntić V. 2007. Investigation of metal-flavonoid chelates and the determination of flavonoids via metal-flavonoid complexing reactions. *J. Ser. Chem. Soc.* 72 : 921-939.

Mallik, A.U., et H. Zhu. 1995. Overcoming allelopathic growth inhibition by mycorrhizal inoculation. In 39–57. American Chemical Society.

Mallik, A.U et Pellissier F. 2000. Effects of *Vaccinium myrtillus* on spruce regeneration : testing the notion de signification coévolutive de l'allélopathie. *Journal d'écologie chimique.* 26(9) : 2197-2209.

Manga A., Diop T.A., Tuinen D.V., Neyra M. 2007. Variabilité Génétique des champignons mycorrhiziens associés à *Acacia seyal* en zone semi-aride du Sénégal. *Secheresse (Article scientifique)*, 18 (2), pp. 129-133.

Manjunath A, Hue NV, Habte M .1989. Response of *Leuceana leucocephala* to vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization and rock phosphate fertilization in an Oxisol. *Plant & Soil* 114: 127-133.

Mao J, Yang L, Shi Y, Hu J, Piao Z, Mei L et Yin S. 2006. Crude extract of *Astragalus mognolicus* root inhibits crop seed germination and soil nitrifying activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 38:201-208.

- Marschner H et Dell B.** 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*. 159, 89–102.
- Marshner P, Timonen S.** 2007. Interactions between plant species and mycorrhizal colonization on the bacterial community composition in the rhizosphere. *Appl Soil Ecol* 28:23-36.
- Massalha H., Korenblum E., Tholl D et Aharoni A.** 2017. Small molecules below-ground: the role of specialized metabolites in the rhizosphere. *Plant Journal* 90, 788-807p.
- Matiru VN et Dakora FD.** 2004. Potential use of rhizobial bacteria as promoters of plant growth for increased yield in landraces of African cereal crops. *African Journal of Biotechnology* 3: 1-7.
- Mattson W J et Haak R A.** 1987. The role of drought in Outbreaks of plant-eating insects. Droughts physiological effects on plants can predict its influence on insect populations. *Bioscience.*, 37 (2): 110-118.
- Médail F, Quézel P.** 1997. Hot-spots analysis for conservation of plant biodiversity in the Mediterranean basin. *Ann Missouri Bot Gard* ;84 :112-27.
- Merouani H., Bronco C., Helena M. et Pereira J S.** 2001. Effects of acorn storage duration and parental tree on emergence and physiological status of Cork oak (*Quercus suber L.*) seedlings. *Ann. For. Sei.* 58 (2001) 543-554. INRA, EDP sciences, 2001.
- Metting F B.** 1992. *Soil microbial ecology: applications in agricultural and environmental management.* Marcel Dekker, New York. 646 pp.
- Meiners Scott J.** 2007. Apparent competition: an impact of exotic shrub invasion on tree regeneration. *Biological Invasions*, Vol.9Iss.7p.849,855.
- Midgley S J et Turnbull J. W.** 2003. Domestication and use of Australian acacias: an overview. *Australian Systematic Botany*, 16 (1): 89-102.
- Mikola P.** 1965. Studies on ectendotrophic mycorrhiza of pine. *Acta Forestalia Fennica* 79 : 1-56.
- Miransari, M., Bahrami HA., Rejali F et Malakouti, M.J.** 2008. Using arbuscular mycorrhiza to alleviate the stress of soil compaction on wheat (*Triticum aestivum L.*) growth. *Soil Biology and Biochemistry*. 40, 1197–1206.
- Missouni A. Mederbal K et Benabdelli K.** 2002. Apport des systèmes d'information géographiques dans la prévention et la lutte contre les incendies de forêts : Exemple de la forêt de Kounteidat, Algérie. *Forêt méditerranéenne*, tome 23, n° 1, 11p.
- Mitchell J, Adelman et Joseph B, Morton.** 1985. Infectivity of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi: influence of host-soil diluent combination on MPN estimates and percentage colonization. *Journal of Soil Biol. Biochem.* Vol.18, No.1, pp. 77-83.
- Moulay Y.** 2012. Investigation Phytochimique de l'Acacia arabica Aux propriétés antioxydantes et inhibitrices. Université Kasdi Merbah Ouargla.

Morton, JB et Benny, J. 1990. Classification révisée des champignons mycorhiziens à arbuscules (Zygomycètes) : un nouvel ordre, les Globales, deux nouveaux soborders, les Glominae et Gigasporinae, et deux nouvelles familles, Acaulosporaceae et Gigasporaceae, avec une amédiation des Glomaceae. *Mycotaxon*, 37 : 471-491.

L

Laala A., Alatou D., Adimi A. 2016. Apport des images satellites MODIS dans l'étude de l'évolution de la végétation forestière de l'Est Algérien. *European scientific journal*.331687668.

Lee, T.-H., et Chou, C.-H. 2000. Flavonoid Aglycones and Indole Alkaloids from the Roots of *Acacia Confusa*. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 47(6), 1287–1290.

Levine J M et D'Antonio C M. 1999. Elton revisited: a review of evidence linking diversity and invasibility. *Oikos* 1 :15–26.

Leyval C et Berthelin J .1993. Rhizodeposition and net release of soluble organic compounds by pine and beech seedlings inoculated with rhizobacteria and ectomycorrhizal fungi. *Biology & Fertility of Soils* 15: 259-267.

Leyval C et Jonner E J. 2001. Bioavailability of heavy metals in the mycorrhizosphere. in: *Trace elements in the rhizosphere*. CRC Press. pp 165-185.

Lowe, S, Browne M, Boudjelas. S, De Poorter. M .2007. 100 Espèces Exotiques Envahissantes parmi les plus néfastes au monde. Une sélection de la Global Invasive Species Database. Publié par le Groupe de spécialistes des espèces envahissantes (Invasive Species Specialist Group – ISSG) un groupe de spécialistes de la Commission de la Sauvegarde des Espèces (CSE) de l'Union Mondiale pour la Nature (UICN) 12pp. Première édition (en anglais), en tant qu'encart dans *Aliens* du 12 Décembre 2000. Version traduite et mise à jour.

Lisiewska Z., Kmiecik Wet Korus A. 2006. Content of vitamin C, carotenoids, chlorophylls and polyphenols in green parts of dill (*Anethum graveolens* L.) depending on plant height. *J. Food. Comp. Anal.* 19: 134-140.

Lind E M et Parker J D. 2010. Novel weapons testing: are invasive plants more chemically defended than native plants? *PLoS ONE* 5(5): e10429. Doi: 10.1371/journal.pone.0010429.

Lodge D M, 1993. Biological invasion: lesson for ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, 8:133-137.

Louni D. 1994. Les forêts Algériennes. Forêt méditerranéenne, tome XV, n° 1, Janvier 1994. P59, 63.

Lopes F. 1996: O sobreiro e a cortiça. - *Revista Florestal* 9 : 2.

López-Pedrosa, A., González-Guerrero, M., Valderas, A., Azcón-Aguilar, C., et Ferrol, N. 2006. GintAMT1 encodes a functional high-affinity ammonium transporter that is

expressed in the extraradical mycelium of *Glomus intraradices*. *Fungal Genetics and Biology*. 43, 102–110

Lovett J.V., Ryuntyu M.Y., Liu D.L. 1989. Allelopathy, chemical communication, and plant defense. *J.Chem.Ecol.*, 15 : 1193-1201.

Lubchenco J, Olson AM, Brubaker LB, Carpenter SR, Holland MM, Hubbell SP, Levin SA, MacMahon JA, Matson PA, Melilo JM, Mooney HA, Peterson CH, Pulliam HR, Real LA, Regal PJ, Risser PG. 1991. L'initiative biosphère durable : un programme de recherche écologique. *Écologie* 72 : 371–412.

Lowe S, Browne M et al. 2007. 100 espèces exotiques envahissantes parmi les plus néfastes au monde. Publications ISSSG, 12 pages.

M

Madoui A. 2002. Les incendies de forêt en Algérie Historique, bilan et analyse. *Forêts méditerranéenne* t. XXIII, n° 1, juin 2002, 23p.

Macheix J.J., Fleuriet A., Jay-Allemand C. 2005. Les composés phénoliques des végétaux, un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne, 192p.

Macheix J.J., Fleuriet A., Jay-Allemand C. 2006. Dans P. Sarni-Manchado, V. Cheynier, *Les polyphénols en agroalimentaire*, Lavoisier, Editions Tec & Doc.

Mahmoud OH. 2018. La litière de feuilles de *Bombax ceiba* L. menace la couverture végétale et la diversité floristique dans un nouvel écosystème urbain. *Flore*, volume 244, page 22-30.

Mallik, A.U., et Pellissier.F. 2000. Effects of *Vaccinium myrtillus* on Spruce Regeneration: Testing the Notion of Coevolutionary Significance of Allelopathy. *Journal of Chemical Ecology* 26: 2197–2209.

Poinsot V, André O, Puech-Pagès V, Haouy A, Gueunier M, Cromer L, Giraudet D, Formey D, Niebel A, et al. 2011. Fungal lipochitooligosaccharide symbiotic signals in arbuscular mycorrhiza. *Nature* 469: 58–63.

Malešev D., Kuntić V. 2007. Investigation of metal-flavonoid chelates and the determination of flavonoids via metal-flavonoid complexing reactions. *J. Ser. Chem. Soc.* 72: 921-939.

Mallik, A.U., et H. Zhu. 1995. Overcoming allelopathic growth inhibition by mycorrhizal inoculation. In 39–57. American Chemical Society.

Mallik, A.U et Pellissier F. 2000. Effects of *Vaccinium myrtillus* on spruce regeneration : testing the notion de signification coévolutive de l'allélopathie. *Journal d'écologie chimique*. 26(9) : 2197-2209.

- Manga A., Diop T.A., Tuinen D.V., Neyra M.** 2007. Variabilité Génétique des champignons mycorrhiziens associés à *Acacia seyal* en zone semi-aride du Sénégal. *Secheresse (Article scientifique)*, 18 (2), pp. 129-133.
- Manjunath A, Hue NV, Habte M** .1989. Response of *Leuceana leucocephala* to vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization and rock phosphate fertilization in an Oxisol. *Plant & Soil* 114: 127-133.
- Mao J, Yang L, Shi Y, Hu J, Piao Z, Mei L et Yin S.** 2006. Crude extract of *Astragalus mognolicus* root inhibits crop seed germination and soil nitrifying activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 38:201-208.
- Marschner H et Dell B.** 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*. 159, 89–102.
- Marshner P, Timonen S.** 2007. Interactions between plant species and mycorrhizal colonization on the bacterial community composition in the rhizosphere. *Appl Soil Ecol* 28:23-36.
- Massalha H., Korenblum E., Tholl D et Aharoni A.** 2017. Small molecules below-ground: the role of specialized metabolites in the rhizosphere. *Plant Journal* 90, 788-807p.
- Matiru VN et Dakora FD.** 2004. Potential use of rhizobial bacteria as promoters of plant growth for increased yield in landraces of African cereal crops. *African Journal of Biotechnology* 3: 1-7.
- Mattson W J et Haak R A.**1987. The role of drought in Outbreaks of plant-eating insects. Droughts physiological effects on plants can predict its influence on insect populations. *Bioscience.*, 37 (2): 110-118.
- Médail F, Quézel P.**1997. Hot-spots analysis for conservation of plant biodiversity in the Mediterranean basin. *Ann Missouri Bot Gard* ;84 :112-27.
- Merouani H., Bronco C., Helena M. et Pereira J S.**2001. Effects of acorn storage duration and parental tree on emergence and physiological status of Cork oak (*Quercus suber* L.) seedlings. *Ann. For. Sei.* 58 (2001) 543-554. INRA, EDP sciences, 2001.
- Metting F B.**1992. *Soil microbial ecology: applications in agricultural and environmental management.* Marcel Dekker, New York. 646 pp.
- Meiners Scott J.**2007. Apparent competition: an impact of exotic shrub invasion on tree regeneration. *Biological Invasions*, Vol.9Iss.7p.849,855.
- Midgley S J et Turnbull J. W.** 2003. Domestication and use of Australian acacias: an overview. *Australian Systematic Botany*, 16 (1): 89-102.
- Mikola P.**1965. Studies on ectendotrophic mycorrhiza of pine. *Acta Forestalia Fennica* 79 : 1-56.

Miransari, M., Bahrami HA., Rejali F et Malakouti, M.J.2008. Using arbuscular mycorrhiza to alleviate the stress of soil compaction on wheat (*Triticum aestivum* L.) growth. *Soil Biology and Biochemistry*. 40, 1197–1206.

Missouni A. Mederbal K et Benabdelli K. 2002. Apport des systèmes d'information géographiques dans la prévention et la lutte contre les incendies de forêts : Exemple de la forêt de Kounteidat, Algérie. *Forêt méditerranéenne*, tome 23, n° 1, 11p.

Mitchell J, Adelman et Joseph B, Morton. 1985. Infectivity of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi: influence of host-soil diluent combination on MPN estimates and percentage colonization. *Journal of Soil Biol. Biochem.* Vol. 18, No. 1, pp. 77-83.

Moulay Y.2012. Investigation Phytochimique de l'Acacia arabica Aux propriétés antioxydantes et inhibitrices. Université Kasdi Merbah Ouargla.

Morton, JB et Benny, J. 1990. Classification révisée des champignons mycorrhiziens à arbuscules (Zygomycètes) : un nouvel ordre, les Globales, deux nouveaux soborders, les Glominae et Gigasporinae, et deux nouvelles familles, Acaulosporaceae et Gigasporaceae, avec une amédiation des Glomaceae. *Mycotaxon*, 37: 471-491.

Morton JB, Bentivenga SP et Wheeler WW .1993. Germplasm in the international collection of arbuscular and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (INVAM) and procedures for culture development, documentation and storage. *Mycotaxon* 48 :491–528.

Morton J B et Redecker D.2001. Two new families of Glomales, Archaeosporaceae and Paraglomaceae, with two new genera, Archaeospora and Paraglomus, based on concordant molecular and morphological characters. *Mycologia* 93 :181–195.

Muller, W.H. 1986. Allelochemical mechanisms in the inhibition of herbs by chaparral shrubs.

Muller C H.1996. The role of chemical inhibition allelopathy in vegetational composition bull. *Torrey Bot.* 332- 351 p.

Mugnossa G., Scarascia Oswald H., Piussi P. et Radaglou K.2000. Forests of the Mediterranean region: Gaps in Knowledge and research needs. *For. Ecol. Manag.* 132: 97-109.

N

Nacz M et Shahidi F.2006. Phenolics in cereals, fruits, and vegetables: occurrence, extraction, and analysis. *J. Pharmaceut. Biomed. Anal.* 41: 1523-1542.

Nagendra Prasad K., Abdulrahman Hassan F., Yang B., Weng Kong K., Ramanan RN., Azlan et A., Ismail A.2011. Response surface optimisation for the extraction of phenolic compounds and antioxidant capacities of under utilised *Mangifera pajang* Kosterm. peels. *Food Chemistry*, 128: 1121-1127.

Nagel J B et Griffen K L.2001. Construction cost and invasive potential: Comparing *Lythrum salicaria* (Lythraceae) with co-occurring native species along pond banks. *American journal of botany*.88 (12):2252-8.

Natacha Leroux. 2013. Mycorhizes : boosteurs croissance pour vos arbres et vos légumes. Blog pédagogique pour les forêts comestibles. Agroforesterie tempérée et sauvage, permaculture, para culture, étude des biotopes sauvages ou naturalisés des noix, des fruits, des baies, des légumes, des aromates, des céréales, des champignons et des abeilles en France.

Natividade J V.1956. Subericulture. Ecole Nationale des Eaux et Forêts, Nancy, 302p
Piazzetta R., (2005) - La levée du liège, guide technique et de vulgarisation, institut méditerranéen du liège. 23p.

N'Guessan K.2009. Screening phytochimique de quelques plantes médicinales ivoiriennes utilisées en pays Krobou (Agboville, Côte-d'Ivoire) Koffi.

Nshimiyimana D S et He Q. 2010. Radical Scavenging Capacity of Rwandan CTC Tea Polyphenols Extracted Using Microwave Assisted Extraction. *Pakistan Journal of Nutrition*. 9 (6): 589-593.

Neely J A. 2001. A Global strategy for addressing the problem of invasive alien species. UICN Gland, Suisse, et Cambridge, UK. 50 p.

Newman E I.1988. Mycorrhizal links between plants: their functioning and ecological significance. *Advances in Ecological Research*, 18: 243-270

Norman MJT, Pearson C J, Searle PGE.1995. The ecology of tropical food crops. Cambridge University Press, Cambridge. 436 p.

O

Oehl F, Sýkorová Z, Redecker D, Wiemken A et Sieverding E. 2006. *Acaulospora alpina*, a new species in the Glomeromycetes characteristic for high mountainous and alpine Regions of the Swiss Alps. *Mycologia*. 98: 286-294.

Ohba H et Amirouche R. 2003. Observation of the Flora of Tadmait and Tidikelt, Central Sahara, Algeria. *Journal of Japanese Botany* ; 78 :104-11.

Ockinger E, Smith HG.2007. Prairies semi-naturelles comme source de population pour les insectes pollinisateurs dans les paysages agricoles. *J Appl Eco* 44 :50-59.

Orwa C, Mutua A, Kindt R, Jamnadass R, Simon A.2009. Agroforestry database: a tree reference and selection guide version 4.0. [Url](http://www.worldagroforestrycentre.org/AR/Products/63860/PDF/Agroforestry-database-a-tree-reference-and-selection-guide-version-4.0.pdf).

Ogawa,S et Yochikazu,Y.2018. Tannins from *Acacia mearnsii* De Wild. Bark: Tannin Determination and Biological Activities. *Molecules*, 23(4), 837.

Osman Arslan, Aadesh P Singh, Lhoussaine Belkoura, Sanjay Mathur.2013. Points quantiques ZnO zwitterioniques fonctionnalisés par la cystéine. *Journal of materials research*, volume 28, issue 14, 28 july, pp, 1947,1954.

Ozenda, P. 1982 ; Les végétaux dans la biosphère, in-6°, 432 p., 183 fig., bibl., Paris, Doin éd.

Oulmouhoub S. et Laboudi B. 1999. Etude synchronique et diachronique d'une subéraie incendiée dans la région D'EL-Kala. Thèse. Ing. Agro. INA. Alger. 86 p + annexes.

Ouelmouhoub S. 2005. Gestion multi-usage et conservation du patrimoine forestier : cas des subéraies du Parc National d'El Kala (Algérie). Thèse de Master of Science du CIHEAM-IAMM n°78 France, 129 p + annexes.

Ouldache E.H. 2021. Le barrage vert : bilan physique et perspectives. Ann. Rech. For. Algérie: 11 (01) : 7- 20.

P

Panja RN., Chaudhuri C. 2004. Exploitation of soil arbuscular mycorrhizal potential for AM-dependent mandarin orange plants by pre-cropping with mycotrophics crops. Applied Soil Ecology 26 (2004) 249-255.

Parniske M. 2008. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbiosis. Nat, rev. Microbial;6,763-75.

Parrota JA .1993. Secondary Forest regeneration on degraded tropical lands. The role of plantations as "foster ecosystems". In: Leith H, Lohmann M (eds) Restoration of Tropical Forest Ecosystems. Kluwer Academic Publishers, pp 63-73.

Paul schreiner. 2007. Effects of native and non native arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrient uptake of 'Pinot noir' (*Vitis vinifera* L.) in two soils with contrasting levels of phosphorus. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.03.002>. Vol 32 numeros 2-3 .Page 205-215.

Pausas J G. 1997. Resprouting of *Quercus suber* in Northeast Spain after fire. Journal of Vegetation Science, n. 8, p. 703-706.

Pedras M.S.C., Ahiahonu P.W.K. 2005. Metabolism and detoxification of phytoalexins and analogs by phytopathogenic fungi. Phytochem. 66, 391–411.

Pedro, S.I.; Rosado, T.; Barroca, C.; Neiva, D.; Alonso-Herranz, V.; Gradillas, A.; García, A.; Gominho, J.; Gallardo, E.; Anjos, O. 2022 Characterisation of the Phenolic Profile of *Acacia retinodes* and *Acacia mearnsii* Flowers' Extracts. *Plants*, 11, 1442. <https://doi.org/10.3390/plants11111442>.

Penuelas J., Ribas-Carbo M. et Giles L. 1996. Effects of allelochimics on plant respiration and oxygen isotope fractionation by the alternative oxydase. J. Chem. Ecol., 22 :801-805.

Peyerrimhoff (P. de).1941. Carte forestière de l'Algérie et la Tunisie au 1/1 500 000. Services cartographiques et des forêts. Ed. Baconnier, Alger, 71p., 1 carte.

Pei Zhang., Scheu, S., Li, B. et al. 2020. Transformations de la litière Cde *Spartina alterniflora* invasive affectées par le type de litière et la source du sol. Biol fertil sols 56, 369-379.

Phillips J. M. et Haymann D. S. 1970. Improved proceeding for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 69: 275-280.

Phillips, BL, GP Brown, JK Webb et R. Shine. 2006. Invasion et évolution de la vitesse chez les crapauds. *Nature* 439: 803 – 803.

Pielou EC.1966. Shannon 's formula as measure of specific diversity: its use and measure. *American Naturalist*, 100p.

Planchette, C., Perrin, R. et Duvert, P. 1989. The concept of soil infectivity and a method for its determination as applied to endomycorrhizas. *Canadian Journal of Botany*, 67: 112-115.

Poojary MM., Kanivebagilu A., Vishnumurthy, AirodyVasudeva Adhikari. 2015. Extraction, caractérisation et études biologiques des composés phytochimiques de *Mammea suriga*. *Journal d'analyses pharmaceutiques* , Tome 5, n° 3, p 182-189.

Pratt CF, Constantine KL, Murphy ST.2017.Economic impacts of invasive alien species on African smallholder livelihoods. *Glob Food Sec* 14:31–37

Prince, E.K., and G. Pohnert. 2010. Searching for signals in the noise: metabolomics in chemical ecology. *Analytical and bioanalytical chemistry* 396: 193–197.

Prinsley RT, Swift MJ. 1994.Amelioration of soil by trees: a review of current concepts and practices. *Commonwealth Science Council, London*, pp.104-120.

Priou L. 2013. Multiplication des mycorhizes arbusculaires en milieu liquide et solide afin d'améliorer la formulation de biofertilisants. *Agricultural sciences*.1-4.

Putnam, A.R. et Weston, L.A. 1986. *The Science 6. of Allelopathy*. Wiley. New York, p.43. Cité par Bagchi et al., 1997.

Pyšek P, Richardson DM, Rejmánek M, Webster G, Williamson M, Kirschner J.2004. Alien plants in checklists and floras: towards better communication between taxonomists and ecologists. *Taxon* 53 :131–143.

Q

Qasem, J. R., et Foy, C. L.2001. Weed allelopathy, its ecological impacts and future prospects: A review. *Journal of Crop Production*, 4(2), 43–119.

Qasem, J.R., et C.L. Foy. 2001. Weedallelopathy, itsecological impacts and futurs prospects. *Journal of Crop Production* 4 :43- 119

Quezel P., Bonin G. et Loisel R. 1990. Recent plant invasions in the circum-mediterranean region: 1-60 in: Di Castri, F., Hansen, A. I. et Debussche M. (eds.). *Biological invasions in Europe and the Mediterranean Basin*. -Dordrecht.

Quézel P, Médial F. 2003. *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Paris Elseiver ,2003.

R

- Ramade F.** 2003. Elément d'écologie. Ecologie fondamentale 3ème Edition, Dunod, Paris, 690 p.
- Rambelli A.** 1973. The Rhizosphere of Mycorrhizae. in: Marks GL, Koslowski TT (eds): Ectomycorrhizae, their ecology and physiology. Academic Press, New York. pp 299-343.
- Redecker D, Morton JB, Bruns TD.** 2000. Ancestral lineages of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales). Mol. Phylog. Evol., 14(2): 276-284.
- Redecker D, Schüssler A, Stockinger H, et al.** 2013. An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). Mycorrhiza 23:515– 531. doi: 10.1007/s00572-013-0486-y.
- Redecker D, Schüßler A.** 2014. Glomeromycota. In: McLaughlin DJ, Spatafora JW, eds. Mycota VII. Part A. Systematics and Evolution New York: Springer-Verlag; p 251–269.
- R Development Core Team.** 2013. R : Un langage et un environnement pour le calcul statistique. R Foundation for Statistical Computing, Vienne, Autriche.
- Rejmanek M, Richardson D.** 1996. What attributes make some plant species more invasive? Ecology 77: 1655-1661.
- Reigosa, M.J., A. Sánchez-Moreiras, And L. González.** 1999. Ecophysiological Approach in Allelopathy. Critical Reviews in Plant Sciences 18: 577–608.
- Remigi P, Faye A, Kane A, Deruaz M, Thioulouse J, Cissoko M, Prin Y, Galiana A, Dreyfus B, Duponnois R.** 2008. The exoyic legume tree species *Acacia holosericea* alters microbial soil functionalities and the structure of the arbuscular mycorrhizal community. Applied & Environmental Microbiology 74 : 1485-1493.
- Renou V.** 1842- Forêts de l'Algérie. Première partie : description. Ann. Fore., 1(30, Aout 1842) :415-430.
- Rice, E. L.** 1979. Allelopathy. Basic and Applied Aspects. Chapman et Hall, London, pp21-58. Cité par Robles et al., 1999.
- Rice, E. L.** 1984. Allelopathy. Academic Press (Second Edi., Vol, p. 422). Academic
- Richardson D.M, et Higgins, S.** 1998. Pines as invaders in the southern hemisphere. Ecology and biogeography of Pinus (pp. pp. 450–473). Cambridge: Cambridge University Press,
- Richardson, D.M et Pyšek, P.** 2006 : Invasions végétales : fusion des concepts d'envahissement des espèces et d'invasibilité des communautés. *Progrès en géographie physique* 30, 409—31.
- Richardson, David M., et Rejmánek, M.** 2011. Trees and shrubs as invasive alien species - a global review. Diversity and Distributions, 17(5), 788–809.
- Rijke E., Out P., Niesse WMA., Ariese F., Gooijer C., Brinkman UAT.** 2006. Analytical separation and detection methods for flavonoids. J. Chromat. A 1112: 31-63.

Rira, M. 2019. These de doctorat. Les tanins hydrolysables et condensés : une piste pour la réduction de la production du méthane entérique par les ruminants en milieu tropical. École doctorale des sciences de la vie et de la santé – agronomie – environnement. Unité Mixte de Recherches sur les Herbivores INRA Centre Auvergne Rhône-Alpes.

Rizvi S.J.H., Rizvi V. 1992. Allelopathy: Basic and Applied Aspects. Chapman & Hall, London, pp. 1–10. Cité par Blanco, 2007.

Robbins, R.J. 2003. Phenolic acids in foods: An overview of analytical methodology. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51: 2866–2887.

Robles C., Bonin G. et Garzino S. 1999. Potentialités autotoxiques et allélopathiques de *Cistus albidus* L. C. R Acad.Sci. Lifes Sciences, 322 : 677-685.

Rodriguez H, Fraga R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotechnology Advances 17: 319-339.

Rolere, S., Liengprayoon, S., Vaysse, L., Sainte-Beuve, J., Bonfils, F. 2015. Investigating natural rubber composition with Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy: A rapid and non-destructive method to determine both protein and lipid contents simultaneously. Polym. Test. 43, 83–93.

Rubanza C.D.K., Shemb M.N., Otsyina R., Bakengesa S.S., Ichinohed T., Fujiharad T. 2005. Polyphenolics and tannins effect on in vitro digestibility of selected *Acacia* species leaves. Anim. Feed Sci. Technol. 119(1-2) : 129–142.

Ruitton S. Et L. Tunesi, 2012. Protection et conservation

Ruiz-Sánchez, M., Aroca, R., Muñoz, Y., Polón, R., et 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, 862–869.

S

Saccardy L. 1937. Notes sur le liège et le liège en Algérie. Bull. Stat. Rech. For. Afr. Nord Tome 11(2). pp271-374.

Sahri F, Boudiaf I, Alliout A, Beddiar A. 2019. Estimation du potentiel mycorrhizogène du sol d'une subéraie envahie par *Acacia mearnsii* au Nord-Est algérien. Bulletin Vol. 152, 2020 pp. 176-182 Integrated Protection in Oak Forests.

Sakakibara K., Nishiyama T., Sumikawa N., Kofuji R., Murata T., Hasebe, M. 2003. Involvement of auxin and a homeodomain-leucine zipper I gene in rhizoid development of the moss *Physcomitrella patens*. Development 130, 4835-4846.

Sakhraoui N, Metallaoui S, Chefrou A et Hadeff A. 2019. La flore exotique potentiellement envahissante d'Algérie : première description des espèces cultivées en pépinières et dans les jardins Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2019 23(2), 63-73.

Saayman, H. et Roux, D. 1965. The origin of tannins and flavonoids in black-wattle barks and heartwoods, and their associated “non-tannin” components. Biochem J 97 :794–801.

Scognamiglio, M., B. D'abrosca, A. Esposito, S. Pacifico, P. Monaco, And A. Fiorentino. 2013. Plant growth inhibitors: allelopathic role or phytotoxic effects? Focus on Mediterranean biomes. *Phytochemistry Reviews* 12: 803–830.

Shannon, C.E. et Weaver W. 1948. A mathematical theory of communication. *Bull. Syst. Techn.J.*, 27, 379-423, 623-656.

Samba, R.T, Sylla, S.N, Neyra M, Gueye M, Dreyfus B, Ndoye I. 2002. Biological nitrogen fixation in *Crotalaria* species estimated using the ¹⁵N isotope dilution method. *African Journal of Biotechnology* 1 : 17-22.

Samraoui B. et Debelair de G. 1998. Les zones humides de la Numidie orientale. Bilan des connaissances et perspectives de gestion. Synthèse n°4 (numéro spécial) 90 p. Université de Annaba, Algérie.

Sanon A., Beguiristain T., Cébron A., Berthelin J., Ndoye I., Leyval C., Sylla S., Duponnois R. 2009. Changes in soil diversity and global activities following invasion of the exotic invasive plant, *Amaranthus viridis* L., decrease the growth of native sahelian *Acacia* species. *FEMS Microbiologie Ecology* 70: 118-13.

Sanon A., Thierry B., Aurélie C., Jacques B., Samba N. Sylla A., Robin D. 2012. Differences in nutrient availability and mycorrhizal infectivity in soils invaded by an exotic plant negatively influence the development of indigenous *Acacia* species. *Journal of Environmental Management* 95, S275 et S279.

Santiago E.A., et Moreno Dominguez M.J. 2005: Guia de buenas practicas medioambientales para las empresas forestales y corcheras. Universidad-Empresa Medioambiental. 143p.

Sauvage C., 1961. Recherches phytogéographiques sur les subéraies marocaines. *Trav. Inst. Sc. Cherifien, série botanique*, 1-462p.

Saint-Etienne L., Paul, S., Imbert, D., Dulormne, M., Muller F., Toribio, A., Plenchette, C., Bâ AM. 2006. Arbuscular mycorrhizal soil infectivity in a stand of the wetland tree *Pterocarpus officinalis* along a salinity gradient. *Forest Ecology and Management* 232, 86–89.

Schenck, N.C. and Y. Perez (eds.) 1990. *Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi.* Synergistic Publications, Gainesville, Pp. 1–241.

Searle, S.D., 1997. *Acacia mearnsii* De Wild. (Black Wattle) in Australia. In: Brown A. G., Ho C. K. (eds). *Black wattle and its utilization.* Wagga Wagga, Australia, Rural Industries Research and Development Corporation, 1-12.

Searle, S.D. 2000. *Black wattle (Acacia mearnsii) for farm forestry.* Melbourne, Australia, Department of Natural Resources and Environment, 18 p.

Seigue A. 1985. *La forêt circum-méditerranéenne et ses problèmes.* Paris; Maison neuve, 350p.

Sharma.S, Parkash.V and Aggarwal.A. 2008. Glomales I: A monograph of *Glomus* spp. (Glomaceae) in the sunflower rhizosphere of haryana, india / glomales i: una monografía DE *Glomus* spp. (Glomaceae) en la rizósfera del girasol de haryana, india / glomales i: monographie sur la sorte *Glomus* spp. (Glomaceae) dans la rhizosphère du tournesol à haryana, Inde. From the journal *HELIA*. 31, Nr. 49, p.p. 13-18.

- Silverstein.** 2005. Spectrometric Identification of Organic Compounds, 7th ed. Wiley. Singh, M., Tiwari, N., Shanker, K., Verma, R.K., Gupta, A.K., Gupta, M.M., 2009. Two new lignans from Phyllanthus amarus. J. Asian Nat. Prod. Res. 11, 562–568.
- Simard, S.W. et Durall, D.M.** 2004. Mycorrhizal networks: a review of their extent, function, and importance. Canadian Journal of Botany, 82 : 1140-1165.
- Simberloff, D.** 2003 : Affronter les espèces introduites : une forme de xénophobie ? Invasions biologiques 5, 179—92.
- Simpson, E.H.** 1949. Measurement of diversity. Nature 163 :688.
- Singh, B. N., Singh, B. R., Singh, R. L., Prakash, D., Sarma, B. K., et Singh, H. B.** 2009. Antioxidant and anti-quorum sensing activities of green pod of Acacia nilotica L. Food and Chemical Toxicology, 47(4), 778–786
- Schüßler A, Walker C.** 2010. The Glomeromycota: a species list with new families and genera. Edinburgh & Kew, UK: The Royal Botanic Garden; Munich, Germany: Botanische Staatssammlung Munich; Oregon, USA: Oregon State University. URL. ISBN-13: 978-1466388048; ISBN-10: 1466388048.
- Schüßler A, Schwarzott D, Walker C.** 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. Mycological Research 105: 1413-1421.
- Silvertown, J.** 2004. Plant coexistence and the niche. Trends in Ecology et Evolution 19: 605-611.
- Simpson EH.** 1949. Measurement of diversity. Nature 163, 688.
- Smith, S.E, Read D.J.** 1997. Mycorrhizal Symbiosis, 2nd edition. Academic Press, San Diego. 605p.
- Smith, S.E. Charvat I, et Jacobson, R.L.** 1998. Arbuscular mycorrhizae promote establishment of prairie species in a tallgrass prairie restoration. Canadian journal of Botany. Vol, 76, N°11.
- Smith, S.E, Read DJ.** 2008. Mycorrhizal symbiosis, 3rd Edition. Clarendon Press. Oxford.
- Smith, S.E., Jakobsen, I., Grønlund, M., et Smith, F.A.** 2011. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant phosphorus nutrition: Interactions between pathways of phosphorus uptake in arbuscular mycorrhizal roots have important implications for understanding and manipulating plant phosphorus acquisition. Plant Physiology. 156, 1050–1057.
- Socuse O, Yoshikazu .** 2018. Tanins d'Acacia mearnsii De Wild. Ecorce : Determination des tans et activités biologiques. Molecules .23(4),837.
- Souchie E.L, Saggin-Junior O.J, Silva EMR, Campello E.F.C, Azcon R, Barea J.M.** 2006. Communities of P-Solubilizing Bacteria, Fungi and Arbuscular Mycorrhizal Fungi in grass pasture and secondary forest of Paraty, RJ - Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências 78 : 183-193.
- Sousa, E.M.R. et Atay Kadiri Z.** 2005 : Le déclenchement des perturbations physiologiques des peuplements de chêne-liège : une synthèse des relations agent/hôte. IOBC/ wprs Bull. 28(8) : 9-16.

Souquet JM., Labarbe B., Le Guerneve C., Cheynier V., Moutounet M.2000. Phenolic composition of grape stems J. Agric. Food Chem. 48: 1076-1080.

Souto, X.C; Bolaño, J.C, González L et Reigosa, M.J. 2001. Effets allélopathiques des espèces d'arbres sur certains les populations microbiennes du sol et les plantes herbacées. Biologie Plantarum. 44(2) : 269-275.

Stalikas, C.D. 2007. Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids. J. Sep. Sci. 30, 3268–3295.

Stinson KA, Campbell SA, Powell JR, Wolfe BE, Callaway RM, Thelen GC, Hallett SG, Prati D, Klironomos JN.2006. Invasive plant suppresses the growth of native tree seedling by disrupting belowground mutualisms. PLOS Biology 4 : 727-731.

Strullu, D.G .1991. Les mycorhizes des arbres et des plantes cultivées. Techniques et Documentation Lavoisier. Paris. 242 p.

Sun B., Spranger MI.,2005. Review: quantitative extraction and analysis of grape and wine proanthocyanidins and stilbenes. Ciência Téc. Vitiv. 20 (2) : 59-89.

T

Tassin J. 2002. Dynamique et conséquences de l'invasion des paysages agricoles des Hauts de la Réunion par *Acacia mearnsii* De Wild. Thèse de doctorat, Université Toulouse III, Paul Sabatier, France, 215 p.

Tarascou I., Souquet J M., Mazauric J P., Carrillo S., Coq S. Canon F., Fulcrand H et Cheynier V. 2010. The hidden face of food phenolic composition. Archives of Biochemistry and Biophysics, 50: 16–2.

Taylor L P., Grotewold E.2005. Flavonoids as developmental regulators. Curr. Opin. Plant Biol. 8(3) : 317-323.

Tomasi N., Weisskopf L., Renella G., Landi L., Pinton R., Varanini Z., Nannipieri P., Torrent J., Martinoia E et Cesco S. 2008. Flavonoids of white lupin roots participate in phosphorus mobilization from soil. Soil Biol. Biochem. 40 (7): 1971-197.

Tisdall, J.M. 1991. Fungal hyphae and structural stability of soil. Soil Research. 29, 729–743.

Tisdall, J.M. 1994. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. Plant and Soil. 159, 115–121.

Toubal,B.O. 1986. Phyto-écologie, biogéographie et dynamique des principaux groupements végétaux du massif de l'Edough (Algérie Nord orientale). Cartographie au 1/25000 USTM. Thèse. Doct. 3ème cycle. Univ. Grenoble.109 p.

Toor RK., Savage GP., Lister CE. 2006. Seasonal variations in the antioxidant composition of greenhouse grown tomatoes. J. Food. Comp. Anal. 19 : 1-10.

Trabaud L. 1980. Impact biologique et écologique des feux de végétation sur l'organisation, la structure et l'évolution de la végétation des zones des garrigues du bas Languedoc. Thèse Doctorat des sciences, USTL, Montpellier, 291 p.

Trabaud L. 1992. Réponses des végétaux ligneux méditerranéens à l'action du feu, Pirineos, n.140, p. 89-1.

Trappe, J.M, Bloss HE, Menge JA. 1984. *Glomus deserticola* sp. nov. Mycotaxon 20(1):123- 127.

Trinsoutrot I, Recous S, Bentz B, Linéres M, Chéneby D et Nicolardot B. 2000. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. Journal of soil science society of America / vol 64, issue 3/p. 918-92.

Tsao R et Yang R. 2003. Optimization of a new mobile phase to know the complex and real polyphenolic composition: Towards a total phenolic index using highperformance liquid chromatography. J. Chromat. A. 1018: 29-40.

Tukey, H.B. 1970. The leaching of substances from Annu. Rev.Plant.Physiol. 21 –30.

Tisdall, J.M. 1991. Fungal hyphae and structural stability of soil. Soil Research. 29, 729–743.

Tisdall, J.M. 1994. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. Plant and Soil. 159, 115–121.

Trabaud L. 1980. Impact biologique et écologique des feux de végétation sur l'organisation, la structure et l'évolution de la végétation des zones des garrigues du bas Languedoc. Thèse Doctorat des sciences, USTL, Montpellier, 291 p.

Trabaud L. 1992. Réponses des végétaux ligneux méditerranéens à l'action du feu, Pirineos, n.140, p. 89-1.

Trappe, J.M, Bloss HE, Menge JA. 1984. *Glomus deserticola* sp. nov. Mycotaxon 20(1):123- 127.

U

Uushona, T., Chikwanha, O., Tayengwa, T., Katiyatiya, C., Strydom, P et Mapiye, C. 2021. Nutraceutical and preservative potential of *Acacia mearnsii* and *Acacia dealbata* leaves for ruminant production and product quality enhancement. The journal of agricultural science, 159 (9-10), 743-576.

UICN/PACO .2013. Plantes invasives affectant les aires protégées d'Afrique de l'Ouest : gestion pour la réduction des risques pour la biodiversité. UICN/PACO: Ouagadougou, Burkina Faso.

UICN, T. W. C. U. 2000. Guidelines for the prevention of biodiversity loss due to biological invasion.

V

Van der Heijden, M.G.A, Boller T, Wiemken A, Sanders IR .1998b. Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure. *Ecology* 79 : 2082-2091.

Vanderhoeven S. et al.2007. Les invasions biologiques. Forêts de Wallonne, n°89.

Van der Waal, B. W. 2009. The influence of *Acacia mearnsii* invasion on soil properties in the Kouga mountains, Eastern Cape, South Africa. Rhodes University, South Africa, 87 p.

Veillon S.1998-Guide technique de subericulture dans les Pyrénées-Orientales. Typologie de peuplement et étude préliminaire. Stage de fin d'étude, Fit. ENGREF, France, 68p.

Véla E, Benhouhou S.2007.Evaluation d'un nouveau point chaud de biodiversité végétale dans le bassin méditerranéen (Afrique du Nord). *CR Biol* ;330 :589-813.

Véla E. 2013. Notes sur les cactus du genre *Opuntia* s.l en Algérie et en Tunisie. Dobignard A. et Chatelain C., éd. Addenda–Notes. Index synonymique de la flore d'Afrique du Nord. Genève : Conservatoire et Jardin Botaniques, 376-379.

Verdin, A., Sahraoui, A.L.-H., Fontaine, J., Grandmougin-Ferjani, A., et Durand, R. 2006. Effects of anthracene on development of an arbuscular mycorrhizal fungus and contribution of the symbiotic association to pollutant dissipation. *Mycorrhiza*. 16, 397–405.

Vijayalakshmi et Ravindhran R. 2012. Comparative fingerprint and extraction yield of *Diospyrus ferrea* (willd.) Bakh. root with phenol compounds (gallic acid), as determined by uv–vis and ft–ir spectroscopy. *Asian Pac. J. Trop. Biomed.* 2, S1367–S1371.

Vilà M. et al. 2015. Explaining the variation in impacts of non-native plants on local-scale species richness: the role of phylogenetic relatedness. *Glob. Ecol. Biogeogr.*, **24**, 139-146.

Viles AL., Reese R.N. 1996.Allelopathic potential of *Echinacea angustifolia* D.C? *Environ Exp.Bot.*, 36:39-43.Cité par Wu et al .1998.

Vitousek.P.M, D'antoNnio.C.M., Loope.L. L, Westbrookd.R, 1996.Biological invasions as global environmental chang. *American Scientist*, 84: 468-478.

W

Wagner W. L., Herbst D. R., Sohmer S. H. 1999. Manual of the Flowering Plants of Hawaiï. Revised edition. Honolulu, USA, University of Hawaiï Press, 907 p.

Walder, F., Niemann, H., Natarajan, M., Lehmann, M.F., Boller, T., et Wiemken, A. 2012. Mycorrhizal networks: common goods of plants shared under unequal terms of trade. *Plant Physiology*. 159, 789–797.

Walker C.1983. Taxonomie concepts in the endogonaceae: Spore wall characteristic in species descriptions. *Mycotax* 18: 443-455.

Walker C, Sanders FE. 1986. Taxonomic concepts in the Endogonaceae: The separation of *Scutellospora* gen. nov. from *Gigaspora* Gert and Trappe. *Mycotaxon*, 27: 169-132.

Walker, C. et Schuble A. 2004. Nomenclatural classifications and new taxa in the Glomeromycota. *Mycol. Res.* 108: 981–982.

Weir TL., SW Park, et J.M. VivaNnco. 2004. Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals. *Current Opinion in Plant Biology*472– 479p.

Weston L.A., Harmon R., Mueller S.1989. Allelopathic potential of sorghum sudangrass hybrid (sudex). J. Chem. Ecol., 15 :1855–1865. Cité par Blanco, 2007.

Whipps, J.M. 2004. Prospects and limitations for mycorrhizas in biocontrol of root pathogens. Can. J. Bot. 82: 1198-1227.

Whittaker RH et Feeny PP. 1971. Allelochemicals: Chemical interactions between species. Science. 171(3973): 757-770.

Williams C A., Grayer R J. 2004. Anthocyanins and other flavonoids. Nat. Prod. Rep. 21, 539–573. <https://doi.org/10.1039/B311404J>

Wilson JB .1988. Shoot competition and root competition. Journal of Applied Ecology 25: 279-296.

Winding A., Hund-Rinke K., Rutgers M. 2005. The use of microorganisms in ecological soil classification and assessment concepts. Ecotoxicology and Environmental Safety, 62 (2): 230-248.

Wink, M., et T. Twardowski. 1992. Allelochemical properties of alkaloids. Effects on plants, bacteria and protein biosynthesis. In S. J. H. Rizvi, and V. Rizvi [eds.], Allelopathy, 129–150. Springer Netherlands.

Wood J.E., Senthilmohana S.T., Peskinb A. 2002. Antioxidant activity of procyanidin-containing plant extracts at different pHs. Food Chemistry, 77(2): 155–16.

Wolfe B. E., Klironomos J. N. 2005. Breaking new ground: soil communities and exotic plant invasion. BioScience 55 : 477-487.

Wu N., Huang H., Zhang S., Zhu, YG., Christie P., et Zhang Y. 2009. Phenanthrene uptake by *Medicago sativa* L. under the influence of an arbuscular mycorrhizal fungus. Environmental Pollution. 157, 1613–1618.

X

Xiong, X.P., Kurthkoti, K., Chang, K.Y., Li, J.L., Ren, X., Ni, J.Q., Rana, T.M., Zhou, R. 2016. miR-34 Modulates Innate Immunity and Ecdysone Signaling in *Drosophila*. PLoS Pathog. 12(11) : e1006034.

Xiong Jia, Grace Mary H, Esposito Debora, Komarnytsky Slavko, Wang Fei, Lila Mary Ann.2017. Polyphenols isolated from *Acacia mearnsii* bark with anti-inflammatory and carbolytic enzyme inhibitory activities [J]. *Chin J Nat Med*, **15**(11) : 816-824.

Y

Yamamoto Y.2009. Mouvement de la coumarine composée allélopathique des résidus végétaux de l'herbe verte douce (*Anthoxanthum odoratum* L.) vers le sol. Science des prairies, 55: 36-40.

Yang CH, Crowley DE. 2000. Rhizosphere microbial community structure in relation to root

location and plant iron nutritional status. *Applied and Environmental Microbiology* 66: 345-351.

Yao Q, Li XL, Ai WD, Christie, P.2003.Bi-directional transfer of phosphorus between red clover and perennial ryegrass via arbuscular mycorrhizal hyphal links. *European Journal of Soil Biology* 39: 47-54.

Yu YB et Yang SF.1979. Auxin-induced ethylene production and its inhibition by aminoethoxyvinylglycine and cobalt ion. *Plant Physiology* 64 : 1074-1077.

Z

Zhang Y, Guo L.D et Liu . J.2004. Survey of arbuscular mycorrhizal fungi in deforested and natural forest land in subtropical region of Duijiangyan, southwest China. *Plant Soil* 257-263.

Zeghada F Z.2009. Thèse de Magister. Activité allélopathique et étude phytochimique. Université d'Oran Es-Senia. Faculté des sciences. Département de Biologie. Algérie

Zeghina O. 2017. Mémoire Master. Etude comparative de l'effet des feuilles de certains arbres de reboisement sur la germination de trois espèces végétales du sous-bois de *Quercus suber* (L.) dans le Parc National d'El Kala. Université Badji Mokhtar Annaba/Algérie. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie p 34.

Zeraia L. 1981-Essai d'interprétation comparative des données écologique, - phénologiques et de production subéro-ligneuse dans les forêts de chênes liège de provenance cristalline (France méridionale) et d'Algérie. Thèse Doc. Es. SCI., Aix-Marseille, 367p.

Zeraïa, L. 1982. Le chêne-liège, phytosociologie, édaphologie, régénération et productivité. I.N.R.F., Alger. 134 p.

Sites web

INVAM [International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi] (2016). Site internet présentant et décrivant une collection de référence de champignons mycorrhiziens arbusculaires, ainsi que la classification taxonomique de ceux-ci : <http://invam.wvu.edu/> consulté le 10/05/16 et le 14/06/16.

<https://mycophyto.fr/wp-content/uploads/2020/12/Sche%CC%81ma-FR-CMA-1536x1277.png> Lien 01

<https://i0.wp.com/cultiver-les-champignons.com/wp-content/uploads/2022/01/mycorhize-arbuscule.jpg?resize=768%2C559&ssl=1> Lien 02

<https://observatoiredesforets.files.wordpress.com/2022/09/fonctionnement-de-lc3a9cosystc3a8me-forc3aat.jpg> Lien 03

<https://observatoiredesforets.files.wordpress.com/2022/09/fonctionnement-de-lc3a9cosystc3a8me-forc3aat.jpg> Lien 04

<https://observatoiredesforets.files.wordpress.com/2022/09/fonctionnement-de-lc3a9cosystc3a8me-forc3aat.jpg> Lien 05

<https://observatoiredesforets.files.wordpress.com/2022/09/fonctionnement-de-lc3a9cosystc3a8me-forc3aat.jpg> Lien 06

<https://images.theconversation.com/files/372268/original/file-20201201-13-4vevuq.png?ixlib=rb-1.1.0&q=45&auto=format&w=600&h=491&fit=crop&dpr=1> Lien 07

ANNEXES

Annexe 1 : Tableau représentatif des analyses physicochimiques des sites d'étude

Ident	Site	Saison	K	Na	Mg	P	Ca	N	Ph	Cond	MO	Sable	Limon	Argile
1	1	1	1,5	0,17	2,94	24,8	29,28	0,38	5,53	54,1	4,18	40	36	24
2	1	1	0,48	0,1	2,93	23	20,91	0,147	5,47	20,7	4,914	35	35	30
3	1	1	0,81	0,09	1,84	17,6	15,78	0,2963	5,36	39,3	4,9773	40	36	24
4	1	2	0,47	0,33	2,04	31,6	24,54	0,2707	6	42,8	4,9773	40	40	20
5	1	2	0,24	0,45	0,18	35	21,51	0,2733	5,25	19,83	2,9093	40	34	26
6	1	2	0,25	0,45	1,82	31,6	22,94	0,2007	5,28	25,2	3,0067	40	32	28
7	1	3	0,51	0,4	2,14	36,6	28,94	0,1647	6,13	18,84	2,2073	40	35	25
8	1	3	0,47	0,11	2,53	33,4	29,9	0,1647	5,8	17,51	1,8113	40	36	24
9	1	3	1,13	0,09	2,29	31,6	21,35	0,0813	5,72	25,46	1,8947	40	35	25
10	1	4	0,31	0,1	2,85	20,75	22,5	0,237	6,62	16,2	3,9328	40	35	25
11	1	4	0,34	0,11	2,81	20,8	23	0,2369	6,6	15,35	3,9375	40	35	25
12	1	4	0,33	0,12	2,84	20,86	22,66	0,2363	6,62	15,1	3,94	40	35	25
13	2	1	0,17	1,23	0,93	34,2	21,41	0,3747	5,76	20,01	4,213	61	31	8
14	2	1	0,01	1,55	1,33	28	21,41	0,2247	5,58	23,7	2,473	60	34	6
15	2	1	0,25	1,27	0,89	32,2	21,38	0,2833	5,64	20,6	2,1167	60	32	8
16	2	2	0,06	1,22	1,08	22,6	21,3	0,2193	6,44	18,23	2,4127	60	32	8
17	2	2	0,54	0,24	1,31	39	25,27	0,2033	6,27	19,92	2,236	61	31	8
18	2	2	0,48	0,46	1,29	32,83	20,47	0,286	6,16	17,58	3,146	62	30	8
19	2	3	0,46	1,4	1,19	32,8	21,81	0,3893	5,71	20,4	4,2827	60	32	8
20	2	3	0,57	0,11	1,56	39,8	28,14	0,3847	5,78	20,6	4,2313	60	32	8
21	2	3	0,11	0,31	1,25	44,8	17,38	0,3186	5,74	20,5	3,498	62	30	8
22	2	4	0,54	1,35	1,63	39,09	24,98	0,3905	6	22	4,2398	60	32	8
23	2	4	0,52	1,37	1,55	39,13	25,56	0,3901	6,09	21,98	4,25	60	32	8

24	2	4	0,53	1,39	1,54	39,13	25,77	0,39	5,74	21,6	4,24	60	32	8
----	---	---	------	------	------	-------	-------	------	------	------	------	----	----	---

Annexe 2 : Tableau représentatif de la mesure journalière e LR des glands de chêne liège

Extraits	Extrait feuille				Extrait racine				Extrait écorce				Extrait gousse			
	Jours															
J :01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J :02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J :03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J :04	0.95	0.65	1.55	1.8	1	0	0.8	0	2.15	2.4	1.5	1.6	1.8	2.3	1.4	1.25
J :05	1.35	0.9	2.4	2.7	1.1	1.6	1	0	2.4	2.8	2.3	2.85	2.35	3.1	2	2
J :06	3.1	2.4	4.9	3.8	1.3	1.9	1.5	0	3.1	2.9	3.55	3.7	3.15	3.8	2.2	2.2
J :07	3.8	3.1	5.7	4.9	1.4	2	2	0	3.9	3.8	4.1	4.9	3.45	4.2	3.4	2.4
J :08	6.2	5.5	7.4	5.9	1.4	2	2	0	10.7	6.3	5.56	4	4.25	6.5	4.6	5.1
J :09	7.4	6.1	8.4	6.7	1.8	2.5	2.9	0	12.4	8.1	6.9	7.15	5.8	7.5	6.9	7.7
J :10	7.9	7.9	9.8	7.5	2.4	3.4	3.6	1	13.9	9.6	8.1	8.65	7.6	8.6	8.6	8.6
J :11	8.6	8.6	10.5	8.2	3.3	4.1	4.05	1.4	15.6	11	9.8	9.35	8.3	9.8	9.4	9.6
J :12	9.2	9.7	10.9	9.6	4.5	5.4	4.9	1.8	17	12.9	11.7	10.95	10.5	11	10.4	10.9
J :13	10.4	10.1	11.7	11.1	5.1	6.9	5.6	2.2	18.9	13.3	12.6	12.35	11.6	12.5	11.72	11.7
J :14	11.4	11.2	12.7	12.5	5.3	6.3	4.8	2	20.23	13.18	13.4	10.8	11.18	12.7	11.8	11
J :15	12	12.6	13.9	13.04	5.3	6.5	5	2.3	20.6	14.7	13.77	11.2	11.7	12.7	12.3	11.03
J :16	13.4	13	14.3	14.6	5.3	6.5	5.3	2.5	21.5	15.3	15.7	11.8	11.9	12.7	12.8	11.6
J :17	14.8	14.3	15.7	15.2	5.4	6.7	5.6	2.7	22.7	16	16.9	12.7	12.2	12.7	13.2	11.9
J :18	15.01	15.7	16.3	16.06	5.5	6.9	5.8	3.2	23.9	16.3	17.2	13.5	12.5	12.7	13.7	12.4
J :19	15.7	16.2	17.4	17.7	5.6	7	6.5	3.7	24.3	17.7	18.9	14.6	13.9	12.7	14.9	13.7

Annexe 3 : Tableau représentatif du pourcentage de germination

Extrait feuille				Extrait racine				Extrait écorce				Extrait gousse				Témoins eau du robinet			
0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
50%	60%	70%	50%	30%	40%	50%	40%	70%	60%	60%	40%	80%	50%	50%	40%	80%	70%	90%	100%
60%	70%	70%	70%	40%	50%	60%	50%	80%	70%	80%	40%	80%	90%	60%	40%	80%	88%	90%	100%
60%	80%	80%	80%	60%	70%	60%	70%	90%	80%	90%	60%	80%	90%	60%	40%	90%	90%	90%	100%
60%	80%	90%	80%	60%	70%	60%	70%	90%	80%	90%	70%	80%	90%	60%	40%	90%	90%	95%	100%
60%	80%	90%	80%	60%	70%	50%	70%	90%	80%	90%	70%	80%	90%	50%	40%	93%	97%	100%	100%
60%	80%	90%	80%	60%	70%	50%	70%	90%	80%	90%	70%	80%	90%	50%	50%	100%	100%	100%	100%
60%	80%	90%	80%	60%	70%	50%	70%	90%	80%	90%	70%	80%	90%	50%	50%	100%	100%	100%	100%
60%	80%	90%	80%	60%	70%	50%	70%	90%	80%	90%	70%	80%	100%	60%	60%	100%	100%	100%	100%
60%	80%	90%	80%	60%	70%	50%	70%	90%	80%	90%	70%	80%	100%	70%	60%	100%	100%	100%	100%
60%	80%	90%	80%	60%	70%	50%	70%	100%	80%	100%	70%	80%	100%	70%	60%	100%	100%	100%	100%
60%	80%	90%	80%	60%	70%	50%	70%	100%	80%	100%	80%	80%	100%	70%	60%	100%	100%	100%	100%
60%	80%	90%	80%	60%	70%	50%	70%	100%	90%	100%	90%	80%	100%	70%	60%	100%	100%	100%	100%
60%	80%	90%	80%	60%	70%	50%	70%	100%	90%	100%	90%	80%	100%	70%	60%	100%	100%	100%	100%
60%	80%	90%	80%	60%	70%	50%	70%	100%	80%	100%	90%	80%	100%	70%	60%	100%	100%	100%	100%
60%	80%	90%	80%	60%	70%	50%	70%	100%	90%	100%	90%	80%	100%	70%	60%	100%	100%	100%	100%
60%	80%	90%	80%	60%	70%	50%	70%	100%	80%	100%	90%	80%	100%	70%	60%	100%	100%	100%	100%
60%	80%	90%	80%	60%	70%	50%	70%	100%	80%	100%	90%	80%	100%	70%	60%	100%	100%	100%	100%
60%	80%	90%	80%	60%	70%	50%	70%	100%	80%	100%	90%	80%	100%	70%	60%	100%	100%	100%	100%
60%	80%	90%	80%	60%	70%	50%	70%	100%	80%	100%	90%	80%	100%	70%	60%	100%	100%	100%	100%

Annexe 4 : Pourcentage d'inhibition de LR

Extraits Jours	Extrait feuille				Extrait racine				Extrait écorce				Extrait gousse			
J:01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J:02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J:03	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
J:04	95,62	91,09	77,2	77,5	87,5	88,6	88,23	88,75	73,12	69,62	77,49	80	77,5	70,88	79,41	84,37
J:05	86,5	83,5	71,08	28,94	89	84	87,9	84,69	76	72	72,28	25	76,5	76	75,9	47,36
J:06	77,69	74,81	68,14	73,79	90,64	85,22	88,88	88,96	77,69	78,51	73,7	74,48	77,33	71,85	79,25	80
J:07	76,68	76,58	70,44	73,12	91,41	87,34	86,92	93,75	76,07	75,94	74,21	73,12	78,83	73,41	78,61	81,25
J:08	64,16	64,16	60,11	69,71	91,9	88,23	88,09	94,28	61,27	62,94	66,9	71,42	75,43	73,52	72,61	71,42
J:09	59,56	60,11	57,71	58,37	90,16	85,95	83,42	94,59	54,09	54,49	60,57	61,35	64,48	57,86	60,57	58,37
J:10	60,1	62,84	54,91	62,5	87,3	81,91	79,88	90	47,61	80,85	54,74	56,75	59,78	54,25	51,95	95,57
J:11	54,73	54,8	54,05	60	82,63	78,45	77,83	85,36	38,94	42,19	47,02	54,39	56,31	48,5	49,18	53,17
J:12	84	82,5	25,92	82,85	77,5	78,21	77,94	81,9	40	36,13	40	47,61	47,5	34,15	40	47,61
J:13	50,47	52,13	46,5	55,11	75,71	72,03	77	83,11	38,09	36,96	37	45,11	44,76	36,96	37	45,11
J:14	48,2	49,09	44,33	49,56	75,92	72,72	77,16	91,22	36,39	40,09	36,25	48,24	49,2	42,27	43,86	51,75
J:15	53,66	51,38	50,38	54,56	79,53	75,69	80,76	91,32	42,47	43,28	47,03	53,96	54,82	51	52,69	57,35
J:16	58,12	59,57	58,78	84,75	83,43	80,24	83,93	89,07	50,62	53,49	52,42	62,61	62,81	61,39	61,21	62,61
J:17	57,49	57,89	57,39	59,42	84,11	80,76	83,76	88,85	52,94	54,16	53,91	57,14	64,11	63,62	61,73	66
J:18	56,86	55,14	57,85	58,16	84,19	80,85	84,28	89,16	51,14	53,42	53,38	56,94	64,08	63,71	53,38	56,94
J:19	53,61	56,45	56,49	56,05	84,44	81,18	82,75	89,47	47,22	51,61	49,86	50	61,38	65,05	62,86	63,94
J:20	53,66	51,38	50,38	54,56	84,45	81,19	82,76	89,48	49,62	52,49	52,4	61,61	60,81	61,39	61,21	62,61
J:21	53,61	56,45	56,48	56,056	84,15	80,75	83,78	88,86	50,62	52,49	52,41	61,61	60,84	60,39	61,25	61,61

Annexe 5 : Pourcentage d'inhibition de germination

Extraits Jours	Extrait feuille				Extrait racine				Extrait écorce				Extrait gousse				Eau du robinet			
J:01	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
J:02	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
J:03	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
J:04	38%	23%	3%	50%	13%	49%	29%	60%	13%	23%	17%	60%	0%	29%	31%	40%	0	0	0	0
J:05	25%	13%	4%	30%	50%	43%	85%	50%	0%	20%	11%	60%	0%	0%	18%	40%	0	0	0	0
J:06	33%	11%	11%	20%	33%	22%	50%	30%	0%	11%	0%	40%	11%	0%	33%	40%	0	0	0	0
J:07	33%	11%	5%	20%	33%	22%	50%	30%	0%	11%	68%	30%	11%	7%	37%	40%	0	0	0	0
J:08	35%	18%	10%	20%	35%	28%	50%	30%	3%	18%	10%	30%	14%	10%	50%	40%	0	0	0	0
J:09	40%	20%	10%	20%	40%	30%	50%	30%	10%	20%	10%	30%	20%	10%	50%	50%	0	0	0	0
J:10	40%	20%	10%	20%	40%	30%	50%	30%	10%	20%	10%	30%	20%	10%	50%	50%	0	0	0	0
J:11	40%	20%	10%	20%	40%	30%	50%	30%	10%	20%	10%	30%	20%	10%	50%	50%	0	0	0	0
J:12	40%	20%	10%	20%	40%	30%	50%	30%	10%	20%	10%	30%	20%	0%	50%	60%	0	0	0	0
J:13	40%	20%	10%	20%	40%	30%	50%	30%	10%	20%	10%	30%	20%	0%	40%	60%	0	0	0	0
J:14	40%	20%	10%	20%	40%	30%	50%	30%	10%	20%	0%	30%	20%	0%	30%	60%	0	0	0	0
J:15	40%	20%	10%	20%	40%	30%	50%	30%	10%	20%	0%	30%	20%	0%	30%	60%	0	0	0	0
J:16	40%	20%	10%	20%	40%	30%	50%	30%	0%	20%	0%	30%	20%	0%	30%	60%	0	0	0	0
J:17	40%	20%	10%	20%	40%	30%	50%	30%	0%	20%	0%	20%	20%	0%	30%	60%	0	0	0	0
J:18	40%	20%	10%	20%	40%	30%	50%	30%	0%	20%	0%	20%	20%	0%	30%	60%	0	0	0	0
J:19	40%	20%	10%	20%	40%	30%	50%	30%	0%	10%	0%	10%	20%	0%	30%	60%	0	0	0	0
J:20	40%	20%	10%	20%	40%	30%	50%	30%	0%	10%	0%	10%	20%	0%	30%	60%	0	0	0	0
J:21	40%	20%	10%	20%	40%	30%	50%	30%	0%	10%	0%	10%	20%	0%	30%	60%	0	0	0	0

Annexe 6 : Longueurs d'onde d'absorption (bandes) caractéristiques des composés phénoliques identifiés par IRTF (Tondi and Petutschnigg, 2015).

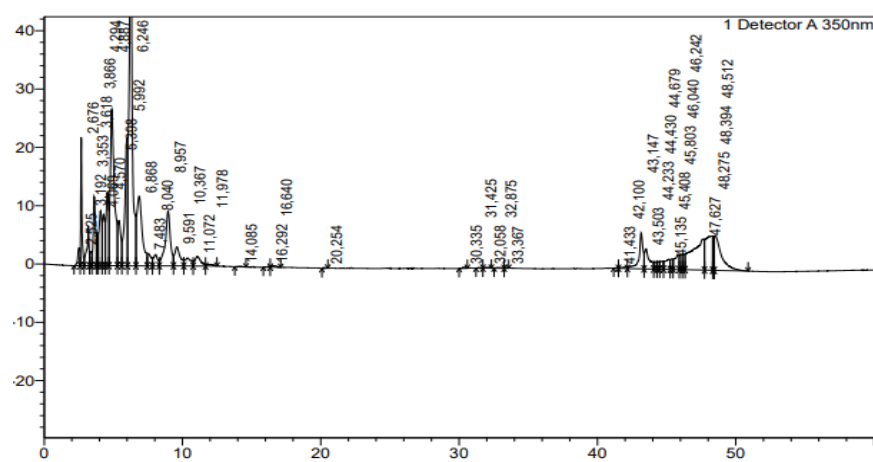
Bande (cm-1)	Attribution	Composés identifiés	References
732 cm-1	Flexion du noyau A. (β , CH -A)	Acide gallique	Ajuong and Redington (2004); Ajuong and Birkinshaw (2004); Ajuong and Breeze (1998); Unsalan et al. (2009)
744 cm-1	Hochement ou Déformation angulaire hors du plan. (ω -C-H, Ar).	Acides phénoliques	Williams and Grayer, 2004)
744 cm-1	Hochement ou Déformation angulaire hors du plan. (ω -C-H, Ar)	Flavonoïdes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen, 2004b)
745,5 cm-1	Hochement ou Déformation angulaire hors du plan. (ω -C-H, Ar)	Flavonoïdes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen, 2004b
770 cm-1	Flexion aromatique de $-\beta$ CH- (noyau A)	Flavone, Flavanol, Acide ellagique, Résorcinol	Unsalan et al. (2009) ; Tondi et al. (2014)
804 cm-1	Flexion symétrique hors plan de (B, γ -C-H)	Catéchine	Fernandez and Agosin (2007)
815 cm-1	Hochement ou Déformation angulaire hors du plan. (ω -CH ₃)	Groupe méthyle terminal des stérols	Bulama et al., 2015 ; Itoh et al., 1976
824 cm-1	Hochement ou Déformation angulaire hors du plan. (ω -CH ₃)	Groupe méthyle terminal des stérols	Bulama et al., 2015 ; Itoh et al., 1976
842 cm-1	Flexion asymétrique hors plan de (α - γ C-H)	Résorcinol	Ajuong and Redington (2004); Ajuong and Birkinshaw (2004); Ajuong and Breeze (1998); Fernandez and Agosin (2007)
862,5 cm-1	Hochement ou Déformation angulaire hors du plan. (ω -CH ₃)	Groupe méthyle terminal des stérols	Bulama et al., 2015 ; Itoh et al., 1976
867,3 cm-1	Hochement ou Déformation angulaire hors du plan. (ω -CH ₃)	Groupe méthyle terminal des stérols	Bulama et al., 2015 ; Itoh et al., 1976
870 cm-1	Flexion symétrique hors plan de (B, γ -C-H)	Sous-classe des tanins hydrolysables « gallo tanins	Falcão et al., 2012.
872,5 cm-1	Hochement ou Déformation angulaire hors du plan. (ω -CH ₃)	Groupe méthyle terminal des stérols	Bulama et al., 2015 ; Itoh et al., 1976

877,5 cm-1	Hochement ou Déformation angulaire hors du plan. (ω -CH ₃)	Groupe méthyle terminal des stéroïdes	Itou et al., 1976 ; Bulama et al., 2015
878,1 cm-1	Hochement ou Déformation angulaire hors du plan. (ω -CH ₃)	Groupe méthyle terminal des stéroïdes	Itou et al., 1976 ; Bulama et al., 2015
882 cm-1	Hochement ou Déformation angulaire hors du plan. (ω -CH ₃)	Groupe méthyle terminal des stéroïdes	Bulama et al., 2015 ; Itoh et al., 1976
1112 cm-1	Vibration aliphatique de – C-O	Acide ellagique	Ajuong and Redington (2004); Ajuong and Birkinshaw (2004); Ajuong and Breeze (1998)
1039 cm-1	Vibration aliphatique de (ν C-N)	Alcaloïdes	Hocquemiller et al., 1984
1026,7 cm-1	Vibration aliphatique de (ν C-N)	Alcaloïdes	Hocquemiller et al., 1984
1076 cm-1	Flexion H-C=C-C- (noyau B)	Phénol, Résorcinol, Flavanone	Unsalan et al. (2009)
1162 cm-1	Vibration aromatique de – C-O- (noyau A)	Phénol, Résorcinol	Ajuong and Redington (2004); Ajuong and Birkinshaw (2004); Ajuong and Breeze (1998); Oo et al. (2009)
1174,5 cm-1	Vibration asymétrique (ν -OC=C-),	Flavonoïdes	Williams and Grayer, 2004)
1205 cm-1	Déformation dans le plan de –O-H	Acide gallique	Schwanninger et al. (2004) ; Tondi et al. (2014)
1206 cm-1	Vibration asymétrique de (ν -OC=C)	Flavonoïdes	Williams and Grayer, 2004)
1286 cm-1	Vibration de (ν -C-O)	Ester aromatiques	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen, 2004b
1304 cm-1	Cisaillement asymétrique (δ -CH ₃)	Terpènes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen, 2004b
1344 cm-1	Vibration –C-O	Phénol, Acide ellagique	Unsalan et al. (2009)
1366,5 cm-1	Cisaillement de (δ -CH ₃)	Terpènes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen, 2004b
1367,5 cm-1	Cisaillement de (δ -CH ₃)	Terpènes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen, 2004b
1368 cm-1	Cisaillement de (δ -CH ₃)	Terpènes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen, 2004b
1384,5 cm-1	Cisaillement de (δ -CH ₃)	Terpènes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen, 2004b)
1453 cm-1	Flexion asymétrique de – H-C du cycle aromatique	Phénol, Acide ellagique	Ajuong and Redington (2004); Ajuong and Birkinshaw (2004); Ajuong and Breeze, (1998); Laghi et al. (2010)
1486,1cm-1	Cisaillement (δ -CH ₃)	Tanins, acide ellagique	Schwanninger et al. (2004) ; Tondi et al. (2014).
1508 cm-1	Vibration asymétrique de –H-C=C	Phénol, Acide ellagique	Ajuong and Redington (2004); Ajuong and Birkinshaw (2004); Ajuong and Breeze (1998); Kim and Kim (2003); Nonier et al. (2005)
1515 cm-1	Vibration (ν Ar)	Acide phénolique	Williams and Grayer, 2004)

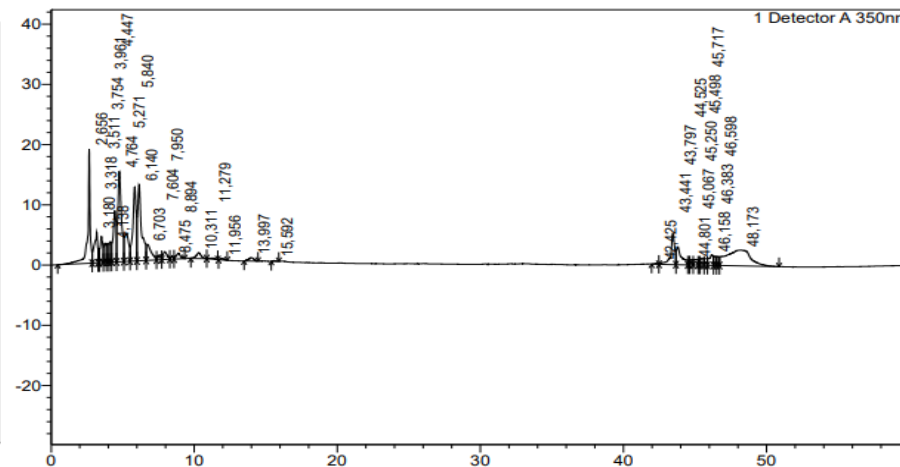
1516,5 cm-1	Vibration (ν Ar)	Flavonoïdes	Williams and Grayer, 2004)
1535 cm-1	Vibration symétrique de ν -H-(C=C)	Phénol, Acide gallique, Résorcinol	Oo et al. (2009) ; Ping et al. (2012) ; Jensen et al. (2008)
1557,5 cm-1	Vibration symétrique de ν -H-(C=C)	Phénol, Acide gallique, Résorcinol	Oo et al. (2009) ; Ping et al. (2012) ; Jensen et al. (2008)
1601 cm-1	Vibration de (ν -(C=C) -)	Terpènes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen, 2004b
1602 cm-1	Vibration de (ν -(C=C) -)	Terpènes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen, 2004b
1613 cm-1	Vibration de (ν -(C=C) -)	Terpènes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen, 2004b
1615,5 cm-1	Vibration de (ν -(C=C) -)	Terpènes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen, 2004b.
1617,5 cm-1	Vibration de (ν -(C=C)	Terpènes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen, 2004b.
1618 cm-1	Vibration de (ν -(C=C)	Phénol, Résorcinol	Oo et al. (2009); Kim and Kim (2003)
1619,5 cm-1	Vibration de (ν -(C=C)	Terpènes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen, 2004b)
1653,3 cm-1	Vibration de (ν -(C=C)	Terpènes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen, 2004b)
1717,5 cm-1	Vibration de (ν -(C=O)	Acides phénoliques	Williams and Grayer, 2004
1725,5 cm-1	Vibration de (ν -(C=O) -OH)	Acides phénoliques	Williams and Grayer, 2004)
1727 cm-1	Vibration de (ν -(C=O) -OH)	Composés phénoliques	Williams and Grayer, 2004)
1843,3 cm-1	Vibration de (ν -(C=O) -OH)	Composés phénoliques	Williams and Grayer, 2004)
1981,2 cm-1	Déformation OHde (ω ,OH)	Acide gallique	(Schwanninger et al. (2004) ; Tondi et al. (2014).
2155,6 cm-1	Vibration de (ν -(C=O) -OH	Composés phénoliques	Williams and Grayer, 2004)
2917,9 cm-1	Vibration aliphatique de (CH= CH ₂)	Hydrocarbures aliphatiques	Lee and Lan, 2006; Ping et al., 2012
2921 cm-1	Vibration aliphatique de (CH= CH ₂)	Hydrocarbures aliphatiques	Lee and Lan, 2006; Ping et al., 2012
3018cm-1	Vibration de (ν O-H),	Tanins	Lee and Lan, 2006; Ping et al., 2012
3090,8 cm-1	Vibration de (ν O-H),	Tanins	Ping et al., 2012
3254,8 cm-1	Vibration de (ν O-H),	Tanins	Ping et al., 2012
3277,31 cm1	Vibration de (ν O-H),	Tanins	Ping et al., 2012
3336,5 cm-1	Vibration de (ν O-H),	Tanins	Ping et al., 2012
3393 cm-1	Vibration de (ν O-H),	Flavonoïdes	Williams and Grayer, 2004)
3401,5 cm-1	Vibration de (ν H-N),	Alcaloïdes	(Hocquemiller et al., 1984)
3413,5 cm-1	Vibration de (ν O-H),	Acides phénoliques	Williams and Grayer, 2004)

3428 cm-1	Vibration de (ν O-H),	Flavonoïdes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen, 2004b
3745 cm-1	Vibration de (ν O-H),	Flavonoïdes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen, 2004b
3851 cm-1	Vibration de (ν O-H),	Flavonoïdes	Dosseh et al., 1980 ; Holopainen, 2004b

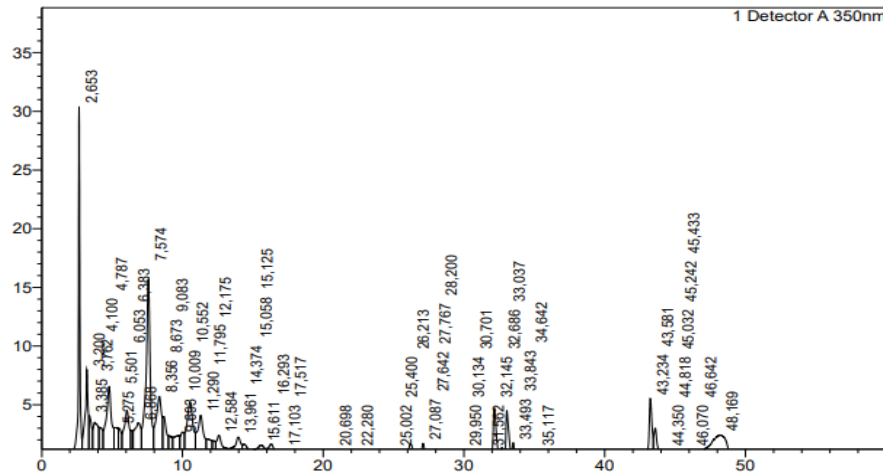
Annexe 7 : Pics chromatographique des composés phénoliques présents dans les extraits méthanoliques et aqueux des cinq parties d'*A.mearnsii* et leurs temps de rétention.



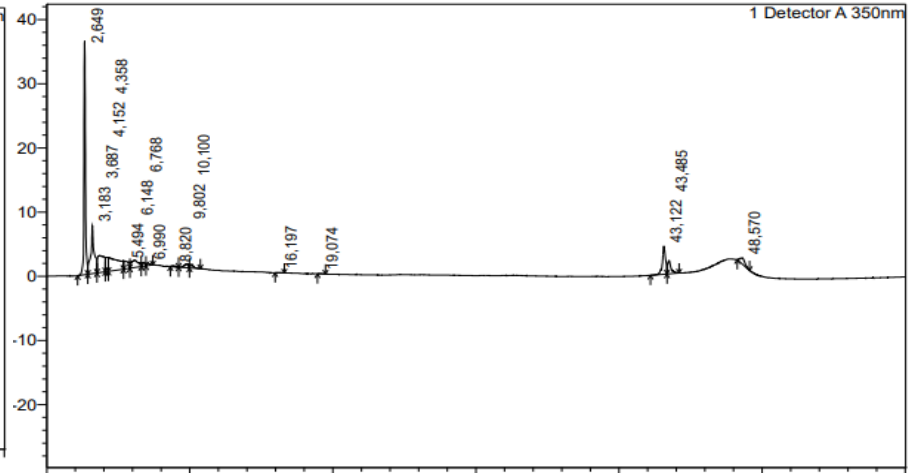
Pic chromatographique d'extrait de feuilles d'*A.mearnsii*



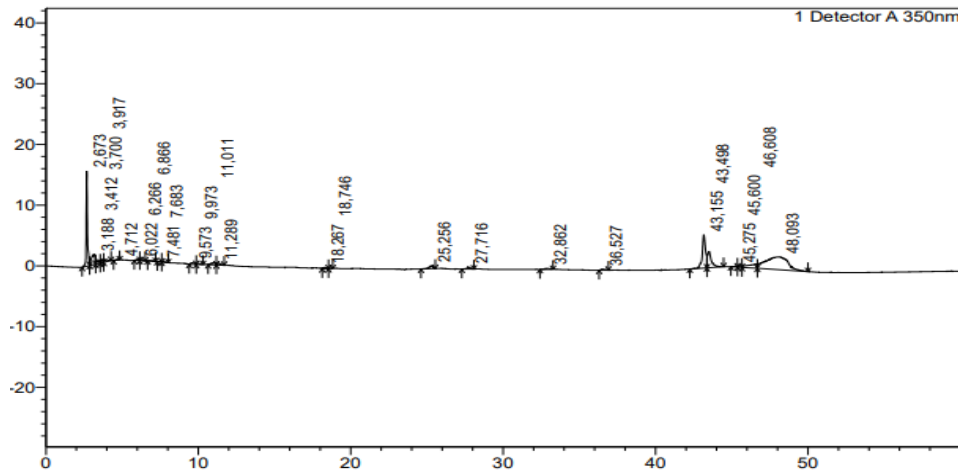
Pic chromatographique d'extrait de fleurs d'*A.mearnsii*



Pic chromatographique d'extrait de racines d'*A. mearnsii*



Pic chromatographique d'extrait de gousses d'*A. mearnsii*



Pic chromatographique d'extrait des écorces d'*A. mearnsii*

Annexe 8 : Tableau représentatif des temps de rétention d'extrait des feuilles d'*A.mearnsii*

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Mark	Conc.
1	2,525	33561	2999		0,000
2	2,676	124108	22038	V	0,000
3	3,192	71920	6804	V	0,000
4	3,353	22673	2388	V	0,000
5	3,618	134411	11809	V	0,000
6	3,866	42679	5579	V	0,000
7	4,069	130066	9389	V	0,000
8	4,294	109216	8854	V	0,000
9	4,570	163024	12579	V	0,000
10	4,887	552569	26837	V	0,000
11	5,398	120142	7780	V	0,000
12	5,992	288183	21907	V	0,000
13	6,246	968477	57089	V	0,000
14	6,868	328366	11955	V	0,000
15	7,483	40638	2148	V	0,000
16	8,040	41079	1917	V	0,000
17	8,957	241443	9392	V	0,000
18	9,591	89775	3273	V	0,000
19	10,367	44123	1335	V	0,000
20	11,072	48603	1659	V	0,000
21	11,978	9204	286	V	0,000
22	14,085	2462	110		0,000
23	16,292	2280	150		0,000
24	16,640	7212	296	V	0,000
25	20,254	2298	155		0,000
26	30,335	2863	190		0,000
27	31,425	1445	111		0,000
28	32,058	3019	153	V	0,000
29	32,875	3807	114	V	0,000
30	33,367	1193	76	V	0,000
31	41,433	1083	81		0,000
32	42,100	6670	257	V	0,000
33	43,147	120408	6131	V	0,000
34	43,503	81603	3426	V	0,000
35	44,233	15884	1150	V	0,000
36	44,430	14765	1268	V	0,000
37	44,679	22586	1374	V	0,000
38	45,135	43882	1738	V	0,000
39	45,408	21792	1777	V	0,000
40	45,803	58974	2592	V	0,000
41	46,040	30260	2572	V	0,000
42	46,242	31546	2670	V	0,000
43	47,627	318517	5315	V	0,000
44	48,275	202812	5862	V	0,000
45	48,394	38188	5887	V	0,000
46	48,512	211936	5924	V	0,000
Total		4851743	277396		0,000

Annexe 9 : Tableau représentatif des temps de rétention d'extrait des fleurs d'*A.mearnsii*

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Mark	Conc.
1	2,656	211018	18933	V	0,000
2	3,180	78705	5057	V	0,000
3	3,318	11700	2357	V	0,000
4	3,511	55450	4373	V	0,000
5	3,754	36459	3197	V	0,000
6	3,961	31747	3155	V	0,000
7	4,138	37379	3405	V	0,000
8	4,447	124642	8524	V	0,000
9	4,764	262281	15004	V	0,000
10	5,271	99028	4582	V	0,000
11	5,840	203158	12284	V	0,000
12	6,140	241967	12633	V	0,000
13	6,703	63932	2681	V	0,000
14	7,604	14846	799	V	0,000
15	7,950	27267	1293	V	0,000
16	8,475	6571	398	V	0,000
17	8,894	19799	955	V	0,000
18	10,311	23639	952	V	0,000
19	11,279	4227	193		0,000
20	11,956	3944	244		0,000
21	13,997	14808	593		0,000
22	15,592	1529	108		0,000
23	42,425	3749	178	V	0,000
24	43,441	100709	5187	V	0,000
25	43,797	75126	2958	V	0,000
26	44,525	5940	797	V	0,000
27	44,801	13076	879	V	0,000
28	45,067	18454	946	V	0,000
29	45,250	7649	955	V	0,000
30	45,498	18027	1113	V	0,000
31	45,717	15767	1094	V	0,000
32	46,158	35288	1758	V	0,000
33	46,383	18509	1530	V	0,000
34	46,598	17414	1477	V	0,000
35	48,173	313042	2625	V	0,000
Total		2216847	123216		0,000

Annexe 10 : Tableau représentatif des temps de rétention d'extrait des racines d'*A.mearnsii*

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Mark	Conc.
34	25,400	1237	71	V	0,000
35	26,213	29735	1115	V	0,000
36	27,087	22546	1202	V	0,000
37	27,642	2188	151	V	0,000
38	27,767	2215	166	V	0,000
39	28,200	7804	634	V	0,000
40	29,950	1034	75	V	0,000
41	30,134	1508	118	V	0,000
42	30,701	7780	362	V	0,000
43	31,562	11970	719		0,000
44	32,145	68258	4368	V	0,000
45	32,686	18157	1027	V	0,000
46	33,037	59738	4178	V	0,000
47	33,493	18674	1465	V	0,000
48	33,843	9345	593	V	0,000
49	34,642	3550	277	V	0,000
50	35,117	4109	193	V	0,000
51	43,234	98061	5407	V	0,000
52	43,581	65988	2903	V	0,000
53	44,350	11230	649	V	0,000
54	44,818	16204	812	V	0,000
55	45,032	12212	750	V	0,000
56	45,242	6087	687	V	0,000
57	45,433	5778	682	V	0,000
58	46,070	42942	1003	V	0,000
59	46,642	26597	1056	V	0,000
60	48,169	272573	2504	V	0,000
Total		3213808	153575		0,000

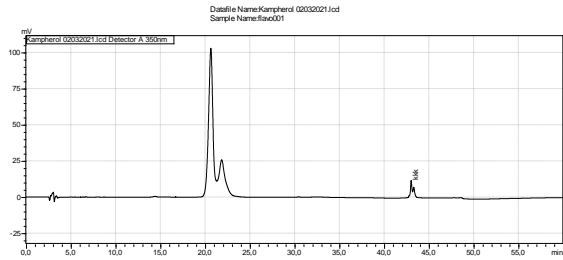
Annexe 11 : Tableau représentatif des temps de rétention d'extrait des écorces d'*A.mearnsii*

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Mark	Conc.	Unit
1	2,649	260526	36403		0,000	
2	3,183	124060	7484	V	0,000	
3	3,687	85179	2670	V	0,000	
4	4,152	28625	2239	V	0,000	
5	4,358	102297	2127	V	0,000	
6	5,494	29662	1178	V	0,000	
7	6,148	40767	1158	V	0,000	
8	6,768	10593	561	V	0,000	
9	6,990	5906	414	V	0,000	
10	8,820	2824	165	V	0,000	
11	9,802	13679	603		0,000	
12	10,100	8892	538	V	0,000	
13	16,197	1080	54		0,000	
14	19,074	1366	76	V	0,000	
15	43,122	67627	4363	V	0,000	mg/L
16	43,485	34764	2095	V	0,000	
17	48,570	21968	884		0,000	
Total		839815	63012		0,000	

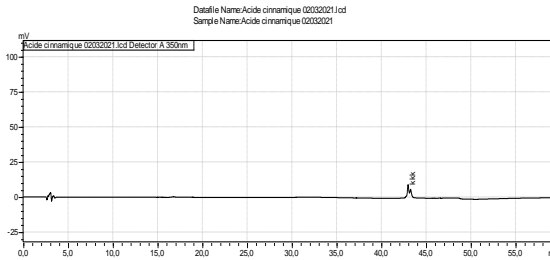
Annexe 12 : Tableau représentatif des temps de rétention d'extrait des gousses d'*A.mearnsii*

Peak#	Ret. Time	Area	Height	Mark	Conc.
1	2,673	86643	15684		0,000
2	3,188	26952	1637	V	0,000
3	3,412	6933	436	V	0,000
4	3,700	5272	407	V	0,000
5	3,917	5651	298	V	0,000
6	4,712	1509	104		0,000
7	6,022	2462	200		0,000
8	6,266	2366	203	V	0,000
9	6,866	1757	106		0,000
10	7,481	1301	100		0,000
11	7,683	1676	137	V	0,000
12	9,573	5319	271		0,000
13	9,973	2369	169	V	0,000
14	11,011	7323	338	V	0,000
15	11,289	5161	326	V	0,000
16	18,267	2393	173		0,000
17	18,746	1187	84	V	0,000
18	25,256	8405	479		0,000
19	27,716	4514	311		0,000
20	32,862	4300	176		0,000
21	36,527	2884	181		0,000
22	43,155	83794	5449	V	0,000
23	43,498	48747	2680	V	0,000
24	45,275	1730	106		0,000
25	45,600	3070	207	V	0,000
26	46,608	27465	685	V	0,000
27	48,093	214454	2114	V	0,000
Total		565636	33060		0,000

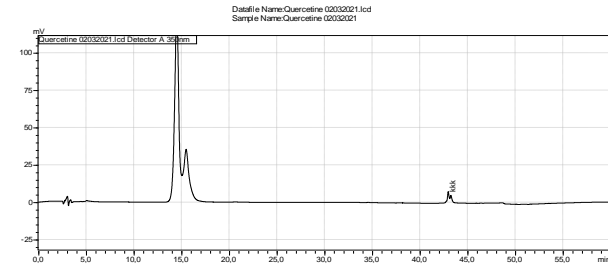
Annexe 13: : Pics des chromatogrammes des étalons de l'HPLC



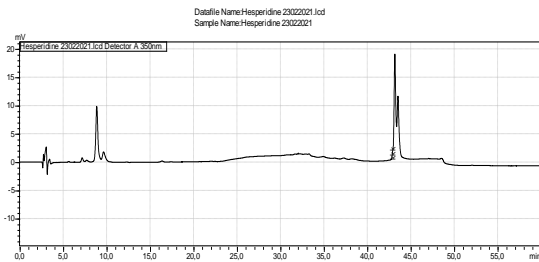
Kaempferol



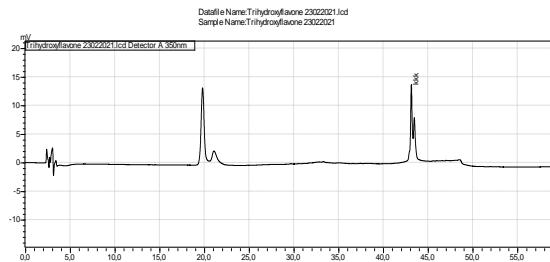
Acide cinnamique



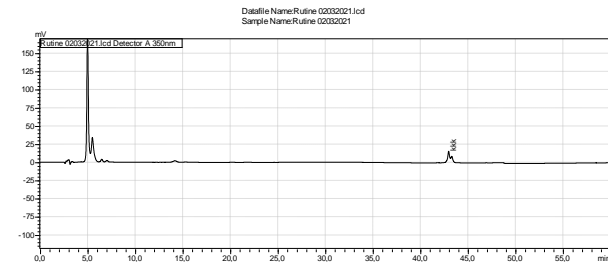
Quercétine



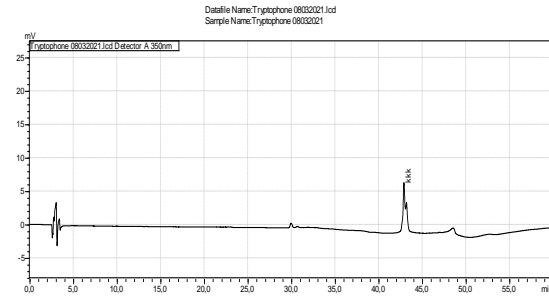
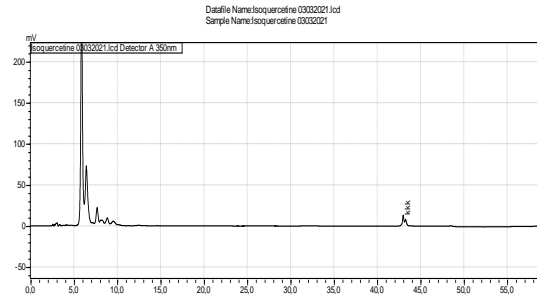
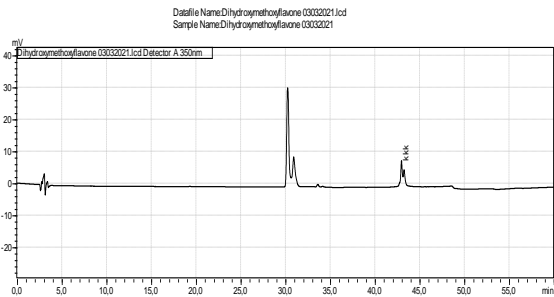
Hesperidine



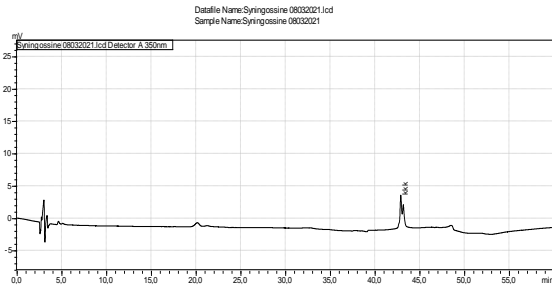
Trihydroxyflavone



Rutine

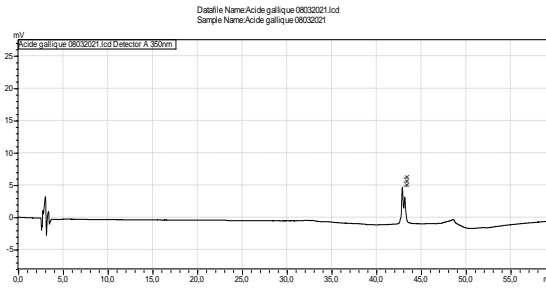


Dihydroxymétoxyflavone



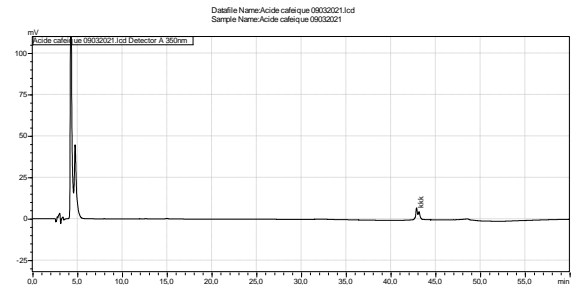
Syringétine

Iso-quercétine

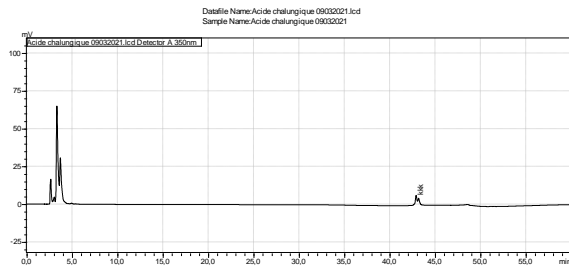


Acide gallique

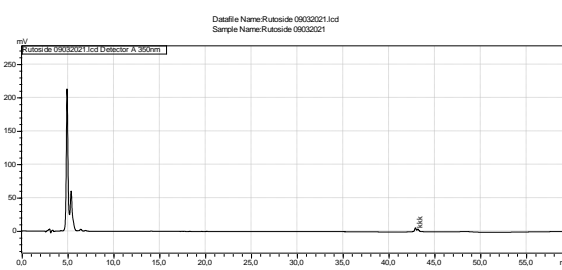
Tryptophane



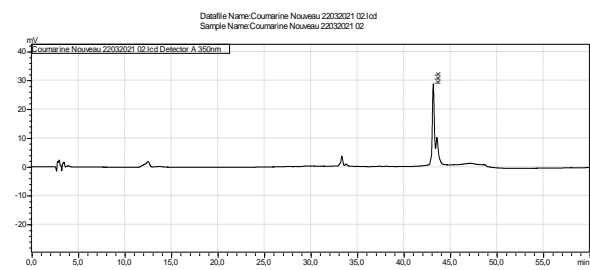
Acide caféique



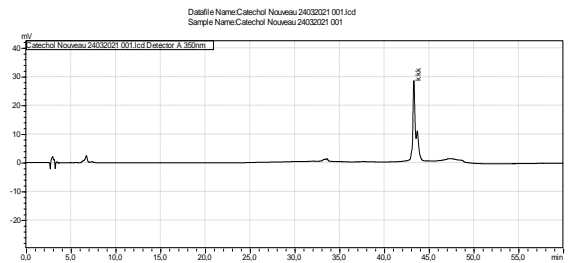
Acide chlorogénique



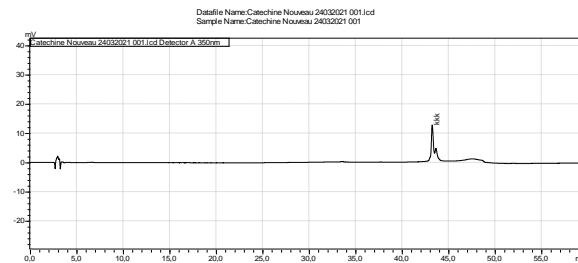
Rutoside



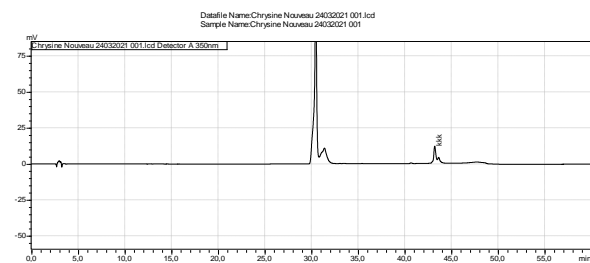
Coumarine



Catéchol

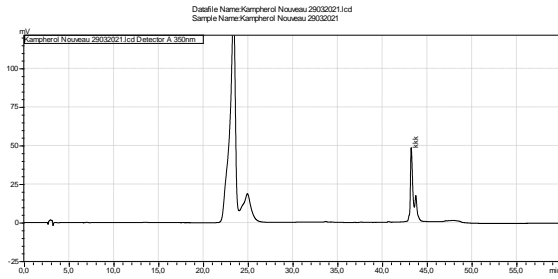


Catéchine

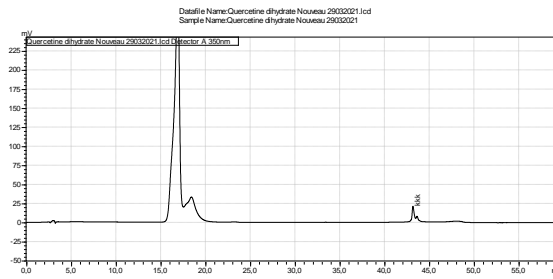


Chrisine

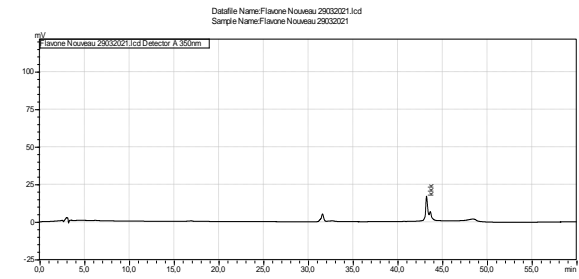
Invasion par Acacia mearnsii (De Wild) : Quels risques sur Quercus suber (L) dans le parc national D'EL Kala au Nord-Est Algérien ?



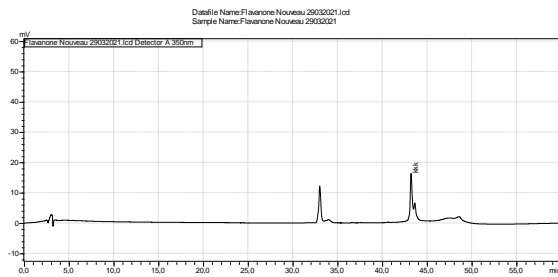
Kampherol



Quercétine dihydraté



Flavone



Flavanone

Annexe 14 : Préparation de colorants

❖ Préparation de GGE (éthanol, eau distillée, glycérol)

Mettre 1L de l'éthanol + 1L de glycérol dans un litre d'eau distillée

Cette solution se fait pour conserver les racines à long terme

❖ Polyvinyl-lacto-glycérol (PVLG)

PVLG est utilisé pour monter en permanence des spores entières ou brisées sur des lames de verre. Pour de meilleurs résultats, les échantillons montés ne doivent pas être étudiés dans les 2-3 jours suivant leur montage afin de laisser le temps au contenu de spores de s'éclaircir. Des spores entières changent de couleur, s'assombrissant généralement à des degrés divers, et se contractent ou s'effondrent lors de la plasmolyse du contenu des spores. Des couches discrètes de la paroi des spores ou des parois internes flexibles de spores cassées vont gonfler à des degrés divers et apparaissent fusionnées après un stockage prolongé dans certains cas.

Ingrédients	Quantité
Eau distillée	100ml
Acide lactique	100ml
Glycérol	10ml
Alcool polyvinylique (PVA)	16,6g

Il est très important de mélanger tous les ingrédients dans une bouteille sombre avant d'ajouter l'alcool polyvinylique. Le PVA doit avoir les propriétés suivantes : hydrolysé à 99-100% et viscosité de 24 à 32 centipoises dans une solution aqueuse à 4% à 20 ° C. Le PVA est ajouté sous forme de poudre aux autres ingrédients liquides. Le PVA se dissout lentement, puis uniquement lorsqu'il est placé dans un bain d'eau chaude (70 - 80 ° C). La solution sera claire dans 4-6 heures ; nous préparons habituellement le mélange le soir et le laissons incuber au bain-marie pendant la nuit. Le PVLG se conserve bien dans des bouteilles noires pendant environ un an.

Rick Koske écrit que la poudre de PVA peut être ajoutée à l'eau, suivie d'un autoclavage pendant 15 minutes. L'acide lactique et la glycérine sont ajoutés, puis la solution est conservée à la température ambiante pendant au moins 24 heures avant d'être utilisée.

❖ Réactif de Melzer

Le réactif de Melzer est devenu un outil de diagnostic important dans les diagnostics basés sur la morphologie. Les réactions de coloration à l'iode varieront du rose pâle (réaction faible) au brun rouge foncé (réaction modérée) au violet rougeâtre foncé (réaction intense des

dextrinoïdes). L'iode se lie aux régions hydrophobes des macromolécules (dans les parois des spores ou germinales) et l'intensité de la réaction est liée en partie à la longueur des chaînes glucidiques. Dans la plupart des cas à ce jour, l'intensité de la réaction est directement corrélée à la plasticité de la structure dans des agents de montage acides.

Ingrédients	Quantité
Hydrate de chloral	100g
Eau distillée	100ml
Iode	1 ,5g
Iodure de potassium	5g

Lorsque le réactif de Melzer est utilisé conformément à la recette ci-dessus, les réactions de coloration seront les plus intenses. Cependant, les montages sont temporaires, même lorsqu'une lamelle est scellée, et sèchent souvent au bout de 1-2 ans de stockage. Des montages plus permanents sont réalisés en mélangeant le réactif de Melzer avec PVLG dans un rapport volumique de 1 : 1 (et en stockant le mélange dans une bouteille sombre). La réaction de coloration est légèrement diminuée, mais pas suffisamment pour créer une confusion quant à l'intensité de la réaction. Dans les structures faiblement colorées, la réaction colorée s'estompe au bout d'un an ou deux de stockage. Semble ne servir à rien et, dans certains cas, provoquer une plasmolyse.