



UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH
Faculté des Sciences et Techniques Fès
Département des Sciences de la Vie

MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDE
MASTER SCIENCES ET TECHNIQUES
GESTION ET CONSERVATION DE LA BIODIVERSITE

Étude et optimisation de la régénération de *Cupressus atlantica* G. par des techniques d'ingénieries écologiques/Perspectives de gestion et réhabilitation des espaces dégradés.

Présenté par :
Hassnae KOUALI

Encadré par :
Pr. Ali BOUMEZZOUGH
Pr. Abdelilah MEDDICH
Pr. Meryem BENJELLOUN

Soutenue le 25 Juin 2015 devant le jury composé de :

Pr. Meryem BENJELLOUN	FST-Fès	Présidente
Pr. Ali BOUMEZZOUGH	FSSM-Marrakech	Encadrant
Pr. Abdelilah MEDDICH	FSSM-Marrakech	Encadrant
Pr. Jamila AL FIGUIGUI	FST-Fès	Examinatrice
Pr. Karima MIKOU	FST-Fès	Examinatrice

Année Universitaire : 2014/2015

Dédicace

Je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers

A mes parents,

A ma famille,

A mes sœurs et mes frères,

A mes amis.

REMERCIEMENTS

*Tout d'abord j'adresse ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à Monsieur le Professeur **Lahsen El GHADRAOUI**, coordonnateur du Master Gestion et Conservation de la Biodiversité « GCB », pour les efforts qu'il déploie pour la bonne marche de ce Master et pour ses conseils judicieux.*

*Je tiens à exprimer mon profond remerciement et cordiale gratitude à mes encadrants Professeurs **Ali BOUMEZZOUGH et Abdelilah MEDDICH**, de la Faculté des Sciences Semlalia Marrakech (Université Cadi Ayyad Marrakech), pour leurs encadrements continus, leurs suivis permanents avec une attention particulière et leurs conseils précieux le long de l'élaboration de ce travail. Faisant preuve d'une disponibilité sans égale, ils m'ont fait bénéficier de leurs compétences, à tous les niveaux de cette étude. Pour toutes ces faveurs et bien d'autres, je tiens à les remercier de tout mon cœur.*

*Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à Madame **Meryem BENJELLOUN** Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques Fès, pour son encadrement, sa disponibilité, ses remarques, sa compréhension, ses conseils et ses encouragements.*

*Mes profonds remerciements vont également à Monsieur **Mohamed HAFIDI** Professeur à la Faculté des Sciences Semlalia (UCAM) qui a bien voulu m'accueillir dans le laboratoire d'Ecologie & Environnement (L2E), je lui en suis très reconnaissante.*

*J'adresse mes sincères remerciements à **Lamia ZARIK** pour son aide précieuse, le temps qu'il m'a consacré, ses directives réfléchies et sa disponibilité.*

*Je voudrais aussi remercier vivement les membres de jury d'avoir accepté de juger ce travail, en l'occurrence. **Mm. Jamila AL FIGUIGUI, Mm. Karima MIKOU.***

Mes profonds remerciements vont également à mes collègues et mes amis.

En fin, un grand merci à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

...Merci

RESUME

Le cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica* G.) est une espèce endémique du Haut Atlas occidental sujette à une dégradation alarmante. L'espèce n'est représentée actuellement que par quelques sub-populations d'une superficie limitée. Dans l'objectif de réhabiliter ces écosystèmes forestiers, plusieurs pépinières de production de plants ont été aménagées. Cependant, le taux de production reste relativement faible en relation avec la qualité des semences et les plants produits. C'est dans un cadre de contribution à la sauvegarde de cette essence forestière à forte valeur écologique et socio-économique que nous avons mené cette étude multidisciplinaire. Nous avons examiné l'effet de la mycorhization et du compost sur la tolérance au stress salin des jeunes plantules de *Cupressus Atlantica* G. L'association mycorhize et compost a un effet positif sur l'ensemble des paramètres de croissance étudiés chez le cyprès de l'Atlas notamment la hauteur, le nombre de feuilles formées et la production de biomasse. Les graines du cyprès de l'Atlas ont présenté globalement une tolérance modérée vis-à-vis du stress salin. Une concentration supérieure à 180 mM de NaCl réduit considérablement la germination des graines. L'exposition des plantules au stress salin s'est traduite par une réduction de la croissance des parties aériennes et du nombre des feuilles ainsi que de la biomasse. Cette réduction s'est accompagnée de modifications physiologiques et biochimiques. Nous avons constaté que des fortes teneurs en proline et en sucre solubles ont été enregistrées chez les plantes inoculées sur un sable amendé par le compost. Ces derniers contribueraient aux phénomènes d'ajustement osmotiques. L'association mycorhize et compost a joué un rôle significatif dans la tolérance des plants de cyprès de l'Atlas au stress salin. De tel résultat peut être exploité dans les programmes de reboisement dans les zones touchées par le phénomène de salinité au Maroc et ce via la production de plants du cyprès de l'Atlas vigoureux et en bon états de santé au niveau de pépinières.

Mots clés : *Cupressus atlantica* G., germination, croissance, mycorhizes, compost, tolérance, stress salin.

ABSTRACT

The Atlas cypress (*Cupressus atlantica* G.) is an endemic species of the Western High Atlas subject to an alarming degradation. The species is not currently represented by only a few sub-populations of a limited area. With the aim to rehabilitate these forest ecosystems, several plant production nurseries have been established. However, the production rate is relatively low in relation to the quality of seed and plants produced. This is a contribution to the preservation of part of this tree species with high ecological value and socioeconomic we conducted this multidisciplinary study. We examined the effect of mycorrhizae and compost on the salt stress tolerance of young seedlings of *Cupressus Atlantica* G. mycorrhizal association and compost has a positive effect on all the growth parameters studied in the cypress Atlas including height, number of leaves and formed the production of biomass. The seeds of the Atlas cypress showed overall a moderate tolerance vis-à-vis the salt stress. A concentration greater than 180 mM NaCl significantly reduced seed germination. Exposure of seedlings to salt stress resulted in a reduction in the growth of the aerial parts and the number of leaves and biomass. This reduction was accompanied by physiological and biochemical changes. We found that high levels of proline and soluble sugar were recorded in inoculated plants on a sand amended with compost. These contribute to the osmotic adjustment phenomena. The mycorrhizal association and compost has played a significant role in the tolerance of the Atlas cypress seedlings to salt stress. From such a result can be used in reforestation programs in areas affected by the phenomenon of salinity in Morocco and through the production plants of vigorous Atlas cypress and in good health conditions at nurseries.

Keywords: *Cupressus atlantica* G., germination, growth, mycorrhiza, compost, tolerance, salt stress.

ملخص

السرو الأطلسي (*Cupressus atlantica* G.) هو نوع من الانواع المستوطنة غرب الأطلس الكبير تخضع لتدهور ينذر بالخطر. هذا النوع لا يتم تمثيله حالياً سوى بعدد قليل من الساكنة الفرعية و في مساحة محدودة. بهدف استعادة و اعادة تأهيل النظم الايكولوجية الغابوية تم انشاء مشاتل لإنتاج عدة نباتات ، و مع ذلك فان معدل الانتاج لا يزال منخفضاً نسبياً في ما يتعلق بنوعية البذور و النباتات. في إطار المساهمة في الحفاظ على انواع الأشجار ذات القيمة البيئية العالية والمستوى الاقتصادي والاجتماعي أجرينا هذه الدراسة المتعددة التخصصات. درسنا تأثير الفطور الجذرية (ميكوريزا) والسماذ العضوي على تحمل الإجهاد الملحي لشتلات السرو الأطلسي الشابة. إضافة الفطور الجذرية مع السماذ العضوي له تأثير إيجابي على جميع معلمات النمو المدروسة لسرو الأطلس بما في ذلك الارتفاع، عدد الأوراق المشكلة و إنتاج الكتلة الحيوية. وأظهرت بذور سرو أطلس عموماً التحمل المعتدل وجهاً لوجه مع الإجهاد الملحي. هناك تركيز أكبر من 180مم كلوريد الصوديوم يختزل كثيراً إنبات البذور. أدى تعرض الشتلات للإجهاد الملحي إلى انخفاض في نمو الأجزاء الهوائية وعدد الأوراق والكتلة الحيوية. هذا الانخفاض مصحوب بالتغيرات الفسيولوجية والبيوكيميائية . وجدنا أن المستويات العالية من البرولين والسكريات الذائبة تم تسجيلها عند النباتات الميكوريزية على الرمال المعدلة مع السماذ العضوي. هذه الأخيرة تساهم في ظاهرة التكيف التنافذي. تجمع الفطور الجذرية (ميكوريزا) والسماذ يلعب دوراً هاماً في تسامح شتلات السرو الأطلسي مع الإجهاد الملحي. نتيجة لذلك يمكن استخدامها في برامج إعادة التشجير في المناطق المتضررة من ظاهرة الملوحة في المغرب وذلك من خلال إنتاج شتلات سرو الأطلس في حالة صحية جيدة في المشاتل.

الكلمات المفتاح: السرو الأطلسي، الإنبات، النمو، الفطور الجذرية (ميكوريزا)، السماذ العضوي، التحمل، الإجهاد الملحي.

ABREVIATIONS

% : Pourcentage

μs /cm : Microsiemens par centimètre

BS : Biomasse sèche

C : Compost

C° : Degré Celsius

Cm : Centimètre

d : densité

F% : Fréquence de mycorhization

g /l : Gramme par litre

g : Gramme

h : Heure

ha : Hectare

HA : Hauteur aérienne

Km : kilomètre

MA : Mycorhize à arbuscule

mg : Milligramme

ml : Millilitre

mM : Concentration massique

NF : Nombre de feuilles formées

nm : Nanomètre

PF : Poids frais

PS : Poids sec

S : Sable

TG : Taux de germination

V : Volume

μg/g : Microgramme par gramme.

Liste des figures

Figure 1: Carte de repartition du cypres de l'atlas dans la region marrakech-tensift-alhaouz.	7
Figure 2 : Coupes des bois	11
Figure 3: Surpaturage entravant la regeneration naturelle	11
Figure 4: Conduite des plantules du cypres de l'atlas sous serre	31
Figure 5: Effet du stress salin sur le pourcentage de germination des graines du cypres de l'atlas, apres 22 jours de culture	40
Figure 6: Observation a la microscopie optique des racines colonisees par l'isolat fongique ma	41
Figure 7: Effet du compost sur la hauteur aerienne des plants de cypres de l'atlas.	41
Figure 8: Effet du compost sur le nombre des feuilles produits chez le cypres de l'atlas	42
Figure 9 : Effet de la mycorhization sur la hauteur aerienne (a) et le nombre des feuilles emises (b) du cypres de l'atlas apres 5 mois e culture	43
Figure 10 : Effet la mycorhization et du compost sur la hauteur aerienne du cypres de l'atlas	43
Figure 11 : Effet du compost sur le nombre des feuilles produites chez le cypres de l'atlas	44
Figure 12 : Effet de la mycorhization sur la croissance du cypres de l'atlas amende a 5% du compost	44
Figure 13: Effet de la salinite sur la hauteur aerienne du cypres de l'atlas.	45
Figure 14: Effet de la salinite sur le nombre de feuilles formees du cypres de l'atlas.	45
Figure 15: Effet de stress salin sur le poids frais aérien (a) et le poids sec aérien du cyprès de l'atlas face aux différents traitements appliqués	46

Liste des tableaux

tableau 1 : Parametres physico-chimiques du substrat de culture utilise	38
tableau 2: Granulometrie du sol utilise.	39
tableau 3 : Les teneurs en sucres solubles et en proline des parties aeriennes du cypres en fonction des differents traitements appliqués	47

SOMMAIRE

I.	APERÇU SUR L'ÉCOLOGIE DU CYPRES DE L'ATLAS	4
1.	INTRODUCTION.....	4
2.	GENRE CUPRESSUS.....	4
3.	CARACTERISTIQUES, INTERETS ET CONTRAINTES DU CYPRES DE L'ATLAS.	5
3.1.	<i>Caractéristiques botaniques et morphologiques.....</i>	5
3.2.	<i>Aire de répartition naturelle.....</i>	6
3.3.	<i>Caractéristiques écologiques, phytoécologiques et phytosociologiques.....</i>	7
3.4.	<i>Importance socio-économique</i>	9
3.5.	<i>Dendrométrie</i>	9
3.6.	<i>Biomasse et productivité.....</i>	10
3.7.	<i>Régénération du cyprès de l'Atlas</i>	10
3.8.	<i>Contraintes liées à la conservation et au développement de la Cupressaie.....</i>	12
3.9.	<i>Conservation des ressources génétiques du Cyprès de l'Atlas.....</i>	12
II.	LA SALINITE ET SON IMPACT SUR LES CULTURES.....	13
1.	GENERALITES SUR LA SALINITE	13
2.	LA SALINITE A L'ECHELLE DU MAROC	14
3.	LE COMPORTEMENT DES VEGETAUX EN MILIEU SALIN.....	14
4.	IMPACT DE LA SALINITE SUR LES CULTURES	14
5.	EFFET SUR LA GERMINATION	15
6.	ACTION DU SEL SUR LA CROISSANCE ET LE DEVELOPPEMENT	16
7.	MECANISMES DE RESISTANCE A LA SALINITE	16
III.	LA SYMBIOSE MYCORHIZIENNE	18
1.	DEFINITION	18
2.	TYPES DE MYCORHIZES	19
2.1.	<i>Les ectomycorhizes.....</i>	19
2.2.	<i>Les endomycorhizes.....</i>	19
2.2.1.	<i>Les mycorhizes à pelotons</i>	20
2.2.2.	<i>Les mycorhizes à arbuscules</i>	20
2.3.	<i>Les ectendomycorhizes</i>	20
3.	ROLE DES CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS.....	21
4.	EFFET DE MYCORHIZATION SUR LA CROISSANCE DES PLANTES SOUS UNE CONTRAINTE SALINE	22
IV.	LE COMPOSTAGE	23
1.	PROCESSUS DU COMPOSTAGE	23
1.1.	<i>Définition</i>	23
1.2.	<i>Les objectifs du compostage.....</i>	24
2.	PARAMETRES DU COMPOSTAGE	24
2.1.	<i>Humidité</i>	24
2.2.	<i>Température</i>	24
2.3.	<i>Oxygène</i>	25
2.4.	<i>Rapport C/N.....</i>	25
2.5.	<i>pH</i>	26

3.	ASPECT MICROBIOLOGIQUE DU COMPOSTAGE	26
4.	EFFETS PHYSICO-CHIMIQUES DU COMPOST SUR LES SOLS ET LES PLANTES	26
V.	CONTEXTE ET OBJECTIFS DE NOTRE TRAVAIL	27
I.	MATERIEL ET METHODES	29
1.	CONDUITE DES ESSAIS	29
1.1.	<i>Matériel végétal</i>	29
1.2.	<i>Substrat de culture</i>	29
1.3.	<i>Test de germination des graines du cyprès de l'Atlas.....</i>	29
1.4.	<i>Application des traitements et conditions de culture</i>	30
1.5.	<i>Techniques de mycorhization</i>	31
2.	PARAMETRES MESURES	32
2.1.	<i>Paramètres physico-chimiques du substrat de culture utilisé</i>	32
2.1.1.	Granulométrie.....	32
2.1.2.	Mesure de pH	32
2.1.3.	Conductivité électrique.....	32
2.1.4.	Carbone organique total.....	33
2.1.5.	Azote total Kjeldahl.....	33
2.1.6.	Phosphore assimilable	33
2.2.	<i>Détermination des paramètres d'ineffectivité des champignons mycorhiziens</i>	34
2.3.	<i>Paramètres de croissance mesurés au niveau du cyprès.....</i>	34
2.3.1.	Paramètres morphologiques	35
2.3.2.	Production de biomasse	35
2.3.3.	Paramètre biochimiques.....	35
2.3.3.1.	Dosage des sucres solubles totaux.....	35
2.3.3.2.	Dosage de la proline.....	36
2.4.	<i>Analyse statistique</i>	36
I.	ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES DU SUBSTRAT DE CULTURE.....	38
1.	PARAMETRES PHYSICOCHIMIQUES	38
1.1.	<i>Granulométrie</i>	39
II.	TEST DE GERMINATION EN FONCTION DES TRAITEMENTS SALINS.....	39
III.	PARAMETRES D'INEFFECTIVITE.....	40
IV.	PARAMETRE DE CROISSANCE CHEZ LE CYPRES DE L'ATLAS	41
1.	EFFET DU COMPOST SUR LA CROISSANCE DU CYPRES DE L'ATLAS	41
2.	EFFET DE LA MYCORHIZATION ET DU COMPOST SUR LA CROISSANCE DU CYPRES DE L'ATLAS	42
3.	EFFET DU STRESS SALIN SUR LA CROISSANCE DU CYPRES MYCORHIZE ET AMENDE AU COMPOST	44
4.	EFFET DE LA CONTRAINTE SALINE SUR LA TENEUR EN PROLINE ET EN SUCRE SOLUBLE DE CYPRES MYCORHIZE ET AMENDE AU COMPOST.....	47
	DISCUSSIONS ET CONCLUSION	49
	PERSPECTIVES	51

CETTE ETUDE PRELIMINAIRE, SUR LES CAPACITES D'ADAPTATION DU CYPRES DE L'ATLAS AUX DIFFERENTES CONTRAINTES, OUVRE DES PERSPECTIVES POUR COMPLETER CE TRAVAIL DE RECHERCHE :.....	51
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	52

INTRODUCTION GENERAL

Au Maroc les Cupressacées, en particulier *Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters, *Juniperus thurifera* L. subsp *africana* Maire, *Juniperus phoenicea* L., *Juniperus oxycedrus* L. et *Cupressus atlantica* G., jouent un rôle primordial dans les zones de montagnes sèches aussi bien pour leurs rôles écologiques que pour leurs importances socio-économiques au profit des populations riveraines.

En effet, ces formations forestières naturelles jouent un rôle écologique important puisqu'elles représentent l'un des derniers remparts aux processus d'érosion et de désertification. Parmi ces essences, le cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica* Gaussen) constitue l'espèce endémique du Haut Atlas Occidental la plus importante pour ces potentialités forestières.

Le cyprès de l'Atlas est une espèce qualifiée comme très rustique avec une grande adaptation aux terrains stériles en zone semi-aride à variante froide (Alifriqui, 1992). Sur le plan socio-économique, le bois très dur du cyprès de l'Atlas est très apprécié par la population riveraine comme bois d'œuvre (charpente de maison). Également, le feuillage du cyprès de l'Atlas constitue un très bon fourrage pour les caprins essentiellement en période de disette. En 1977, Bellefontaine considérait le cyprès de l'Atlas comme une «espèce méconnue et vitale pour l'économie montagnarde du bioclimat semi-aride froid». Nos connaissances sur cette espèce restent toujours limitées et son aire de répartition ne cesse de régresser sous l'effet conjugué de l'exploitation abusive et du vieillissement des populations (Ech-chamikh, 1983 et Alifriqui, 1992). Ce processus de dégradation est d'autant plus amplifié que le peu de sol qui reste et le passage répété des troupeaux ne permettent presque aucune régénération naturelle sur ces versants du Haut Atlas Occidental vigoureusement ensoleillés et irrégulièrement arrosés. En raison de ces conditions et de l'ampleur de sa régression, le cyprès de l'Atlas est classé depuis les années 70 comme une espèce menacée (F.A.O, 1979). Cette espèce n'est représentée actuellement que par quelques îlots fortement dégradés localisés essentiellement dans la vallée de l'oued N'Fis à l'exception de la forêt d'Aghbar située à 148km de la ville de Marrakech (Alifriqui, 1992; El Wahidi, 2004).

Dans ces zones, les plantes sont confrontées à plusieurs types de stress. La rareté des eaux, leur salinité et celle des sols sont parmi les principaux facteurs limitant la productivité végétale. La salinisation est le processus majeur de la dégradation des terres. En moyenne, le monde perd 10 hectares de terres cultivables par minute, dont 3 hectares à cause de la salinisation. 10 à 15% des surfaces irriguées (20 à 30 millions d'hectares) souffrent, à des degrés divers, du problème de salinisation (Mermoud, 2006).

Au Maroc, qui offre toutes les variantes du climat méditerranéen, n'échappe pas à ce phénomène, où la sécheresse, observée depuis longtemps a conduit manifestement au

processus de salinisation des sols. Ces deux contraintes naturelles, sécheresse et salinité, ont modifié la stabilité des écosystèmes et sont en grandes partie les causes principales de la désertification des sols.

Face à cette situation, la contribution à la sauvegarde de cette essence forestière devient une nécessité voir même une urgence. La contribution à la sauvegarde de cette espèce nécessite une meilleure connaissance de ses potentialités ainsi des techniques d'amélioration de résistance vis-à-vis des contraintes précitées. Ces connaissances seront une force dans tout programme de sauvegarde de cette espèce aussi bien pour sa conservation in situ que par sa plantation dans des vergers ou dans des parcs à l'extérieur de son aire de répartition naturelle. Dans cette optique, nous nous proposons l'utilisation des champignons mycorhiziens autochtones afin d'améliorer les paramètres de croissances et physiologiques du cyprès de l'Atlas. Certains travaux ont montré l'effet positif de la mycorhization sur la tolérance des plantes soumises à la salinité (El Hadji, 2012 ; Ben Khaled, 2003).

Aussi, nous viserons également l'utilisation de composts autochtones combinés à la mycorhization pour tester leur rôle dans la croissance et le développement du cyprès de l'Atlas. Les composts améliorent les caractéristiques physiques et chimiques des sols, créent des conditions favorables pour la croissance des plantes grâce à leur matière organiques, humus et matières minérales disponibles (Mrabet, 2011 ; Fuchs, 2009).

Par ailleurs, le mémoire présenté traite trois grands volets :

- ❖ Le premier est consacré à une recherche bibliographique détaillée sur le cyprès de l'Atlas, notamment ses exigences édapho-climatiques, ses intérêts écologiques et socio-économiques ainsi que les différents modes de sa propagation. Cette partie traite aussi le comportement des plantes vis -à-vis du stress salin.
- ❖ Le second volet concerne l'étude expérimentale comprenant une description détaillée du matériel utilisé et les différentes techniques expérimentales adoptées relatives à la préparation des plants du cyprès de l'Atlas, à l'application du test de germination et du stress salin ainsi qu'à l'amendement du substrat de culture par du compost et de champignons mycorhiziens sélectionnés et natifs.
- ❖ Le troisième volet concerne la partie des résultats et discussions qui reflète les effets des techniques agro-écologiques et du stress salin sur les paramètres physiologiques, de croissance et certains paramètres biochimiques du cyprès de l'Atlas (teneurs en protéines, en proline libre et en sucres solubles).

CHAPITRE I: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Aperçu sur l'écologie du cyprès de l'Atlas

1. Introduction

Au Maroc, les cupressacées notamment le Thuya, les Genévriers et le Cyprès de l'Atlas constituent la majorité des formations forestières et pré-forestières en zone montagneuse sèche. Ces formations sont d'une très grande importance sur les plans écologiques et économiques, mais aussi à travers leur rôle de protection contre les processus de désertification et d'érosion, très dynamiques dans ces régions (El Wahidi, 2004).

En effet, le cyprès de l'Atlas constitue l'espèce endémique du Haut Atlas Occidental la plus importante pour ces potentialités forestières.

2. Genre Cupressus

Le genre Cupressus a une extension importante dans le monde mais discontinue (Ouahmane, 2007). Il est l'un des genres de l'élément tertiaire. Il comprend une vingtaine d'espèces (Gellini, 1979). La taxinomie de ce genre pose un problème; faute de critères objectifs suffisants d'une part et de la proximité et des liens de parenté entre ses différentes espèces d'autre part. Ces ressemblances s'accroissent à l'intérieur des différents groupes géographiques du genre cupressus (Allemand, 1979).

Son aire de répartition se trouve en zone tempérée chaude de l'hémisphère Nord (Arbez, 1987). Il est présent dans la région circum-méditerranéenne, en Iran, en Grèce, en Tunisie, en Algérie et au Maroc. D'autres peuplements sont signalés en Amérique et en Asie tels que les cyprès Chinois et Himalayens. Plus de 25 taxons du genre Cupressus sont dénombrés (Allemand, 1979). La majorité des espèces du genre Cupressus ont une aire d'origine très restreinte sous forme d'îlots résiduels. Trois groupes géographiques ont été nettement différenciés (Allemand, 1979) notamment :

- Le groupe américain (Californie, Arizona, Mexique) est le plus varié avec une quinzaine d'espèces dont *C. arizonica* Greene, Bull, *C. lusitanica* Miller et *C. macrocarpa* Hartweg.
- Le groupe asiatique, encore mal connu, est sans doute le plus répandu, territorialement. Il s'étend au sud de l'Himalaya et en Chine et il comprend cinq espèces dont certaines sont bien développées telle que *C. torulosa*, *D. Don* ou à port très ornemental comme *C. cashmeriana*.

- Le groupe afro-méditerranéen est surtout représenté par *C. sempervirens* L et ses formes botaniques et deux autres espèces très voisines à savoir *C. atlantica* et *C. dupreziana* A.Camus. Selon Kadik (1988), ces trois espèces sont probablement originaires d'un même ancêtre.

3. Caractéristiques, intérêts du cyprès de l'Atlas.

Le Cyprès de l'Atlas est appelé « Azal » en berbère, « Saraou » en langue arabe et « Arar » en dialecte (Larbi et Belgherbi, 2007). Le cyprès de l'Atlas (*C. atlantica*) est découvert par Watier en 1921 dans la vallée de l'Aghbar. Le cyprès du Haut Atlas occidental marocain n'est différencié du cyprès toujours vert (*C. sempervirens*) qu'en 1950 par Gaussen (Bellefontaine, 1979). Il s'est avéré ensuite que le cyprès de l'Atlas (*C. atlantica*) est une espèce endémique du Haut Atlas occidental au sud de Marrakech (Quezel et Barbero, 1981). Il se localise dans les zones les plus internes de cette chaîne montagneuse. Sa répartition est liée essentiellement aux conditions climatiques et géomorphologiques (Arjouni et *al.*, 2013). C'est un arbre robuste, qui tolère les conditions les plus extrêmes (physiques, édaphiques, climatiques et topographiques).

C. atlantica est classé parmi les 17 espèces forestières mondiales dont le patrimoine génétique s'appauvrit (FAO, 1976). Cette situation est largement due à sa faible régénération naturelle couplée avec une grande pression anthropozoïque et avec la dégradation de l'habitat (Sfairi et *al.*, 2012).

3.1. Caractéristiques botaniques et morphologiques.

C'est un arbre de 25 m de hauteur et d'un mètre de diamètre. Il peut atteindre 40 m de hauteur et 2,5 à 4 m de diamètre dans les stations les plus fertiles (Larbi et Belgherbi, 2007) avec une forme conique au tronc droit et élancé. Le port est légèrement pleureur avec une écorce mince au départ lisse puis prend une couleur gris-brune, fissurée longitudinalement. Les rameaux du 1^{er} et 2^{ème} ordre sont distincts. Les pousses du premier ordre sont légèrement aplaties en coupes, très fines (diamètre 0,5 mm). Dans son aire de répartition naturelle, le cyprès de l'Atlas présente une grande variabilité phénotypique. Les critères morphologiques présentant une forte variabilité sont la forme générale plus au moins élancé, l'angle d'insertion des branches, la taille et la forme des cônes, la couleur du feuillage et le port des branches (Nanson, 1986).

Les cônes du cyprès de l'Atlas ont généralement une forme sphérique et petite (1,8 à 2,2 cm) formés de 8 à 12 écailles en comparaison à ceux de *C. sempervirens* qui sont beaucoup plus gros et ovoïdes (Bellefontaine, 1977c). L'aspect général du feuillage est fin et légèrement glauque, en particulier chez les jeunes arbres (De Ferre, 1941). Les branches sont fines plus ou moins longues et légèrement horizontales (Destremau, 1974 et Bellefontaine, 1977a).

3.2. Aire de répartition naturelle.

L'aire naturelle de cyprès d'Atlas forestière est comprise entre 30° 45' et 31° 5' de latitude nord et 8° 5' et 9° de longitude ouest (Arjouni et *al.*, 2013) ; où il occupe principalement la haute vallée de l'Oued N'fis et constitue par endroit des peuplements magnifiques avec de vieilles futaies peu dégradées (Figure 1). Cette espèce est représentée par plusieurs peuplements et un certain nombre d'arbres isolés (Bechir, 2004). On retrouve des îlots bien maintenus aux alentours des postes forestiers d'Idni et d'Aghbar et sur les versants dont l'accessibilité est ardue. À côté de la forêt d'Aghbar, le cyprès de l'Atlas peut se retrouver dans d'autres régions à savoir dans la station d'Allous (Assif Ougdemt), à Taghzout (Assif N'aït Toumat) et à Mzouzit (Oued N'Fis). Les superficies de ces peuplements sont très restreintes. Au-delà de la vallée de N'Fis, le cyprès de l'Atlas s'étend aussi sur des petits peuplements isolés du versant sud du Haut Atlas en limite avec la plaine du Souss, ce qui indique que son aire de répartition était probablement plus étendue que son occupation actuelle. Au cours des dernières années, le cyprès de l'Atlas a connu une régression alarmante sous l'effet conjugué d'une forte pression humaine (coupe de bois, pâturage, mutilation...etc.) et d'une dégradation des conditions naturelles de son aire naturelle. Dans les années 1970, le Cyprès atlasique couvrait environ 7 000 ha au total, avec plusieurs populations relictuelles reconnues (Destremau, 1974), mais son aire a régressé très rapidement à moins de 1 500 ha (Ech-chamikh, 1983 ; Barbero et *al.*, 1990).

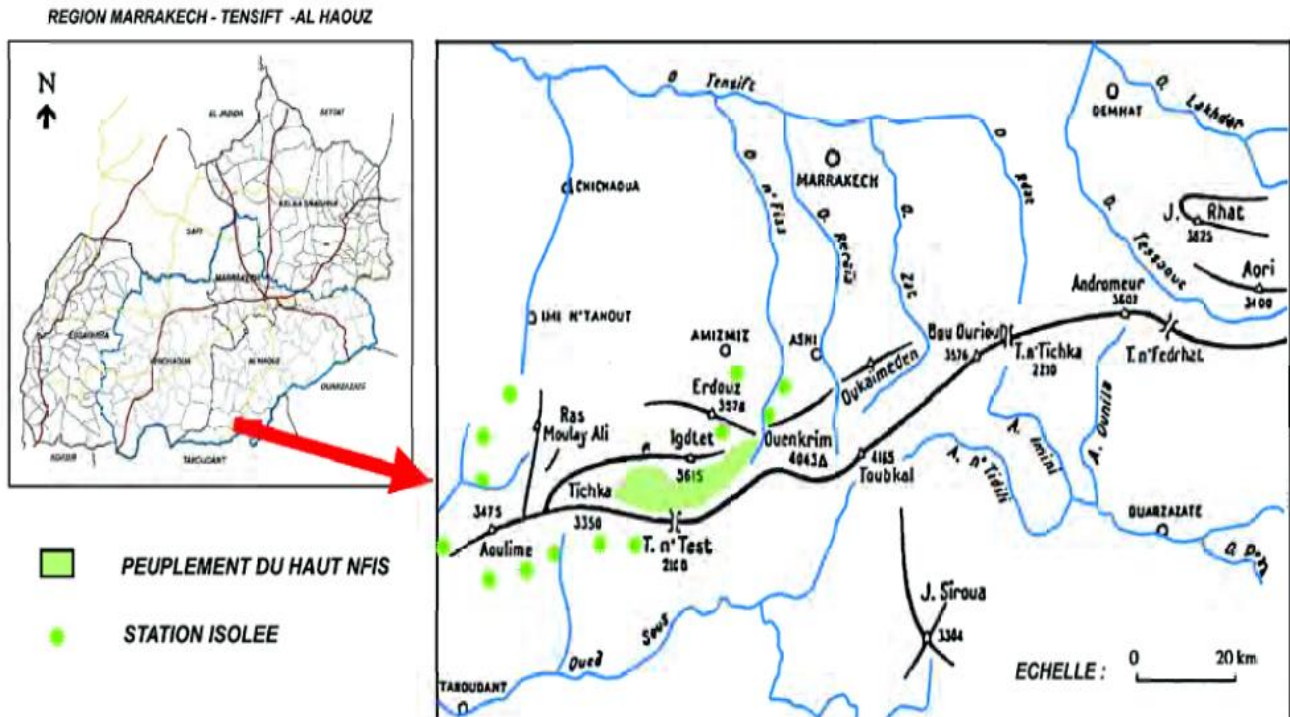


Figure1: Carte de répartition du cyprès de l'Atlas dans la Région Marrakech-Tensift-Alhaouz. (Alifriqui *et al.*, 1992).

3.3. Caractéristiques écologiques, phytoécologiques et phytosociologiques

Le Cyprès de l'Atlas organise l'un des grands types d'écosystèmes naturels du Maroc. Cette espèce endémique marocaine individualise des formations pré-steppiques localisées dans la haute vallée du N'Fis dans le Haut Atlas Occidental (Benabid, 2000). Le cyprès de l'Atlas est une espèce longévive et pourrait atteindre 800 à 1000 ans (Alifriqui, 1993). La majorité des arbres sont âgées (250 à 500 ans) (Sfairi, 2014).

Du point de vue altitudinal, le Cyprès colonise la tranche entre 1100 m et 2200 m c'est à dire au niveau supérieur de l'étage thermoméditerranéen et en ambiance bioclimatique semi-aride et localement subhumide à variante froide. Ses exigences climatiques peu précisées, faute de stations météorologiques, le Cyprès s'accommode d'une température minimale de -10°C et vraisemblablement de -15°C à 2200 m, et d'un maxima, par temps chergui (vent sec de l'Est), de plus de 35°C à 40°C .

Du point de vue groupements végétaux dans la forêt de l'Aghbar, le cyprès de l'Atlas se présente sous forme de peuplements purs ou mélangé au chêne vert (F.I.D.A., 2004) à des niveaux altitudinaux supérieurs, au genévrier rouge (*Juniperus phoenicea*) et au genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*) qui deviennent plus fréquents.

Vers la limite inférieure de son territoire il entre en contact avec le thuya (*Tetraclinis articulata*) et sur le versant Sud, principalement avec l'aire de l'Arganier (*Argania spinosa*) et du thuya.

Cependant, sur le plan phytoécologique et phytosociologique, le cortège floristique du cyprès de l'Atlas est identique à celui de la *Juniperaie* (*Juniperus phoenicea*) et à celui des chênaies vertes semi-internes avec la prédominance des chaméphytes méditerranéens (*Globularia alypum*, *Thymus satureioides* et *Lavandula dentata*) (Achhal, 1986).

Le Cyprès de l'Atlas est incontestablement l'élément floristique le plus remarquable sinon l'unique qui permet de différencier la Cupressaie sur les plans physionomique et floristique (Benabid, 2000). De point de vue climatique et bioclimatique, le cyprès de l'Atlas peut être classé principalement dans l'étage semi-aride et occasionnellement dans l'étage semi-aride à hiver froid. Il peut s'étendre jusqu'au niveau supérieur de l'étage thermo méditerranéen avec une ambiance bioclimatique semi-aride et localement subhumide à variante froide. Néanmoins, le cyprès de l'Atlas peut se retrouver dans plusieurs étages de végétation incluant le méso-méditerranéen, le méditerranéen supérieur et le montagnard méditerranéen inférieur à variante semi-aride et subhumide inférieur du domaine semi-interne (Peyre, 1983; Alifriqui, 1986 et Alifriqui et *al.*, 1992). Dans la partie Sud-ouest de la forêt de Goundafa, le cyprès de l'Atlas est en contact avec les grandes surfaces asylvatiques occupées actuellement par des Génistaies arbustives endémiques et constitue un climat bien individualisé (MCEFCS, 1999). Sur le plan des précipitations, Boudy (1950) estime que la tranche pluviométrique nécessaire au développement du cyprès de l'Atlas est comprise entre 250 et 350 mm/an. Au-delà de 1600m une fraction importante des précipitations tombent sous forme de neige. La saison pluvieuse s'étend de Novembre, Décembre jusqu'au Avril, Mai et semble être divisée en deux périodes avec un maximum en hiver et un deuxième au printemps. La saison sèche est de six mois de Mai à Octobre. Sur le plan édaphique, le cyprès de l'Atlas est une espèce xérophile, très plastique de tempérament robuste et possède une grande faculté d'adaptation aux conditions physiques les plus difficiles. Cependant, l'espèce croît rapidement sur sol profond. On le rencontre naturellement sur les schistes primaires, sur les terrains granitiques, les terrains éruptifs, et sur les sols cristallins (Boudy, 1950). Toutefois, les meilleurs accroissements et taux de survie sont enregistrés sur les sols argileux dans la plantation d'introduction d'Aïn felfel (Jebbar et *al.*, 1972).

3.4. Importance socio-économique

Le Cyprés de l'Atlas est une espèce qui pousse dans les conditions les plus marginales de la région méditerranéenne. Cette espèce endémique, adaptée aux conditions sévères de xérophile, constitue incontestablement l'une des espèces nobles du pourtour méditerranéen. En plus de cette importance naturelle et patrimoniale, les formations du cyprés jouent un rôle de conservation particulièrement important dans la protection des habitats écologiques et des sols (lutte contre l'érosion) dans une zone susceptible à l'érosion (pente longue et raide, terrain accidenté, continentalité importante...). Dans ces conditions difficiles, le Cyprés de l'Atlas, espèce ligneuse, présente de nombreuses qualités que l'on peut résumer comme suit :

- Son bois durable, parfumé, a toujours été recherché pour son fût droit et rectiligne utilisé comme madriers et soliveaux. Les petites perches sont destinées pour la confection et l'aménagement des maisons.
- En comparaison à d'autres résineux comme le Thuya (*Tetraclinis articulata*) et le Pin d'Alep (*Pinus halepensis*), le Cyprés de l'Atlas révèle un accroissement appréciable jusqu'à 6 m³/ha/an (Destremeau et Tahri, 1972).
- Utilisation double de son feuillage : d'une part comme source fourragère pour le cheptel constitué principalement de caprins. D'autre part, il est utilisé en médecine traditionnelle. On pratique, également, des massages du dos avec ce feuillage imbibé d'eau. En outre, la décoction des cônes est employée, notamment dans cette vallée, comme anti-diarrhéique et antihémorragique (El Alaoui El Fels, 2007 et El Alaoui El Fels et Alifriqui, 2009).
- Il faut ajouter aussi, sa servitude en tant que bois de feu pour la cuisson et le chauffage en hiver.

3.5. Dendrométrie

Boudy (1950) estime l'accroissement moyen annuel en circonférence du cyprés de l'Atlas dans son aire naturelle, à 3 cm entre 0 et 15 ans, à 1 cm entre 15 et 250 ans et à 0,7 cm au-delà de 250 ans. Bellefontaine (1979) a signalé un accroissement de 0,9 cm pour les 320 premières années pour les arbres de circonférence comprise entre 1,5 et 2 m. Ces valeurs sont légèrement supérieures à celles obtenues par Al Ifriqui (1993).

3.6. Biomasse et productivité

De point de vue productivité, Jebbar et *al.* (1972) indiquent que les meilleurs taux de croissance de cet arbre sont réalisés sur des sols argileux, avec des pourcentages de survies importants. Le cyprès de l'Atlas est une espèce à croissance lente et dont les rendements ne peuvent pas dépasser 2m³/ha/an (Destremeau et Tahri, 1972). Bellefontaine (1979) a étudié la productivité du cyprès de l'Atlas dans les secteurs d'introduction et a constaté que celle-ci varie de 2 à 6 m³/ha /an durant les 15 à 30 premières années.

Selon Ech-Chamikh (1983), les arbres abattus montrent 3 phases de croissance: une première phase de croissance (démarrage) qui dure jusqu'à l'âge de 40 ans, une deuxième phase de pleine croissance (vitesse de croissance maximale) entre 40 et 60 ans, et une troisième phase de ralentissement de la croissance qui débute vers 60 ans. A l'âge de 70 ans, on peut estimer que l'accroissement moyen annuel en hauteur est de l'ordre de 17,14 cm/an (Ouahmane, 2007).

3.7. Régénération du cyprès de l'Atlas

Boudy en 1950, a remarqué que dans l'aire du cyprès de l'Atlas les taches de semis ne sont pas rares, ceci prouvait, selon lui, que le cyprès se régénérât facilement s'il était protégé et c'est le Chêne vert qui formait à l'époque son sous-bois et favorisait sa régénération. L'auteur a remarqué qu'à l'époque, la régénération du cyprès de l'Atlas était plus facile que celle du genévrier de Phénicie.

Actuellement, la coupe de bois (Figure 2) et le surpâturage (Figure 3), sont à l'origine de l'ouverture des peuplements et l'installation de l'érosion qui devient de plus en plus importante dans ces 10 massifs montagneux très accidentés (Ouahmane, 2007). Cette érosion a contribué à la disparition de la couche de sol formée lors de la phase de l'équilibre naturel. Les graines de cyprès de l'Atlas mures tombent et sont certainement entraînées par l'eau.



Figure 2 : coupes des bois



Figure 3: Surpâturage entravant la régénération naturelle

Le vieillissement des peuplements de cyprès d'Atlas s'accompagne d'une absence constatée de régénération naturelle (Bachir et *al.*, 2004). En raison de conditions écologiques peu favorables, l'érosion du sol et les pressions anthropiques persistantes s'exprimant par le prélèvement de bois et par le pâturage menacent le cyprès de l'Atlas est aujourd'hui une espèce (FAO, 1976). Quelques régénérations apparaissent au fond des ravins car dans ces milieux, on trouve des dépôts de sol ou de mélange de cailloux avec du sol. L'humidité du substrat est assurée par les dépôts et par les écoulements d'eau. Sur le cyprès de l'Atlas, six espèces d'insectes et une espèce d'acarien ont été inventoriés (El Fels et *al.*, 1999). Certaines espèces s'attaquent aux tissus des cônes et des graines (conospermatophages), d'autres s'attaquent seulement aux graines (conophages). L'auteur a observé une synchronisation entre la période d'attaque des ravageurs et les différentes phases de développement des cônes ce qui confère aux ravageurs une grande efficacité dans leur intervention.

La forêt du cyprès de l'Atlas est caractérisée par une omniprésence des coupes et des mutilations et 59,9 % des arbres présentent au moins une tige coupée au peuplement Taous (Mounir, 1997), ce qui est très grave pour une forêt qui ne se régénère pas. Des estimations sont montrées que les pertes en bois s'élèvent à 38,95 % et peuvent dans certains cas atteindre 60 à 70 % (Ouahmane, 2007).

3.8. Contraintes liées à la conservation et au développement de la Cupressaie

La Cupressaie est une forêt en voie de disparition. Ce phénomène de régression est du non seulement à l'action de l'homme et ses troupeaux, mais aussi à l'absence d'informations scientifiques susceptibles d'aider les gestionnaires à bien conduire le renouvellement, la conservation et l'amélioration de cette espèce (El Wahidi, 2004).

➤ Contraintes liées à la régénération naturelle

La régénération naturelle du Cyprès s'installe facilement, mais elle est compromise par la pression du bétail. Les jeunes semis sont exposés à la dent du bétail, composé essentiellement de caprins, ou détruit par piétinement. Il en resterait quelques-uns qui arrivent à s'enraciner et à se développer sous forme de touffes caractéristiques des sujets broutés. Il est à signaler que la régénération naturelle s'installe aisément aux alentours des ravins et "chaabas", où les conditions stationnelles sont favorables :

- Existence d'un dépôt de sol ou d'un mélange cailloux – éléments fins ;
- Rétention d'humidité par les dépôts et par écoulement d'eau pendant une période non négligeable de l'année;
- Présence de strates herbacées et arbustives qui protègent les jeunes plants du bétail et de la rigueur de l'été.

➤ Contraintes antropozoogènes

Les formations à Cyprès de l'Atlas sont souvent soumises à des pressions antropozoogènes qui dépassent leur capacité de reconstitution, conjuguées aux conditions difficiles de la zone. Ces deux facteurs ont conduit, dans la majorité des cas, à un état de dégradation très grave. Seules des mesures urgentes de protection par des clôtures limitant l'exploitation de ces formations, et une gestion durable des parcours par l'instauration d'un système d'utilisation rotatif des parcours et des transhumances pourraient empêchées cette irréversible dégradation.

3.9. Conservation des ressources génétiques du Cyprès de l'Atlas

Pichot (1995) a trouvé une large variabilité phénotypique au niveau des populations naturelles de cyprès de l'Atlas au Maroc pour les suivants caractères : couleur et forme du houppier, longueur relative des branches, angle d'insertion des branches, dimension et forme des cônes.

La conservation de la biodiversité in-situ de *C. atlantica* est recommandée dans les aires naturelles fortement menacées par l'activité humaine (surpâturage, déboisement, incendies). Les mesures suivantes devront être considérées:

- enquête sanitaire
- constitution des aires expérimentales entourées pour évaluer la production de bois et la régénération naturelle en contrôlant le surpâturage
- récolte des graines sur des candidates individuelles pour les tests de provenances et des descendances. Neuf surfaces de production de graines (total de 320 hectares) ont été définies en Maroc (Ighil, Ahachi, Taws, Idni, Oukoun, Ighzer, Rikt, Aghbar, Imin amas, Taghzout). Le site d'intérêt biologique et écologique d'Aghbar peut être considéré un exemple intéressant de conservation in-situ de la population naturelle du Cyprès de l'Atlas (El Fels, 2007).

La variabilité génétique ex-situ a été réalisée en installant des plantations conservatoires en conditions pédoclimatiques similaires (conservation dynamique) ou en stockant des graines (conservation statique). Ce dernier mode de conservation n'est pas conseillé car la structure génétique n'évolue pas avec les conditions de milieu (El Fels, 2007).

II. La salinité et son impact sur les cultures

1. Généralités sur la salinité

La salinité désigne la surcharge en sels minéraux solubles de l'eau d'irrigation ou de la solution du sol. Ces sels sont représentés en grande partie par la combinaison de trois cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} et Na^{+}) et trois anions (Cl^{-} , SO_4^{2-} et HCO_3^{-}). Dans certains cas, K^{+} et NO_3^{-} peuvent contribuer à la salinisation et lorsque le pH dépasse 9 le CO_3^{-} devient un anion important. En général, les chlorures de sodium (NaCl) sont les plus fréquents et représentent plus de 90 % des sels (Dudley, 1994).

On définit en général deux types de salinité: la salinité primaire et la salinité secondaire. La première résulte de la présence initiale de sels dans le sol ou dans la nappe phréatique. La seconde résulte des apports de l'eau d'irrigation (Lacharme, 2001).

La salinisation enregistrée dans les écosystèmes aride et semi-aride, constitue un facteur limitant pour la production agricole. En effet, elle affecte environ 22% de la superficie totale dans le monde (Ben-Salah *et al.*, 2011). Au Maghreb, plus de 30 % des eaux destinées à l'irrigation sont chargées en sel. Ces eaux induisent une accumulation d'ions toxiques aussi bien dans la rhizosphère que dans les différentes parties de la plante.

Ces ions engendrent des dégâts au niveau des ultras structures cellulaires contribuant, à la fois, à la réduction de la croissance et des rendements des variétés sensibles (Rahmoune *et al.*, 2008).

2. La salinité à l'échelle du Maroc

Au Maroc, le problème de salinité commence à prendre de l'ampleur dans la majorité des périmètres irrigués (Ibriz *et al.*, 2004), la salinité a affecté de nombreuses nappes des principales zones agricoles telles que Souss Massa, Moulouya, Gharb Tafilalet, Loukous, Tadla, Doukkala et Haouz, et elle a aussi affecté quelques oueds (Oum er Rbia dans le Tadla, El Malh à Ouarzazate...). En général le phénomène continuerait à s'aggraver. La concentration en sels augmente et les zones atteintes s'étendent. Il y a des effets dommageables très rapides sur les sols, les cultures et l'hydrobiologie. Dans plusieurs régions, les concentrations salines ont atteint des valeurs qui les rendent non appropriées à l'irrigation (Farissi, 2013).

3. Le comportement des végétaux en milieu salin

En s'exposant à un environnement salin les plantes rencontrent trois problèmes (Ghoulam et Fares, 2001; Ashraf et Sarwar, 2002 ; Ashraf *et al.*, 2005 et Munns, 2006):

- ❖ La sécheresse physiologique : l'augmentation de la concentration en sels de la solution du sol entraîne la réduction du potentiel osmotique et l'eau devient moins disponible pour la plante.
- ❖ Les ions salins peuvent causer des toxicités et des déficiences nutritionnelles pour la plante. Ces ions peuvent interférer avec les processus physiologiques et biochimiques de la plante à cause de leurs accumulations en grandes quantités.
- ❖ Les ions responsables de la salinité entrent en compétition avec d'autres ions indispensables à la croissance et le développement de la plante et par conséquent on assiste à l'apparition des carences et des déséquilibres importants.

4. Impact de la salinité sur les cultures

Dans les zones arides et semi-arides, notamment au sein du bassin méditerranéen, la salinisation du sol est régie par des facteurs naturels tels que les fortes évaporations qui s'associent souvent au déficit hydrique, et d'autres causés par les activités humaines tels que le régime hydraulique, le surpâturage, la déforestation dans les zones humides et subhumides et la contamination chimique (fertilisants).

Son impact néfaste se traduit par la conjonction d'un effet indirect sur le potentiel hydrique se traduisant par une réduction de la disponibilité de l'eau pour la plante et également par la toxicité et les perturbations de la nutrition minérale induite par l'excès des ions Na^+ et Cl^- (Zhu, 2001). En effet, la présence du NaCl dans le milieu de culture inhibe l'absorption des ions K^+ , Ca^{2+} , NO_3^- et NH_4^+ et renforce celle des ions salins, Na^+ et Cl^- qui s'accumulent jusqu'à devenir toxiques pour la plante (Moumane, 1999). L'effet dépressif du chlorure de sodium sur la croissance des plantes peut avoir deux origines : une diminution de l'absorption de l'eau et des éléments minéraux (effet osmotique) causant un déficit hydrique, et un effet de toxicité physiologique résultant d'une accumulation excessive des ions Na^+ et Cl^- dans la plante (Ashraf et *al.*, 2002) ou la combinaison de ces facteurs néfastes.

Les effets du sel se traduisent par un état de stress qui affecte négativement la croissance et par conséquent réduit le développement à plus de 50 % (Bray et *al.*, 2000). Les réponses des plantes à des concentrations excessives de NaCl sont compliquées et engendrent des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires (Wang et *al.*, 2003). Ces réponses ont été largement étudiées et font l'objet d'une littérature abondante décrivant et classant de manière systématique les nombreux effets de la salinité.

5. Effet sur la germination

La germination est régulée par des caractéristiques génotypiques mais aussi par les conditions environnementales et en particulier par la disponibilité de l'eau dans le sol et la présence de sel (Ndour et Danthu, 2000). Ainsi, la germination des graines est le stade le plus sensible aux stress salin et hydrique. On peut considérer que la plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leur phase de germination et de levée (Maillard, 2001). Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence du sel, la variation de l'équilibre hormonal a été évoquée (Debez et *al.*, 2001). Plusieurs auteurs ont montré un retard de la germination causé par la salinité chez plusieurs espèces (Ndour et Danthu, 2000), même chez des plantes halophytes (Debez et *al.*, 2001; et Rahmoune et *al.*, 2008). Des travaux effectués sur des halophytes ont montré que l'effet inhibiteur du NaCl sur la germination serait essentiellement de nature osmotique, le sel empêchant l'imbibition de la graine (Debez et *al.*, 2001).

La germination des plantes, qu'elles soient halophytes ou glycophytes, est affectée par la salinité. Selon l'espèce, l'effet dépressif peut être de nature osmotique ou toxique :

- Les effets osmotiques se traduisent par l'inaptitude des graines à absorber des quantités suffisantes en eau pour les ramener à leur seuil critique d'hydratation, nécessaire au déclenchement du processus de germination ;
- Les effets toxiques sont liés à une accumulation cellulaire de sels qui provoquent des perturbations des enzymes impliquées dans la physiologie des graines en germination, empêchent la levée de dormance des embryons et conduisent à une diminution de la capacité de germination (Rejili *et al.*, 2006).

6. Action du sel sur la croissance et le développement

Les effets de la salinité sur la croissance des plantes varient en fonction du type de salinité, de la concentration du sel, de l'espèce, de la variété, de l'organe de la plante, ainsi que de son stade végétatif (Levigneron *et al.*, 1995). Les effets de la salinité se manifestent principalement par une diminution de la croissance de l'appareil végétatif, caractérisé par la faible ramification, le faible diamètre des organes, le nombre réduit des nœuds et les réductions du nombre de feuilles et de la longueur de la tige et par conséquent l'augmentation du rapport racine/tige. Une baisse des poids de matières fraîches et sèches est aussi démontrée (Rush et Epstein, 1981). Cette inhibition de la croissance des plantes se fait selon trois manières principales : par une toxicité ionique (surtout de Na^+ et Cl^-), un stress osmotique et une perturbation nutritionnelle (Greenway et Munnis, 1980 et Levigneron *et al.*, 1995). Une réduction de la croissance de la partie aérienne est la première réponse observée des glycophytes à l'augmentation de la salinité au niveau des racines. Il s'agit de l'effet destructif le plus significatif en cas d'une exposition prolongée à la salinité.

Il s'est avéré aussi que les feuilles sont les tissus les plus sensibles de la plante à une salinité excessive, par contre la croissance des racines s'en trouve faiblement affectée (Benmahioul *et al.*, 2009). Ainsi, le chlorure de sodium inhibe la croissance des racines des glycophytes, qu'elles soient réputées très sensible à la salinité, moyennement sensible ou plutôt tolérantes (Lemzeri, 2006). Néanmoins, cette inhibition est généralement moins marquée que celle des parties aériennes. C'est ainsi qu'une concentration élevée de sodium (Na^+) et des chlorures (Cl^-) peut être toxique aux plantes et inhibent leur croissance (Greenway et Munnis, 1980).

7. Mécanismes de résistance à la salinité

Une plante cultivée sur sol riche en sel doit faire face à sa pénétration dans ses tissus celui-là est rejeté ou accumulé par les différents organes, tissus, cellules et compartiments cellulaires.

Les ions chlorure (Cl^-) et sodium (Na^+) pénètrent via les racines, transportés par la sève xylémique jusqu'aux tiges et feuilles. Là ils se trouvent soit stockés (plantes de type inclure), les feuilles sont riches en (Na^+) que les tiges et les racines et le mécanisme de tolérance au sel est dû à la compartimentation des ions toxiques en particulier l'ion sodium dans la vacuole ; soit au contraire ils sont très peu retenus dans leurs feuilles (plantes de type exclure) et cette accumulation décroît selon la séquence racines-tiges-feuilles et ces ions sont alors revéhiculés par la sève phloémique jusqu'aux racines (Levigneron *et al.*, 1995).

Trois types de comportement ont pour effet d'éviter la saturation en sel :

➤ **Inclusion et compartimentation des ions**

La compartimentation des ions entre les organes (racines/parties aériennes), les tissus (épiderme/mésophile), ou encore entre les compartiments cellulaires (vacuole/cytoplasme) est l'un des mécanismes d'adaptation à la contrainte salin (Ouerghi *et al.*, 1998). L'inclusion et la compartimentation est la stratégie la plus efficace pour éviter la toxicité de Na^+ sur des sites métaboliques dans le cytoplasme (Bouchoukh, 2010). La plante utilise en effet le sel pour ajuster la pression osmotique de ses cellules. Elle capte le sel qui parvient aux feuilles, au même titre que l'eau, par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux. À l'intérieur des cellules, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de "pompes" moléculaires. Les vacuoles étant des compartiments fermés au sein de la cellule, le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux (Sentenac et Berthomieu, 2003).

Aussi, la vacuole se chargerait-elle en sodium grâce à l'action d'un antiport sodium-proton Na^+/H^+ , lequel serait entretenu par le fonctionnement accéléré des pompes à proton Na^+/H^+ . L'existence d'un système d'échange Na^+/H^+ est largement signalé. Il est alors admis que c'est la performance de stocker le sel dans les parties aériennes qui est déterminante dans le niveau de tolérance au sel des espèces.

➤ **Exclusion**

La plante empêche le sel de remonter dans la sève jusqu'aux feuilles. La présence de l'endoderme dans les racines ainsi que le transport sélectif, leur permet d'absorber les ions nutritifs utiles et de ré-excréter les ions Na^+ (Genoux *et al.*, 2000).

Quelques halophytes peuvent empêcher l'absorption excessive du sel par son exclusion du sel au niveau des racines et de la partie inférieure de la tige.

Dans ce cadre, la sortie de Na^+ des vaisseaux du xylème en échange d'une entrée de K^+ venant des cellules parenchymateuses du xylème et du parenchyme avoisinant, joue un rôle important dans la tige et les racines (Luttge *et al.*, 2002).

➤ **Ajustement osmotique**

Face à l'augmentation des forces de rétention de l'eau dans un sol en cours de dessiccation, un ajustement osmotique peut se manifester, mais à des degrés variables, chez la plupart des végétaux. Les métabolites impliqués dans cet ajustement sont assez variés. Ces solutés ont des propriétés physiques et biologiques compatibles, même à forte concentration, avec les fonctions métaboliques (Tahri *et al.*, 1998).

L'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique. Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence. L'accumulation de ces composés a été mise en évidence chez plusieurs espèces végétales soumises à la contrainte saline. Cette accumulation varie dans de larges proportions suivant l'espèce, le stade de développement et le niveau de la salinité. Les différences d'accumulation des solutés (acides aminés libres, proline et sucres solubles totaux) entre les plantes témoins et les plantes soumises au stress salin sont très importantes (El midaoui *et al.*, 2007).

III. La symbiose mycorhizienne

1. Définition

Les mycorhizes sont constitués par l'association des racines des plantes avec des champignons du sol. Cette association ou symbiose mutualiste est bénéfique aux deux partenaires. Le champignon reçoit de la plante hôte les sucres et les acides aminés, qu'il ne peut synthétiser, indispensables à sa croissance et à son développement, et la plante voit sa nutrition minérale améliorée (surtout sa nutrition phosphatée) ce qui lui assure une meilleure croissance et une meilleure tolérance aux stress abiotiques et biotiques (Harley et Smith, 1983).

L'association symbiotique plante/champignon est très ancienne. Les mycorhizes sont apparues sur terre il y a environ 400 millions d'années pendant la période où sont apparus les végétaux terrestres (Simon *et al.*, 1993). Des structures fongiques montrant un mycélium non cloisonné ont été trouvées dans le fossile du dévonien *Rhynia*.

Puis des champignons plus évolués, à filaments cloisonnés, ont à leur tour établi des associations avec certains végétaux (Stubblefield et *al.*, 1987).

Les Symbioses mycorhiziennes ont donc co-évolué avec les plantes de temps ancestraux jusqu'à nos jours. Les symbioses mycorhiziennes sont considérées comme étant à l'origine de la flore terrestre (Selosse & Le Tacon, 1997).

2. Types de mycorhizes

Plusieurs types de mycorhizes sont distingués selon le partenaire fongique impliqué dans la symbiose et les caractéristiques anatomiques et morphologiques qui leurs sont propres (Smith et Read, 1997). On distingue les ectomycorhizes, les endomycorhizes, et les ectendomycorhizes (Peyronnel et *al.*, 1969).

2.1. Les ectomycorhizes

Les champignons ectomycorhiziens sont en symbiose avec environ 3 % des espèces végétales essentiellement chez les Gymnospermes et les Angiospermes. Ces champignons appartiennent principalement aux Basidiomycètes. Certains Ascomycètes et Zygomycètes sont aussi capables de former ce type de mycorhizes.

Chez les ectomycorhizes, le mycélium fongique est cloisonné, et le champignon forme autour des racines fines un manteau mycélien pouvant atteindre jusqu'à 40 µm d'épaisseur. De ce manteau, des filaments mycéliens progressent dans le sol pour former un réseau extramatriciel. D'autres mycéliums pénètrent dans la zone corticale de la racine via les espaces intercellulaires, et forment un réseau appelé le réseau de Hartig (Smith et Read, 1997). Le parenchyme cortical profond est souvent exempt d'infection et le cylindre central n'est jamais colonisé. Les filaments mycéliens ne pénètrent pas dans les cellules d'où leur appellation d'ectomycorhize (Strullu, 1991 ; Smith & Read, 1997).

2.2. Les endomycorhizes

Dans ce type de mycorhizes le mycélium colonise les cellules corticales. Deux groupes sont distingués: Les mycorhizes à arbuscules et les mycorhizes à pelotons d'hyphes cloisonnés.

2.2.1. Les mycorhizes à pelotons

Le champignon mycorhizien de ce type colonise les cellules corticales des racines et y développe des pelotons formés d'hyphes cloisonnés. Au sein de ce groupe, on distingue les mycorhizes des Ericacées ou Ericoïdes et les mycorhizes des Orchidées.

Les champignons associés aux premières sont généralement des Ascomycètes des genres *Pezizella*, *Pterostilis* *Oidiodendron* (Strullu, 1991), chez les secondes il s'agit de Basidiomycètes dont plusieurs téléomorphes des genres *Rhizoctonia*, *Sebacina*.

2.2.2. Les mycorhizes à arbuscules

Les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) sont connus depuis la fin du siècle dernier; Frank, (1887) ayant donné le nom de mycorhizes à l'association plante/champignon. Ils sont ubiquistes et colonisent le système racinaire de la majorité des familles de plantes depuis les bryophytes jusqu'aux angiospermes et particulièrement les plantes à intérêts économiques. C'est le type le plus répandu notamment chez les plantes herbacées et beaucoup d'espèces ligneuses (Morton et Benny, 1990). On compte actuellement environ 200 espèces de champignons mycorhiziens à arbuscules formant des associations symbiotiques avec plus de 200000 plantes terrestres (Schüssler et *al.*, 2001).

Le mycélium se ramifie et se développe dans le parenchyme cortical des racines et forme des arbuscules, des vésicules et des pelotons au sein des cellules. Le mycélium externe est abondant avec des spores microscopiques au niveau du sol. L'infection est assurée par les propagules fongiques sous forme de mycélium et de spores dans le sol, et/ou de mycélium et des vésicules à l'intérieur des racines (Duponnois et *al.*, 2001 et Requena et *al.*, 2001).

2.3. Les ectendomycorhizes

Ce sont des symbioses qui ont à la fois les caractéristiques des endo et des ectomycorhizes: elles montrent à la fois un manteau fongique, qui peut être réduit, et un réseau de Hartig ainsi qu'une colonisation des cellules corticales (Smith et Read, 1997). Les champignons formant ce type de mycorhize sont principalement des Ascomycètes dont plusieurs espèces des genres *Wilcoxina* et *Phialocephala*, *Tricharinaen* plus de quelques espèces de Basidiomycètes (Mikola, 1988).

3. Rôle des champignons mycorhiziens

Les symbioses mycorhiziennes sont connues en tant qu'éléments clefs dans les systèmes naturels (Brundrett *et al.*, 1985). Elles ont un rôle majeur principalement dans l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs (Oihabi et Meddich, 1996); elles facilitent l'accès aux nutriments pour les plantes (Smith et Read, 1997; Koide et Mosse, 2004) et assurent leur protection contre les agents pathogènes microbiens (Pozo et Azcon-Aguilar, 2007 et Meddich *et al.*, 2015). Les symbioses mycorhiziennes améliorent les interactions multi-trophiques au niveau du sol (Wardle *et al.*, 2004). L'association symbiotique entre les arbres et les champignons mycorhiziens contribue à l'établissement et à la perpétuité de l'écosystème forestier. Dans les régions méditerranéennes, les conditions climatiques se caractérisent par une longue période sèche et un été chaud, les précipitations sont rares, irrégulières et souvent torrentielles (López-Bermúdez et Albaladejo, 1990). Ces conditions rendent les écosystèmes méditerranéens fragiles et sensibles à la dégradation. Ce qui entraîne généralement la perte ou la réduction de la diversité mycorhizienne dans le sol et par conséquent la diminution du potentiel mycorhizien dans les zones dégradées (Lellan *et al.*, 1995). Cette dégradation limite le rétablissement des plantes autochtones dans ces zones (Van der heijden *et al.*, 1998 et Requena *et al.*, 2001). L'importance des champignons mycorhiziens dans le maintien de la biodiversité au sein des écosystèmes forestiers n'est plus à démontrer. Ces champignons contrôlent particulièrement la diversité et la productivité des plants (Van der heijden *et al.*, 1998) et leur diversité détermine par conséquent la diversité des communautés végétales (Kernaghan *et al.*, 2003). Cette influence réciproque entre la plante et les communautés de champignons mycorhiziens peut jouer un rôle fondamental dans la détermination de la diversité aussi bien des plantes que celle des communautés des champignons. Les symbioses mycorhiziennes agissent aussi sur le maintien de la couverture végétale dans les habitats naturels (Requena *et al.*, 2001). Elles modifient la structure et la fonction des communautés de plantes (Douds et Millner, 1999) et représentent des indicateurs essentiels de l'évolution des écosystèmes (Gonigle et Miller, 1996). Ces qualités et vertus permettent de qualifier les champignons mycorhiziens d'ingénieurs dans les écosystèmes par plusieurs auteurs. Leur utilisation par l'homme dans l'amélioration de la productivité des écosystèmes naturels et anthropisés est une conséquence directe de la connaissance du rôle joué par ces champignons bénéfiques dans la nutrition des plantes.

La production des plants de qualité ayant un statut nutritionnel important et dotés d'une résistance naturelle aux différents stress biotiques et abiotiques en introduisant des champignons mycorhiziens sélectionnés sont des défis à surmonter. Le but principal de l'utilisation des champignons mycorhiziens mélangés au substrat de culture en pépinière forestière est de produire des plants forestiers vigoureux capables de résister dans les périmètres de reboisement et d'échapper au choc de transplantation dans ces périmètres (Rincon et *al.*, 2006 et Ouahmane et *al.*, 2007a et 2007b). En effet la mycorhization des plantes représente une technique prometteuse capable d'améliorer la qualité des plants forestiers et leur performance en milieu méditerranéen (Ouahmane et *al.*, 2007a).

4. Effet de mycorhization sur la croissance des plantes sous une contrainte saline

Dans les zones semi-arides et arides, où les sols sont souvent pauvres en éléments nutritifs et où la période sèche peut se prolonger pendant plusieurs mois, la croissance des plantes dépend fortement de la symbiose mycorhizienne. Cette symbiose améliore la nutrition minérale, l'extension des hyphes mycorhiziennes permettant une meilleure prospection du sol et donc un prélèvement plus efficace des éléments nutritifs. (Ouahmane, 2007).

La notion de stress se réfère à tout facteur environnemental non favorable au fonctionnement normal des organismes vivants. Les plantes mycorhizées acquièrent une protection accrue contre les stress environnementaux (Sylvia et William, 1992) notamment la salinité et la sécheresse, le déficit hydrique, le froid et les températures élevées (Paradis et *al.*, 1995) et la pauvreté des sols en humus et en éléments minéraux et se montrent de ce fait bénéfiques pour les plantes des régions désertiques (Mikola, 1987).

Les associations symbiotiques sont bien connues pour améliorer la nutrition et la productivité des plantes notamment la symbiose mycorhizienne développe les mécanismes physiologiques et biochimiques nécessaires pour la mobilisation du phosphore du sol (Hatimi A et *al.*, 1997 et Meddich, 2001) et améliore l'état hydrique de la plante (Requena N et *al.*, 2001). Les champignons mycorhiziens peuvent aussi améliorer le prélèvement de l'azote (Shachar-Hill Y et *al.*, 1997) et son assimilation (Azcón R et *al.*, 1998). Les phosphatases des hyphes mycéliens favorisent la libération du phosphore inorganique (Pi) immobile du sol et la minéralisation des sources organiques des phosphates (Joner Erik J. et *al.*, 2000). La disponibilité du phosphore dans le sol et surtout sa mobilisation par la plante ont un effet direct sur sa capacité à fixer l'azote atmosphérique (Barea et Azcón-Aguilar, 1983).

Ces avantages revêtent une importance particulière sous des climats arides et semi arides où la salinité des sols réduit la possibilité d'ajout de fertilisants phosphatés et azotés. Toutefois, ces conditions peuvent réduire le taux de colonisation racinaire (Rozema et *al.*, 1986) et rendre critique la réussite de la mycorhization (Dixon et *al.*, 1993). En effet, la salinité affecte la viabilité des hyphes mycorhiziens qui constituent les principales sources de la propagation des champignons (Requena et *al.*, 1997) et des arbuscules qui représentent le site privilégié des échanges entre les deux partenaires de la symbiose (Gianinazzi-Pearson V. et Gianinazzi S., 1986). Cependant, certaines espèces de champignons mycorhiziens montrent une large gamme de tolérance à la salinité (Rosendahl, 1991) qui dépendrait entre autres de leur habitat d'origine (Coperman et *al.*, 1996).

Certains travaux ont pu montrer que la tolérance des plantes à la salinité peut être améliorée par les symbiotes racinaires (Dixon et *al.*, 1993 et Belaouane et *al.*, 2015). De plus, les mécanismes physiologiques et les interactions entre les différents symbiotes ne sont pas encore suffisamment élucidés.

IV. Le compostage

Le compostage est une technique de stabilisation et de traitement des déchets organiques. C'est une opération qui consiste à faire fermenter en présence de l'oxygène de l'air des déchets organiques pour obtenir un amendement riche en humus : composter correspond donc essentiellement à la production d'humus stables dans les composts. Mais c'est aussi recycler la matière organique et boucler des cycles naturels qui avaient été interrompus par l'abandon des pratiques appropriées (Jouraphi, 2005).

1. Processus du compostage

1.1. Définition

Il existe plusieurs définitions assez voisines du compostage (Leclerc, 2001) qui permettent de le définir de la manière suivante :

«Le compostage est une transformation de la matière première par les micro-organismes en présence de l'eau et de l'oxygène, avec une production d'énergie sous forme de chaleur. Cette transformation s'accompagne d'un développement de tissu microbien. En effet, différentes populations de micro-organismes se succèdent au cours du compostage pour dégrader les déchets putrescibles afin de les stabiliser. L'élévation de chaleur au cours du compostage permet de détruire les graines des mauvaises herbes, les insectes et leurs œufs.

La libération des mauvaises odeurs lors du compostage est fortement réduite car les composés organiques qui restent après le processus, sont relativement stables avec de faibles taux de décomposition».

1.2. Les objectifs du compostage

Les objectifs du compostage ont été traditionnellement définis comme étant une conversion biologique des organiques putrescibles en forme stable et la destruction d'organismes pathogènes. Le compost est une source de matière organique pour la construction et la maintenance de l'humus du sol. Il peut améliorer la croissance et la vigueur de cultures. Il peut réduire les pathogènes de plantes et améliorer la résistance de plantes aux maladies. Les composts contiennent des nutriments incluant l'azote, le phosphore et une variété d'éléments trace essentiels (Ait baddi, 2005).

2. Paramètres du compostage

Les paramètres du compostage sont nombreux et interdépendants. Certains sont généraux (humidité, aération, température, C/N, pH,...). D'autres sont spécifiques dépendant de la nature du déchet à composter et de la technique adoptée.

2.1. Humidité

La teneur en eau compatible avec un compostage aérobie satisfaisant, varie selon la nature des matières d'origines. L'eau est un facteur indispensable pour le déroulement des réactions biochimiques et métaboliques de la cellule microbienne lors du processus du compost, pour le transport des composés hydrosolubles et de l'oxygène vers la cellule et pour la mobilité des micro-organismes vers les produits insolubles (cellulose, lignine). Toutefois, une teneur en eau trop faible limite le développement microbien, et dans le cas d'une humidité trop élevée, l'eau sature les espaces lacunaires et étouffe les micro-organismes dans le tas du mélange à composter (Kulcu et Yaldiz, 2004); d'autant plus que les déchets pâteux sont très difficiles à manier vu leur teneur en eau. La décomposition aérobie devient alors anaérobie.

2.2. Température

La température est le facteur clé déterminant la réussite d'un processus de compostage. Elle détermine l'activité des micro-organismes assurant la décomposition de la matière organique. L'évolution de la température au cours du compostage contrôle une succession de populations microbiennes.

On distingue, généralement 3 zones de température :

- zone psychrophile caractérisée par une température de 5 à 10 °C
- zone mésophile caractérisée par une température de 10 à 45 °C
- zone thermophile caractérisée par une température de 45 à 70 °C.

L'évolution de la température au cours du compostage dépend tout à la fois de la fermentiscibilité du pouvoir calorifique, de l'humidité initiale, du rapport C/N, du pH et de la masse mise en compostage. Elle dépend aussi de la fréquence et de la qualité du retournement, des dimensions du tas et des conditions climatiques dans le cas du compostage en systèmes ouverts (Usepa, 1985).

En plus, la température traduit l'activité microbiologique, donc permet d'examiner le déroulement du processus du compostage. Ainsi, l'intensité de la dégradation des matières organiques par les micro-organismes est fonction de l'élévation de la température et ce, jusqu'à une valeur seuil de 65°C (Hang, 1980).

2.3. Oxygène

La présence d'O₂ est indispensable au compostage qui est d'ailleurs une décomposition aérobie (oxydation) d'où la nécessité d'une aération régulière par retournement du tas à composter. L'oxygène est aussi indispensable pour le métabolisme et la respiration des micro-organismes et pour l'oxydation des différentes molécules organiques présentes dans le matériel à composter.

2.4. Rapport C/N

Le carbone et l'azote constituent les éléments les plus importants pour la décomposition microbienne. Le carbone constitue une source d'énergie et une base de construction des molécules organiques. L'azote est un composant crucial des protéines, acides aminés, acides nucléiques, enzymes et coenzymes nécessaires pour la croissance et le métabolisme de la cellule microbienne. Toutes les références anciennes et récentes recommandent un rapport C/N entre 20 et 30 comme optimum pour le compostage. Un rapport initial de C/N = 30 semblerait le plus avantageux pour un compostage rapide et qui assurerait une meilleure conservation de l'azote. Un rapport C/N plus faible implique un excès d'azote ; celui-ci sera perdu sous forme de gaz ammoniacal provoquant ainsi une odeur désagréable, tandis qu'un rapport élevé signifie une insuffisance d'azote pour la croissance optimale des populations microbiennes. Par conséquent, la dégradation de la matière organique sera effectuée de manière insuffisante ce qui induit une baisse de température.

Au cours du processus de biodégradation aérobie, le rapport C/N décroît progressivement de 30 jusqu'à 10-15 pour le produit final (Dorfman et Batsch, 1985), ceci est dû au fait qu'à chaque fois que la matière organique est consommée par les micro-organismes, les 2/3 du carbone partent sous forme de gaz carbonique et le 1/3 qui reste est incorporé avec l'azote dans les cellules microbiennes qui sera libéré pour être utilisé après la mort de ces cellules.

2.5. pH

Le contrôle du pH est très utile en fermentation aérobie et s'avère parfois indispensable. Son évolution renseigne sur les différentes phases du processus microbiologique en cours. Des études ont montré que des valeurs du pH situées entre 6 et 8 sont optimales pour les micro-organismes du compost (Demeyer *et al.*, 1982). Ainsi, au cours de la phase de stabilisation, l'oxydation des molécules simples (sucres, lipides ...) par les micro-organismes mésophiles libère des acides organiques qui provoquent une acidification du milieu. Egalement, la dissolution dans l'eau du CO₂ produit au cours du compostage peut être à l'origine d'une diminution de pH.

3. Aspect microbiologique du compostage

Les micro-organismes responsables de la décomposition de la matière organique sont de trois types: les bactéries, les champignons et les actinomycètes. En effet, il faut insister sur l'importance de la très grande diversité des micro-organismes impliqués et surtout sur les successions de ces populations qui se développent si les conditions leur sont favorables. De point de vue des transformations chimiques, les matériaux du départ évoluent et changent ainsi de composition (Godden, 1995). Le compost constitue un véritable milieu de vie dont le fonctionnement est influencé par des conditions particulières, l'oxygénation, la température, l'humidité, les matières nutritives,...

4. Effets physico-chimiques du compost sur les sols et les plantes

De nombreuses études ont montré le rôle bénéfique du compost sur les qualités physiques et chimiques des sols amendés. Par exemple, une amélioration des propriétés physiques, une augmentation de la conductivité hydrique et une diminution de la densité des sols ont été observées par Wong *et al.* (1999). De même, l'incorporation de compost au sol s'avère efficace pour lutter contre la dégradation de la surface du sol (Bresson *et al.*, 2001). Pagliai *et al.* (2004) ont montré que l'ajout de compost dans un sol améliore sa porosité et sa structure.

L'amélioration des caractéristiques chimiques, physiques et biologiques des sols par des amendements de compost créent de meilleures conditions de croissance pour les plantes. Ces dernières sont ainsi moins stressées, ce qui les rend plus résistantes aux maladies. En plus de leur action indirecte, les composts peuvent, suivant leur qualité microbiologique, influencer directement la santé des plantes par l'action de microorganismes antagonistes qu'ils contiennent. Ces derniers agissent directement sur les agents pathogènes présents dans le sol en les concurrençant, les parasitant ou les inhibant. Les effets positifs des composts sur la santé des plantes ne se limitent pas aux maladies telluriques. L'apport de compost dans le sol peut influencer positivement la résistance globale des plantes aux maladies. Ainsi, certains composts appliqués dans le sol ont par exemple pu induire une résistance dans les pieds d'orge qui ont alors été significativement moins attaqués par l'oïdium (Jacques, 2009).

V. Contexte et objectifs de notre travail

Le cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica* G.) est une espèce endémique du Haut Atlas marocain et qui constitue un des écosystèmes forestiers les plus originaux au Maroc. Malheureusement, malgré les efforts déployés déjà engagé, l'espèce est assujettie à une régression alarmante de son aire de répartition naturelle liée plus particulièrement à une surexploitation anthropozoïque conjuguée à un faible taux de régénération naturelle. Pour répondre à cette problématique et trouver des méthodes pratiques relativement simples, plusieurs objectifs ont été tracés dans la présente étude :

- l'effet de stress salin sur la germination des semences et la croissance des plantes de cyprès de l'Atlas.
- l'effet de l'inoculation mycorhizienne sur la croissance des plantules issues de graines de *Cupressus atlantica* comme principal traitement biologique.
- l'effet de compost sélectionné pour améliorer la croissance pour les plantules de cyprès de l'Atlas.

Aussi, nous viserons étudier l'effet du stress salin et de la mycorhization sur quelques paramètres physiologiques, morphologiques et biochimiques chez le cyprès de l'Atlas pour comprendre les mécanismes de tolérance de cette espèce.

CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES

I. Matériel et Méthodes

1. Conduite des essais

1.1. Matériel végétal

Le matériel végétal qui a fait l'objet de cette étude est le cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica*). Les plants de cette espèce sont obtenus par la germination des graines au sein du laboratoire en mois de décembre 2014 sous des conditions ambiantes.

Les graines du cyprès d'Atlas (*Cupressus atlantica* G.) nous ont été fournies par la Direction Régionale des Eaux et Forêts de Marrakech. Ces graines ont été traitées avec de l'eau de javel diluée de moitié pendant 15 minutes puis rincées à l'eau distillée stérile, puis trempées pendant 24H à l'eau distillée et finalement elles ont été germées et repiquées à raison de 5 plantules par sachets.

1.2. Substrat de culture

Le substrat de culture utilisé dans notre essai est prélevé de l'Oued Ihjar à proximité de Zaouiyat Ben sassi à la limite ouest de la palmeraie Nord Est de Marrakech. Ce substrat de culture a été stérilisé à 180° C pendant 4 heures.

Le compost testé dans notre étude est issu de la transformation des déchets verts et il a été produit dans le cadre d'une collaboration entre le Laboratoire Ecologie et Environnement de la FSSM et la Pépinière de la Communale Urbaine de Marrakech.

Les plants du *Cupressus atlantica* G. ont été repiqués dans des sachets noirs en plastique ayant les dimensions de 30cm x 15cm à raison de cinq plants par sachet contenant 3 Kg de substrat de culture additionné de 5% et 20% du compost stérilisé à 180°C pendant 4 heures. Vingt répétitions par traitement ont été effectuées ; soit un nombre total de 240 plants a été utilisé pour illustrer les plants témoins et ceux assujettis aux différents traitements précités. L'ensemble des plants est placé à l'intérieur d'une serre couverte de plastique transparent à la Faculté des Sciences Semlalia de Marrakech.

1. 3. Test de germination des graines du cyprès de l'Atlas

Dans le but d'évaluer l'effet de la salinité en relation avec le pouvoir germinatif du cyprès de l'Atlas, des graines de cette espèce ont été placées dans l'eau distillée pendant 48h. Ensuite, elles ont été mise à germer dans des boîtes de Pétri de 9 cm de diamètre sur un papier filtre imbibé avec 5 ml de la solution de NaCl.

Les graines ont été choisies au hasard, pour chaque prétraitement. Nous avons utilisé trois répétitions de 30 graines par boîte. Neuf concentrations de Chlorure de sodium (NaCl) ont été préparées (0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 et 240 mM). Durant la période d'incubation des graines, les différentes solutions de NaCl ont été renouvelées toutes les 48h sous des conditions stériles afin d'avoir des concentrations de NaCl relativement constantes au cours de toute la période d'incubation. Les tests de germination ont été effectués dans un incubateur à l'obscurité à 20°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) (Figure 6). La germination a été notée tous les deux jours pendant quatre semaines. Le taux de germination a été déterminé par la relation suivante :

$$\text{Germination (\%)} = (N_x / N_i) * 100$$

Avec : - N_x est le nombre de semences germées au temps x.

- N_i est le nombre de semences mises à germer.

1. 4. Application des traitements et conditions de culture

Les plants du cyprès ont été cultivés pendant 4 mois dans le substrat culture amendé ou non du compost et de champignons mycorhiziens autochtones testés.

Suite aux résultats du test de germination sur les graines du cyprès, nous avons appliqué les deux niveaux suivants : 0 mM de NaCl (témoin) et 180 mM NaCl. Afin d'éviter un choc osmotique, les concentrations en NaCl ont été augmentées progressivement de 30 mM tous les deux jours jusqu'à ce que les concentrations désirée soit atteinte.

Les plantes du cyprès ont été réparties en douze groupes en subissant les traitements suivants (Figure 6):

- ❖ **Traitement 1(D1to)** : plants témoin non mycorhizés (0% du compost), soumis à un régime hydrique favorable (0 mM NaCl).
- ❖ **Traitement 2(D1tts)** : plants témoin non mycorhizés (0% du compost), soumis à un stress salin (180 mM NaCl).
- ❖ **Traitement 3(D2to)** : plants inoculés par les champignons mycorhiziens (0% du compost), 6g/plant ajoutés à la proximité des racines, soumis à un régime hydrique favorable (0 mM NaCl).
- ❖ **Traitement 4(D2tts)**: plants inoculés par les champignons mycorhiziens (0% du compost), 6g/plant ajoutés à la proximité des racines, soumis à un stress salin (180 mM NaCl).
- ❖ **Traitement 5(D3to)**: plants non mycorhizés soumis à un régime hydrique favorable (0 mM NaCl) et amendés à 5% de compost.

- ❖ **Traitement 6(D3tts):** plants non mycorhizés soumis à un à un stress salin (180 mM NaCl) et amendés à 5% de compost.
- ❖ **Traitement 7(D4to):** plants inoculés par les champignons mycorhiziens, soumis à un régime hydrique favorable (0 mM NaCl) et amendés à 5% de compost.
- ❖ **Traitement 8(D4tts):** plants inoculés par les champignons mycorhiziens, soumis à un stress salin (180 mM NaCl)et amendés à 5% de compost.
- ❖ **Traitement 9 (D5to):** plants non mycorhizés, soumis à un régime hydrique favorable (0 mM NaCl) et amendés à 20% de compost.
- ❖ **Traitement 10(D5tts) :** plants non mycorhizés soumis à un stress salin(180 Mm NaCl)et à 20 % de compost.
- ❖ **Traitement 11(D6to):** plants traités par les champignons mycorhiziens, soumis à un régime hydrique favorable (0 mM NaCl) et amendés à 20 % de compost.
- ❖ **Traitement 12 (D6tts):** plants traités par les champignons mycorhiziens, soumis à un stress salin (180 mM NaCl) et amendés à 20% de compost.



Figure 4: Conduite des plantules du Cyprès de l'Atlas sous serre

1.5. Techniques de mycorhization

La mycorhization du cyprès de l'Atlas est effectuée par l'apport de 6 grammes de champignons mycorhiziens par plante. Les isolats fongiques utilisés ont été collecté, isolé et purifié à partir des sols du haut atlas du marocain par l'équipe du Laboratoire Ecologie et Environnement (Ouahmane et al.2006).

2. Paramètres mesurés

2.1. Paramètres physico-chimiques du substrat de culture utilisé

2.1.1. Granulométrie

Les différentes classes granulométriques de la fraction minérale du sol étudié sont déterminées selon les étapes suivantes :

- Le tamisage à sec de l'échantillon de sol, sur tamis de 2 mm, afin d'obtenir de la terre fine.
- La destruction de la matière organique par l'eau oxygénée (H_2O_2) à 20 Volumes.
- La dispersion des Argiles par l'hexamétaphosphate de sodium à 50 g/l.
- Le sable grossier et le sable fine ont été récupérés par tamisage sous l'eau respectivement à 200 μm et à 50 μm .
- Les Argiles et les limons sont classés selon la méthode de la pipette de Robinson en utilisant la relation de STOKES qui donne la vitesse de sédimentation v en fonction du rayon r d'une particule sphérique : $v=kr^2$.
- La teneur des différents éléments minéraux s'exprime en pourcentage de matière sèche de l'échantillon de terre (Rouiller et *al.*, 1994).

2.1.2. Mesure de pH

Une quantité de 10g de chaque échantillon est mélangée avec 20ml d'eau distillé. Après 30minutes d'agitation à température ambiante, le pH est mesuré à l'aide d'un pH-mètre (CRISON basic 20).

2.1.3. Conductivité électrique

La conductivité électrique définie la quantité totale en sels solubles correspondant à la salinité globale du sol, elle dépend de la teneur et de la nature des sels solubles présents dans le sol (Guessoum, 2001). C'est l'aptitude d'une eau à laisser passer un courant électrique, elle est déterminée à l'aide d'un conductimètre sur un extrait aqueux au 1/5 du sol.

2.1.4. Carbone organique total

Le carbone de la matière organique totale est dosé selon la méthode d'Anne, dont l'attaque de la matière organique est complète, et s'effectue à chaud. Le substrat de culture est séché puis tamisé sur tamis de 2 mm, ensuite le carbone de la matière organique contenu dans le sol, est oxydé par le bichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$ (1N) en présence de l'acide sulfurique concentré, la réaction est stoppée par l'ajout de l'eau distillée. Après décantation de la suspension, un volume est prélevé puis agité après l'ajout de quelques gouttes de diphénylamine comme indicateur coloré et de l'acide orthophosphorique pour rendre les ions ferriques inactifs, et accroître ainsi la netteté du virage. Le titrage de l'excès de bichromate se fait par le sel de Mohr (sulfate de fer et d'ammonium $FeSO_4, 7H_2O$) 0,5N. (Dabin, 1967).

2.1.5. Azote total Kjeldahl

Le dosage de l'azote total s'effectue selon la méthode Kjeldahl. En présence du catalyseur Kjeldahl ($K_2SO_4 + CuSO_4 + Se$), le sol est attaqué à l'ébullition par l'acide sulfurique concentré, la totalité de l'azote minéral transformé en ammoniacque est fixé par l'acide sulfurique à l'état de sulfate d'ammoniacque. Après refroidissement, le minéralisat est récupéré dans l'eau distillée. Un blanc est réalisé dans les mêmes conditions. L'ammoniacque formée est neutralisée en présence de quelques gouttes de phénolphtaléine par la soude 40% (NaOH), et distillé ensuite par entraînement de vapeur puis recueilli dans l'acide borique (10g/l) (H_3BO_3). Le dosage de l'azote total s'effectue par l'acide sulfurique concentré N/50 (H_2SO_4), après l'ajout de quelques gouttes de l'indicateur Tachero. (Dabin, 1967).

L'azote totale kjeldahl (NTK) exprimé en % est par la formule suivante :

$$NTK\% = (V_e - V_t) \times 1.4/P$$

(V_e : volume de titre de l'échantillon ; V_t : volume de titre de témoin ; N : normalité de l'acide sulfurique ; P ; poids de gramme de la prise d'essai).

2.1.6. Phosphore assimilable

La méthode utilisée pour le dosage du phosphore assimilable est celle d'Olsen citée par (Southern Cooperative Series, 2000). Cette méthode est adéquate pour les sols calcaires, alcalins ou neutres contenant du phosphore lié au calcium.

A un pH constant de 8,5, le phosphore contenu dans le sol est extrait par une solution de bicarbonate de sodium 0.5 M (NaHCO_3), ce dernier diminue la concentration du calcium en provoquant sa précipitation sous forme de CaCO_3 et augmente la concentration du phosphore dans la suspension. Le dosage s'effectue par colorimétrie basée sur la formation et la réduction d'un complexe de l'acide orthophosphorique et de l'acide molybdique. La réduction du phosphore molybdate s'accompagne d'une coloration bleue ciel dont l'intensité est proportionnelle à la quantité du phosphore présent dans le milieu considéré. La lecture de la densité optique se fait au spectrophotomètre à 820 nm. La teneur en phosphore assimilable est déterminée à partir de la densité optique mesurée, une gamme étalon (0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 et 1 mg de P/l) est préparée à partir d'une solution mère de KH_2PO_4 , le même volume de réactif AB est ajouté à toutes les concentrations.

Réactifs:

Réactif A= Molybdate de sodium 2.5% dans 100 ml de H_2SO_4 (10 N).

Réactif B= Sulfate d'hydrazine 0.15%.

Réactif AB=10 ml du Réactif B et 20 ml du Réactif A, complété à 100 ml par l'eau distillée.

2.2. Détermination des paramètres d'ineffectivité des champignons mycorhiziens

Après lavage du système racinaire à l'eau courante, les racines sont plongées dans une solution de potasse (KOH 10%) durant 40 min à 90°C pour détruire le contenu des cellules végétales et décolorer les racines. Ensuite, elles sont traitées à l'acide lactique 0,1% pour déneutraliser l'excès de KOH. Les racines sont placées dans une solution de bleu de trypan (33% d'eau distillée, 33% de l'acide lactique et 33% de glycérol) pendant 20min à 90°C. Dans une dernière étape les racines ont été découpées en morceaux de 1cm et montées entre lame et lamelle pour le calcul de la fréquence de mycorhization sous un microscope optique (Trouvelot et *al.*, 1986). Ce paramètre est mesuré selon la formule suivante :

$$F\% = (N_t - N_0) / N_t$$

F : fréquence de mycorhization en pourcentage (%)

N_t : nombre totale de fragment de racine observés

N_0 : nombre de fragment de racines qui ne sont pas mycorhizés.

2.3. Paramètres de croissance mesurés au niveau du cyprès.

Il est difficile de suivre le comportement d'une plante à partir d'un seul paramètre. En effet le suivi du comportement des plantes a été basé sur certains paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques.

2.3.1. Paramètres morphologiques

L'effet des différents traitements appliqués sur la croissance des plantes du cyprès a été évalué par la détermination des paramètres suivants :

- La hauteur aérienne (HA)
- Le nombre de feuilles formées (NF).

2.3.2. Production de biomasse

La production de la biomasse fraîche des parties aériennes et racinaires est déterminée immédiatement lors du prélèvement. Les racines sont extraites du sol, lavées soigneusement pour éviter la perte des racines fines, placées délicatement sur du papier buvard puis pesées pour déterminer leur poids frais. Pour la matière sèche, les échantillons sont placés à l'étuve à 80°C pendant 48h pour déterminer leur poids sec. Les différentes mesures sont effectuées en utilisant une balance de précision.

- La matière fraîche (MF).
- La matière sèche (MS).

2.3.3. Paramètre biochimiques

2.3.3.1. Dosage des sucres solubles totaux

Les sucres solubles totaux (saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthylés et les polysaccharides) sont dosés par la méthode Schields et Burnett (1960). Elle consiste à prendre 100 mg de matériel végétal (1/3 médian de la feuille), dans des tubes à essai, on ajoute 3 ml d'éthanol à 80% pour faire l'extraction des sucres, puis on laisse à température ambiante pendant 48 heures. Au moment du dosage les tubes sont placés dans l'étuve à 80°C pour évaporer l'alcool. Dans chaque tube on ajoute 20 ml d'eau distillée à l'extrait (solution à analyser). Dans des tubes en verre propres, on met 2 ml de la solution à analyser, on ajoute 1 ml de phénol à 5 % (le phénol est dilué dans de l'eau distillée) ; on ajoute rapidement 5 ml d'acide sulfurique concentré 96% ($d = 1,86$) tout en évitant de verser de l'acide contre les parois du tube. On obtient, une solution jaune orange à la surface, on passe au vortex pour homogénéiser la couleur de la solution. On laisse les tubes pendant 10 minutes et on les place au bain-marie pour 10 à 20 minutes à une température de 30°C. La densité optique (DO) est déterminée à 520 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

2.3.3.2. Dosage de la proline

La proline représente l'une des manifestations les plus remarquables des stress hydriques et osmotiques. Son rôle d'osmoticum a été rapporté par de nombreux auteurs (Stewart et Lee, 1974). La proline serait synthétisée à partir de l'acide glutamique via l'acide 5 carboxylique 1 pyrroline (P5C) mais également via l'arginine et l'ornithine (Lignowski et Slittstoesser, 1971). La méthode utilisée est celle de Monneveux et Nemmar (1986). 100 mg (pour chaque essai) prélevés sur les tiers médians des plus jeunes feuilles, sont immédiatement pesées puis placées dans un tube à essai. Un volume de 2ml de méthanol à 40% est ajouté à l'échantillon et le tout est chauffé, pendant 1heure, dans un bain marie à 85°C. Après refroidissement, 1ml d'acide acétique, 25 mg de ninhydrine et 1ml du mélange eau distillé- acide acétique- acide orthophosphorique de densité 1,7 (120,300, 80 ; v/v/v). L'ensemble est porté à ébullition pendant 30minutes au bain marie, puis refroidi et additionné de 5ml de toluène. Après agitation au vortex, une pincée de Na₂SO₄ est ajoutée dans chaque tube. La densité optique (DO) est déterminée à 585 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

2.4. Analyse statistique

Les résultats obtenus ont été traités statistiquement par le logiciel statistique en effectuant des analyses de variance (ANOVA) avec le logiciel SPSS (version 18.0).

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

I. Analyses physicochimiques du substrat de culture

1. Paramètres physicochimiques

Tableau 1 : Paramètres physico-chimiques du substrat de culture utilisé

Paramètres mesurés	Substrat de culture	Compost utilisé
Ph	8,06	8,61
Conductivité électrique ($\mu\text{s/cm}$)	0,352	14,50
Phosphore assimilable (mg/g sol)	1,54	0,35
Azote (mg/g sol)	0,030	2,010
Carbone Organique COT (%)	0,10	10,19
Humidité (%)	19,38	64,00
C/N	-	13

Les résultats de l'analyse de paramètres physico-chimiques des échantillons du sol utilisé prélevé à la Palmeraie Nord-ouest de Marrakech et ceux du compost testé sont présentés dans le tableau 1.

Le pH est légèrement basique pour le sol testé et pour le compost utilisé et il varie entre 8,06 et 8,61.

Pour la conductivité électrique, on note une augmentation de ce paramètre chez le compost testé (14,50 $\mu\text{s/cm}$) par rapport au sol qui présente des valeurs faibles de conductivité électrique. Ceci est dû à la présence des teneurs en sels dans le compost. Mais les faibles doses de 5 et 20% de cet amendement mélangées au sol n'ont pas induit une augmentation du taux de salinité au niveau du substrat de culture utilisé.

Par ailleurs, en ce qui concerne le phosphore assimilable, nous remarquons que les teneurs en phosphore sont plus élevées dans le sol que dans le compost testé.

Par contre les teneurs en azote sont plus élevées au niveau du compost que dans le sol testé. Ce qui montre la richesse du compost appliqué en azote total.

Le Compost est caractérisé par une forte teneur en carbone organique qui est 100 fois plus élevée que le sol utilisé. Cela s'explique par la richesse du compost en matière organique intéressante.

De même, l'humidité mesurée est plus élevée au niveau du compost qu'au niveau du sol.

La valeur obtenue du C/N pour le compost testé témoigne bien de son maturité et sa stabilité.

1.1. Granulométrie

Tableau 2: Granulométrie du sol utilisé.

Particules minérales	Substrat de culture
Argile	3,20%
Limon fins	18,10%
Limon grossiers	8,82%
Sable fins	26,30%
Sable grossiers	43,20%

Après la détermination de chaque élément de la fraction minérale (% S, %A,%L), nous avons utilisé le triangle de textures pour déterminer avec une exactitude la texture de notre sol. L'analyse granulométrique a montré que le substrat de culture utilisé est de texture sablo-limoneuse (Tableau 2).

II. Test de germination en fonction des traitements salins

Les résultats du pourcentage cumulé du taux de germination des semences de cyprès de l'Atlas après 22 jours d'incubation ont montré que cette espèce présente une grande sensibilité au stress salin au moins au niveau de la germination (Figure 5). En effet, les taux de germination les plus élevés ont été enregistrés au niveau du témoin avec des valeurs de l'ordre de 100% (Figure 5). L'augmentation de la concentration de NaCl induit une diminution du taux de germination pour les fortes concentrations. Les résultats de la cinétique de germination sous stress salin après 22 jours d'incubation ont montré que la salinité a un effet dépressif sur la germination. En effet, les graines non stressées germent beaucoup plus vite que celles placées dans des solutions salines. Le nombre de graines qui ont germé en fonction du temps diminue avec l'augmentation de la concentration du sel. Pour des concentrations de 210 et 240 mM. La germination des semences a été considérablement réduite lorsque la concentration de NaCl atteint 180 mM. Ce qui indique que les limites de tolérance des semences du cyprès de l'Atlas pour le stress salin se situe entre 180 et 240 mM de NaCl.

Pour cette raison, nous avons pour suivit nos travaux de l'étude de l'impact du stress salin en utilisant la contrainte saline assez sévère pour limiter la croissance des plants sans les endommager totalement.

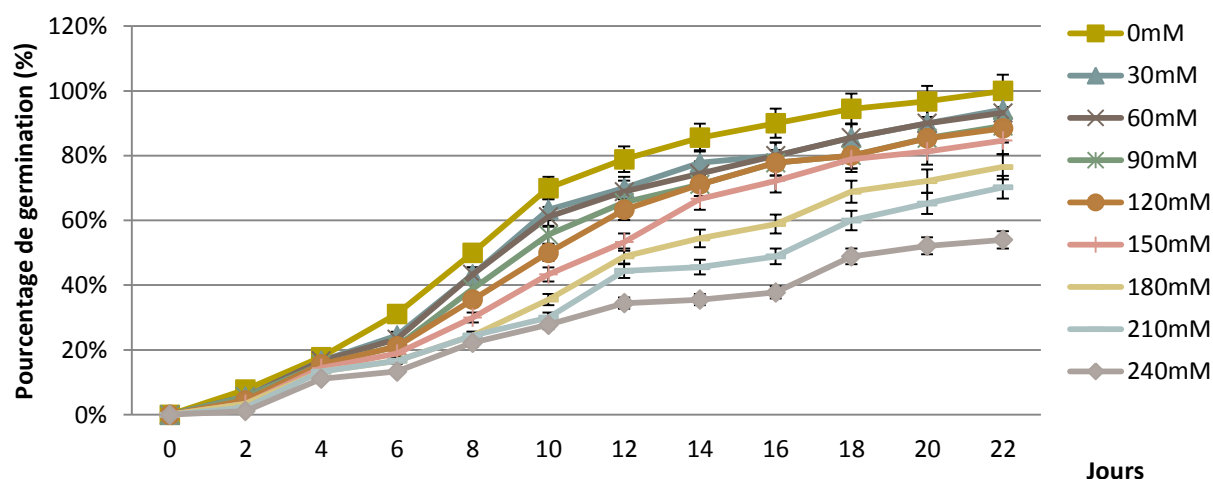


Figure 5: Effet du stress salin sur le pourcentage de germination des graines du cyprès de l'Atlas, après 22 jours de culture

III. Paramètres d'ineffectivité

La fréquence de mycorhization a été calculée selon la formule suivante (Trouvelo et *al.*, 1986) :

$$F\% = ((N_t - N_0) / N_t) * 100$$

N_t = 15 fragments

N_0 = 2 fragments sans trace de champignon mycorhizien.

Donc $F\% = 86,66\%$

En moyenne, nous avons observé que les racines sont presque totalement colonisées par le complexe mycorhizien testé avec une valeur de 86,66% pour les plants témoins inoculés. Par contre, les plants mycorhizés traités au compost ont diminué leur fréquence de mycorhization qui ne dépasse pas 60% (60% pour les plants inoculés et amendés à 5% et 46,66% pour les plants inoculés et amendés à 20% du compost).

Nous avons pu constater le développement des structures fongiques de champignons mycorhiziens typiques (arbuscules (A) et hyphes (H)) comme le montre la Figure 6 ci-dessous.



Figure 6: Observation à la microscopie optique des racines colonisées par l'isolat fongique MA
A: Arbuscules et H : hyphes (Gx40)

IV. Paramètre de croissance chez le cyprès de l'Atlas

1. Effet du compost sur la croissance du cyprès de l'Atlas

L'allongement aérien des plantules du cyprès d'Atlas diminue progressivement en fonction des doses de compost appliquées et ce quelle que soit la durée de culture (Figure 7). Cette diminution est d'autant plus importante que la concentration de compost est plus élevée. Les valeurs observées sont de 4,5cm chez le témoin (0 % du compost) et elles sont de 4 cm et 3,8 cm en présence de 5% et 20% de compost respectivement, après 10 semaines de culture.

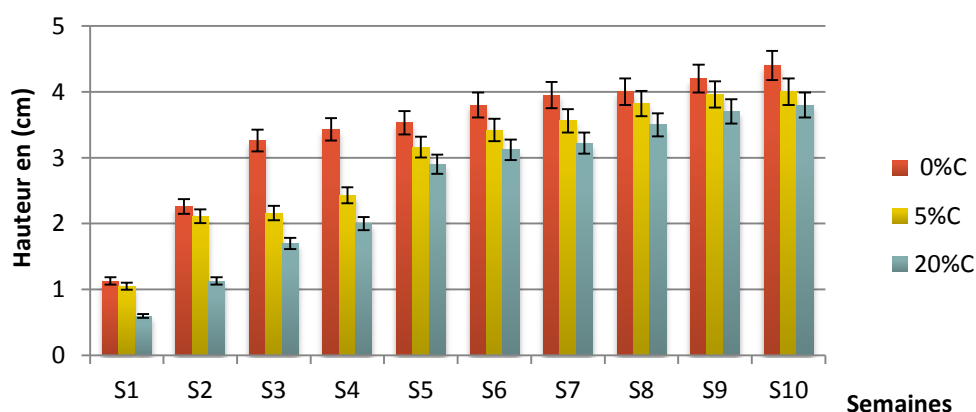


Figure 7: Effet du compost sur la hauteur aérienne des plants de cyprès de l'Atlas.

L'examen de la Figure 8 révèle que la croissance de cyprès sur le sable amendé en compost (5 et 20 %) a donné un nombre de feuilles inférieur à celui du témoin (0 % du compost). A la dose de 5% de compost, le nombre des feuilles obtenu est de 32 feuilles ; par contre, il est réduit à 24feuilles face à la dose de 20 % du même compost, après 10 semaines de culture.

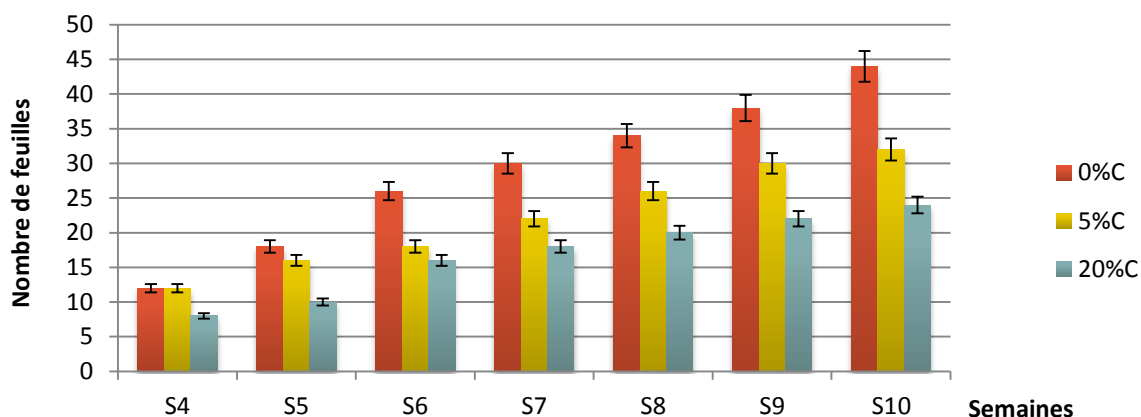


Figure 8: Effet du compost sur le nombre des feuilles produits chez le cyprès de l'Atlas

2. Effet de la mycorhization et du compost sur la croissance du cyprès de l'Atlas

Après 5 mois de culture sous serre, les plants du cyprès de l'Atlas mycorhizés (+M) ont présenté une croissance plus élevée que les plants témoins non mycorhizés (-M) en termes d'allongement aérien (Figure 9A) et du nombre de feuilles produites (Figure 9B). Le complexe mycorhizien a stimulé la hauteur aérienne avec une valeur moyenne de 7,4 cm contre 6,6 cm chez les plants témoins après 17 semaines de culture. De même, la mycorhization a amélioré nettement le nombre de feuilles produites par rapport aux témoins non mycorhizés et ce, à partir de la 11^{ème} semaine de culture, ou les écarts de croissance sont bien accentués chez les plants inoculés.

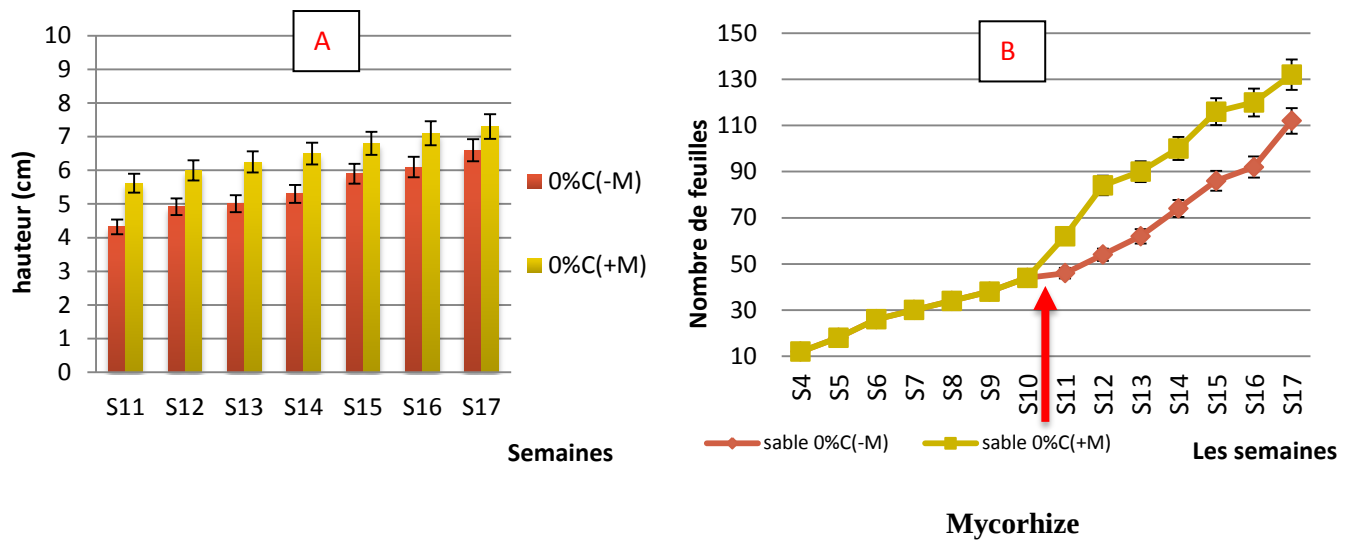


Figure 9 : Effet de la mycorrhization sur la hauteur aérienne (A) et le nombre des feuilles émises (B) du cyprès de l'Atlas après 5 mois e culture

Les résultats obtenus de la Figure 10 ont montré que le complexe mycorhizien a permis une nette amélioration de l'allongement aérien du cyprès en absence et en présence du compost. Aussi, nous avons constaté que les plantes mycorhizées traitées à 0% et 5% du compost ont présenté les valeurs de hauteur aérienne les plus élevées.

La même constatation a été relevée dans le cas du nombre de feuilles produites chez le cyprès face à ces différents traitements (Figure 11).

De même nous avons remarqué que le nombre des feuilles les plus importants sont obtenus avec la présence de mycorrhization avec l'addition de 5 % du compost permet d'obtenir un rendement supérieur que celui du témoin.

L'analyse de variance relative à la hauteur aérienne et au nombre des feuilles a relevés un effet hautement significatif ($p \leq 0.001$) des différents facteurs étudiés.

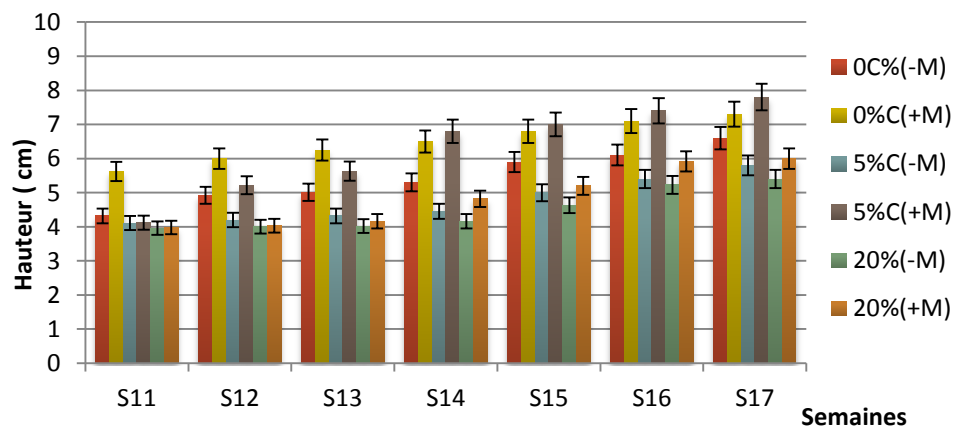


Figure 10 : Effet la mycorrhization et du compost sur la hauteur aérienne du cyprès de l'Atlas

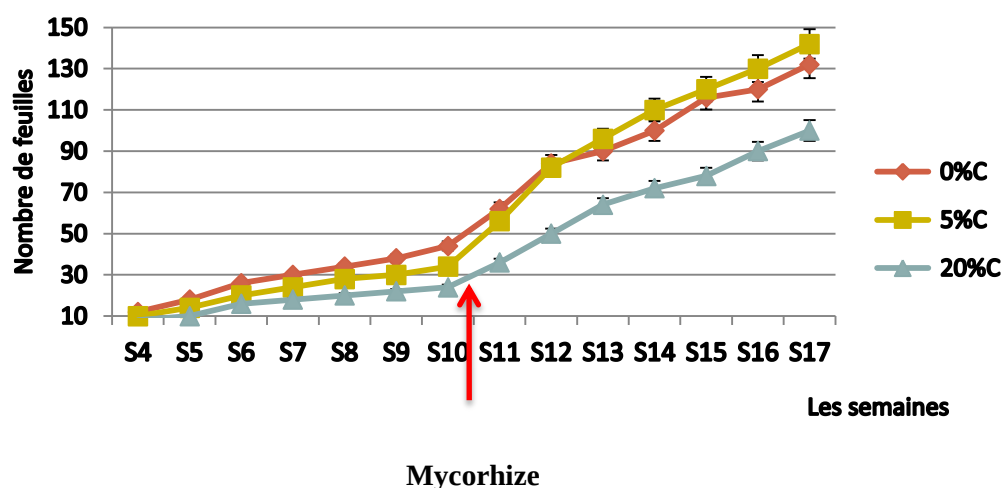


Figure 11 : Effet du compost sur le nombre des feuilles produites chez le cyprès de l'Atlas

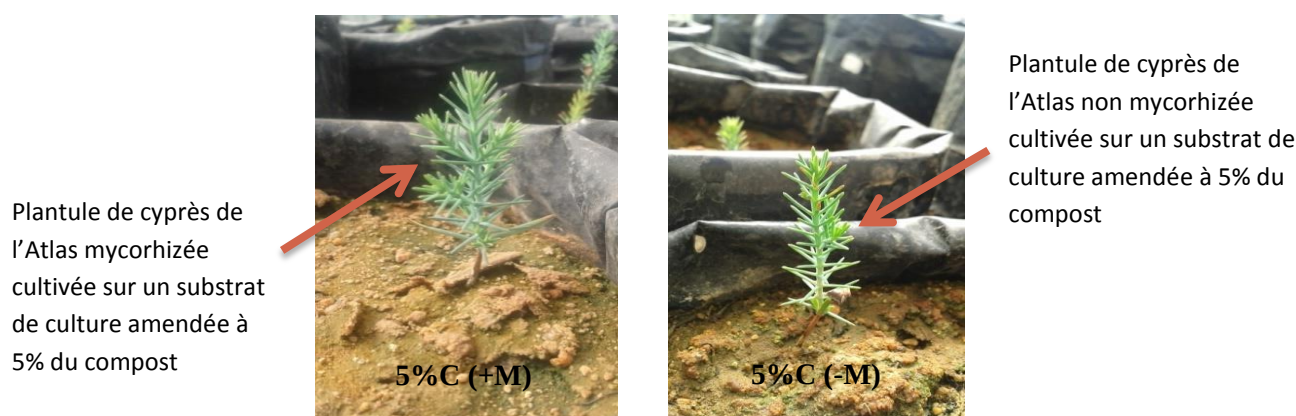


Figure 12 : Effet de la mycorhization sur la croissance du cyprès de l'Atlas amendé à 5% du compost

3. Effet du stress salin sur la croissance du cyprès mycorhizé et amendé au compost

La contrainte saline a engendré un effet dépressif sur la hauteur des jeunes plants soumis à 180 mM NaCl comparativement aux témoins correspondants (Figure 13). Le même traitement salin a baissé également le nombre de feuilles formées chez le cyprès de l'Atlas (Figure 14). Les plants mycorhizés développés sur substrat de culture seul ou amendé à 5% de compost, ont présenté les valeurs d'allongement aérien et du nombre de feuilles les plus importantes et ce malgré la contrainte saline imposée au sol de 180 mM.

L'analyse de variance montre que les facteurs (mycorhize, stress salin) ont un effet hautement significatif sur la hauteur aérien et le nombre des feuilles des jeunes plants du cyprès ($p \leq 0.001$).

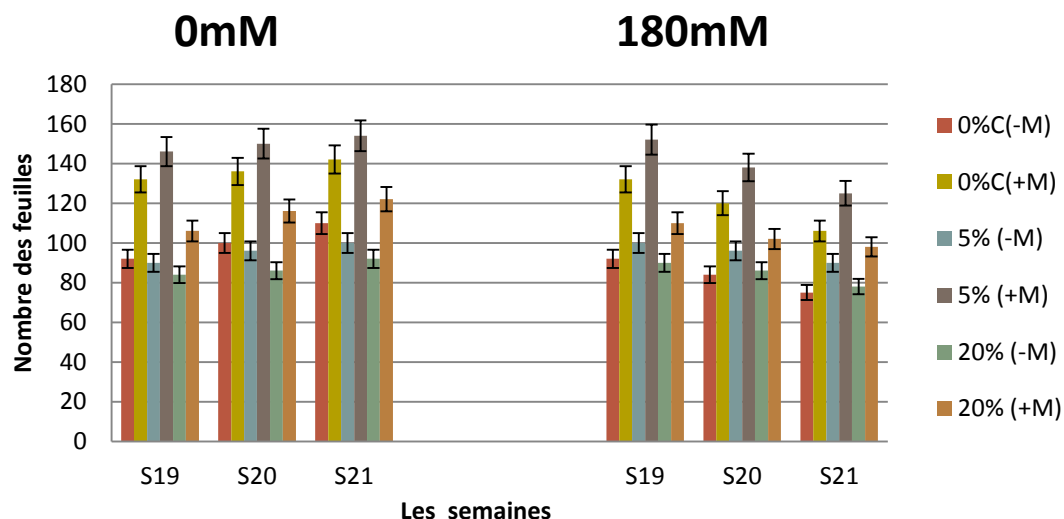


Figure 13: Effet de la salinité sur la hauteur aérienne du cyprès de l'Atlas.

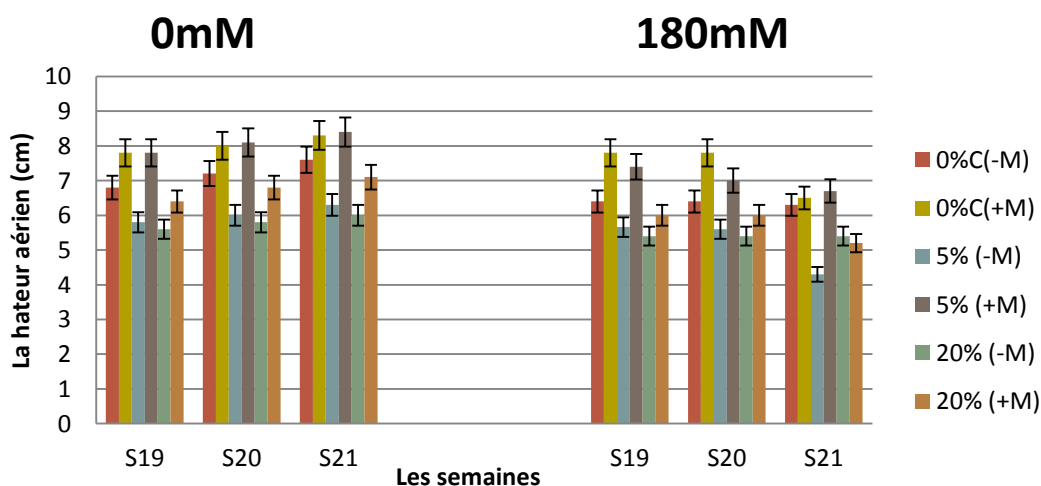


Figure 14: Effet de la salinité sur le nombre de feuilles formées du cyprès de l'Atlas.

Les figures 15A et B montrent les résultats de l'évolution de la production de biomasse fraîche et sèche en fonction de la concentration en sel et des différents traitements appliqués au sol. Le stress salin a réduit significativement le poids frais et sec des plantes témoins non mycorhizées. Les plants mycorhizés additionnés de 5% du compost ont augmenté leur biomasse fraîche et sèche aérienne. Par contre, les plants mycorhizés et non mycorhizés amendés à 20% du compost, ont baissé significativement leur poids frais et secs aériens et ce quel que le niveau salin appliqué au sol.

Malgré l'application de la contrainte saline accentuée de 180 mM, les cyprès mycorhizés additionnés de 5% du compost ont maintenu des valeurs de production de matières fraîches et sèches aériennes les plus importantes. Toutefois, l'analyse de variance à trois facteurs de classification (mycorhize, compost et stress salin) montre qu'il y a une différence significative ($p \leq 0.005$) pour la biomasse fraîche et sèche.

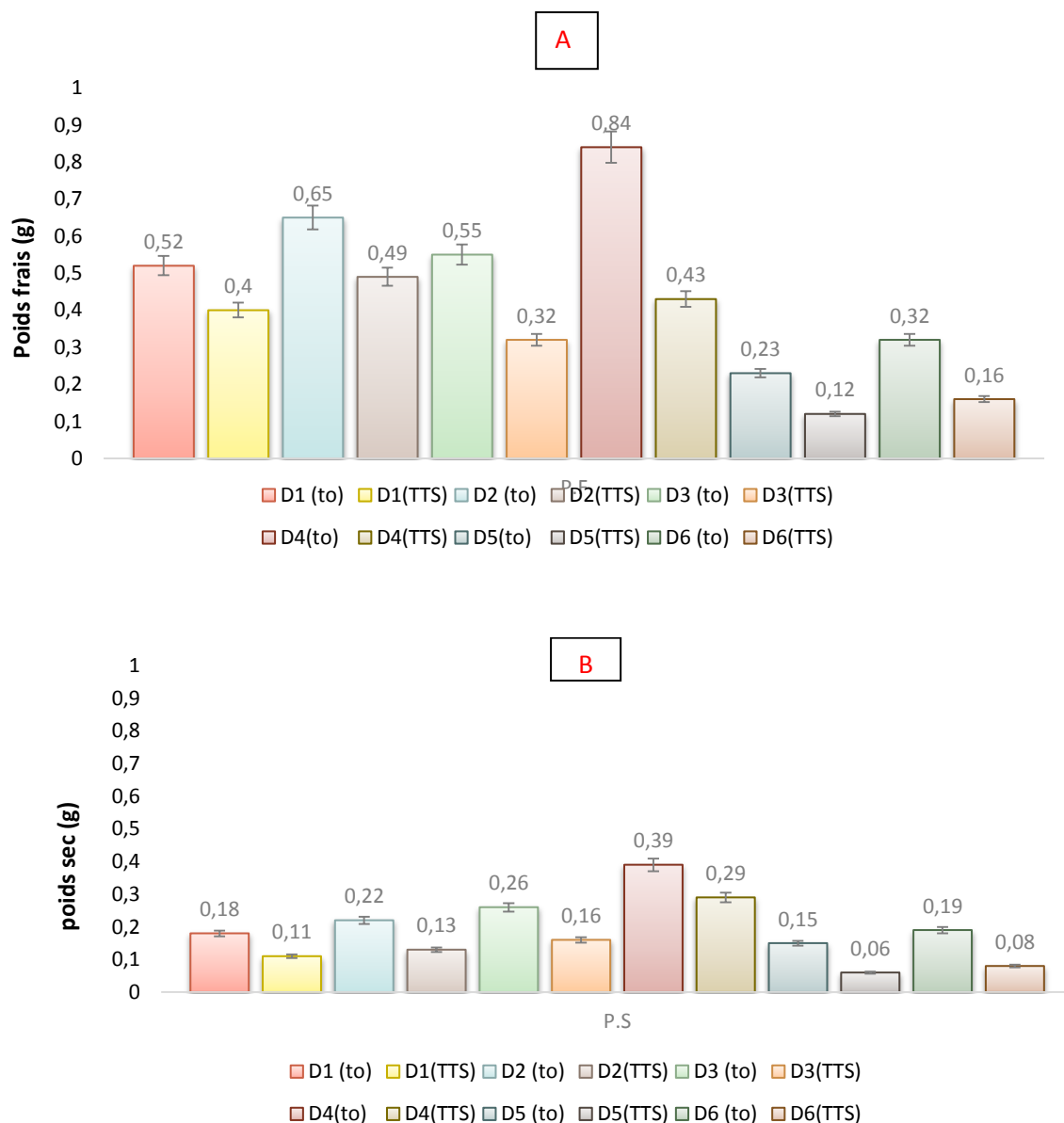


Figure 15: Effet de stress salin sur le poids frais aérien (A) et le poids sec aérien du cyprès de l'Atlas face aux différents traitements appliqués

D1to : -M, 0% C, 0 mM NaCl ; **D1tts** : -M, 0% C, 180 mM NaCl ; **D2to** : +M 0% C, 0 mM NaCl ; **D2tts** : +M 0% C, 180 mM NaCl ; **D3to** : -M 5% C, 0 mM NaCl ; **D3tts** : -M 5% C, 180 mM NaCl ; **D4to** : +M 5% C, 0 mM NaCl ; **D4tts** : +M, 5% C, 180 mM NaCl ; **D5to** : -M 20% C, 0 mM NaCl ; **D5tts** : -M 20% C, 180 mM NaCl ; **D6to** : +M 20% C, 0 mM NaCl ; **D6tts** : + M, 20% C, 180 mM NaCl.

4. Effet de la contrainte saline sur la teneur en proline et en sucre soluble de cyprès mycorhizé et amendé au compost.

Tableau 3 : les teneurs en sucres solubles et en proline des parties aériennes du cyprès en fonction des différents traitements appliqués au substrat

Traitement	Teneur en proline (µg/g)	Teneurs en sucre soluble (µg/g)
0% C (-M)	0,0064±0,0003	0,258±0,0305
0% C (+M)	0,0059±0,0009	0,216±0,0072
5% C (-M)	0,0042±0,0003	0,262±0,0123
5% C (+M)	0,0132±0,0007	0,330±0,0083
20% C (-M)	0,0216±0,0013	0,642±0,0008
20% C (+M)	0,0158±0,0009	0,875±0,0685

-M : non mycorhizée ; +M : mycorhizée ; C : compost

Le tableau 3 présente les résultats des teneurs en sucres solubles et en proline des parties aériennes du cyprès en fonction des différents traitements appliqués au sol. Les plants cultivés sur le substrat non amendé au compost ont présenté des teneurs faibles en sucres solubles et en proline que ce soit en présence ou en absence du complexe mycorhizien.

Les teneurs élevées en sucres solubles et en proline sont obtenues chez les plantes mycorhizées en présence du compost de 5% et 20% par rapport aux plantes témoins. Par ailleurs, les plants non mycorhizés et traités au compost à 20% ont présenté les valeurs en proline les plus importantes. Face à ces mêmes traitements, les plants de cyprès ont montré des teneurs élevés en sucre soluble.

Pour le sucre soluble nous avons remarqué que les teneurs enregistrées chez les plants mycorhizés additionnés de 20% ont montré des valeurs presque 3 fois plus élevés que les plants mycorhizés amendés à 5%.

Les analyses statistiques montrent que les fortes teneurs en proline et en sucre soluble sont hautement significatives ($p \leq 0,005$) chez les plantes inoculées sur un sol amendé par le compost.

Les plants mycorhizés et amendés au compost ont la capacité de mieux s'ajuster sur le plan osmotique et de maintenir une bonne turgescence.

Discussion et conclusion

L'utilisation du compost augmente la productivité des plantes (Lee et *al.*, 2004). Cette amélioration est due d'une part à l'amélioration des qualités physiques (structure et porosité) et chimiques (teneurs en azote, carbone et oligoéléments) des sols et d'autre part à la présence d'une microflore abondante et diversifiée pouvant agir directement sur la minéralisation de la matière organique (Castaldi et *al.*, 2004). D'autres études ont montré que l'ajout du compost a un effet significatif sur la croissance des plantes (1993 et Abbasi et *al.*, 2002). En effet, Dekkaki (2008) a montré que l'ajout d'un compost fabriqué à partir des déchets verts a des effets positifs sur la croissance du blé et de la véronique de perse. La biomasse des plantes amendées au compost est significativement plus élevée que celles du témoin.

Par contre, l'application de doses élevées de compost a des effets négatifs sur la croissance des plantes. Dans nos travaux, nous avons constaté que l'incorporation du compost à une dose de 20% au niveau du substrat de culture a réduit la croissance des jeunes plants de cyprès de l'Atlas. Ce qui pourrait être expliqué par les excès en matières organiques et minérales par rapport aux besoins des plantes tout en inhibant leur croissance normale. Dans le même contexte, Gamliel et Stapleton (1993) ont également trouvé que l'application de quantité importante de compost au sol après solarisation a eu un effet négatif sur la croissance et le rendement de laitue.

Par ailleurs, la mycorhization des jeunes cyprès de l'Atlas a augmenté leur paramètre de croissance. En effet, l'allongement aérien, le nombre de feuilles formées et la biomasse fraîche et sèche aérienne sont augmentés considérablement chez les plants mycorhizés que chez les plants témoins non mycorhizés. Des travaux similaires ont pu montrer l'amélioration de la croissance en hauteur des plantes ligneuses en association avec divers champignons ectomycorhiziens. De même, Ourraqui (2005) a montré que la mycorhization du pin d'Alep a amélioré la croissance en hauteur, en épaisseur du collet et le nombre de ramifications des plants par rapport aux plants témoins non mycorhizés. D'ailleurs les effets spectaculaires de l'inoculation par les champignons mycorhiziens dans la croissance et la nutrition des plants ont été démontrés chez plusieurs espèces végétales au Maroc (Oihabi et Meddich, 1996 et Meddich et *al.*, 2000 et 2004) et dans d'autres pays Méditerranéens (Strullu, 1986).

Concernant la cinétique de germination sous stress salin après 22 jours d'incubation, nos résultats ont montré que la concentration de NaCl a un effet dépressif sur la germination. Le taux de germination diminue considérablement avec l'augmentation du stress salin.

Des résultats similaires ont été obtenus chez la même espèce, et qui ont montré l'effet inhibiteur du NaCl sur la germination des graines du cyprès de l'Atlas (Sfairi et *al.*, 2012), Dans le même contexte Benidire et *al.*, 2014 ont également trouvé que les taux de germination des graines *Vicia faba* L. diminuent au fur et à mesure que la dose de NaCl augmente. La germination des graines est aussi précédée par un long temps de latence à partir de 100mM NaCl. Ce temps est plus long pour les concentrations de 150 mM et 200 mM NaCl. D'autres études ont montré que l'application de différents niveaux de NaCl induit une réduction significative du taux de germination final chez les cultivars de petit pois (Okcu et *al.*, 2005).

D'après Ben Milesd et *al.*, 1986, le retard de la germination put être expliqué par le temps nécessaire à la graine pour mettre en place des mécanismes lui permettent d'ajuster sa pression osmotique interne. Alors que Ghrib et *al.* (2011) ont expliqué que ce retard pourrait être dû à l'altération des enzymes et des hormones qui se trouvent dans les graines.

Le cyprès de l'Atlas réagit à la salinité comme un glycophyte, montrant une réduction du taux de germination avec l'augmentation de NaCl. En effet, le comportement germinatif du cyprès de l'Atlas diffère nettement des espèces halophytiques comme *Haloxylon recurvum* (Khan et Ungar, 1996) ou *Sporobolus ioclados* (Khan et Gulzar, 2003) pour lesquelles les pourcentages de germination restent élevés même à des concentrations de 200 mM NaCl. Des résultats similaires ont été observés pour certaines espèces forestières telles que *Argania spinosa* (Bani Aameur et Michmerhuizen, 2001) et *Picea asperata* (Yang et *al.*, 2010).

Nos résultats montrent qu'en présence d'un stress salin (180mM), la mycorhization par le complexe mycorhizien sélectionné permet une nette amélioration de la croissance des plants de cyprès d'Atlas. Des résultats similaires ont été rapportés dans le cas de plusieurs plantes mycorhizées (Mousain et *al.*, 1988 ; Nezzar-Hocine, 1998). Aussi, de nombreuses études ont montré une nette amélioration de la production en biomasse et de la nutrition minérale chez les plants mycorhizés par rapport aux plants non mycorhizés sous des conditions de stress salin et hydrique (Oihabi, 1991, Meddich, 2001 et Meddich et *al.*, 2015).

Face à la contrainte saline appliquée au sol, les plants du cyprès de l'Atlas inoculés par le complexe mycorhizien ont montré une baisse légère de leur croissance même en présence du compost. Mais cette croissance reste plus élevée par rapport aux témoins non mycorhizés et non amendés au compost. En effet, la salinité diminue la survie des mycorhizes par l'inhibition de l'expansion et la courbure des poils absorbants (Shachar-Hill et *al.*, 1997), ce qui entraîne une réduction du nombre de ces organes symbiotiques. Stamatiadis et *al.* (1999) ont montré que l'augmentation du taux de la salinité pourrait limiter l'utilisation du compost.

D'après nos résultats, la salinité a réduit la croissance des parties aériennes du cyprès de l'Atlas. Des résultats similaires ont été rapportés par Dubey (1994). La réduction de la croissance peut être aussi liée à des perturbations des taux de régulateurs de croissance (acide abscissique et cytokinines) induites par le sel (Smith *et al.*, 1985 et Joner *et al.*, 2000). De même, l'adaptation des plantes aux stress abiotiques a souvent été associée à des changements biochimiques au niveau de la plante par exemple l'accumulation des sucres solubles et de la proline. D'après nos résultats, la tolérance des plants de cyprès de l'Atlas a été associée à une accumulation des sucres solubles et de la proline. La proline n'agit pas uniquement comme un osmolyte mais elle pourrait aussi intervenir pour surmonter le stress oxydatif induit par la salinité (Rajendrakumar *et al.*, 1994). La proline assure également de multiples fonctions, agit en tant qu'osmoticum des enzymes cytoplasmiques. Elle peut s'agir d'un osmoticum dont l'accumulation cytoplasmique permet de neutraliser les effets ioniques et osmotiques de l'accumulation du sel dans la vacuole (Stewart et Lee, 1974). D'autres osmolytes importants comme les sucres solubles, pourraient contribuer avec plus de 50% de l'ajustement osmotique des glycophytes soumises aux conditions de salinité (Ashraf et Harris, 2004). Globalement, les espèces qui se sont montrées les plus sensibles au sel sur le plan morpho-physiologique, réagissent en accumulant plus rapidement la proline et le sucre soluble. Par contre, celles qui se sont montrées tolérantes, présentent une stabilité relative ou une faible accumulation de leur teneur en proline comparativement à celles sensibles (Lemzeri *et al.*, 2006). Chez les plantes supérieures, la proline et le sucre soluble sont accumulés en cas de stress, aussi bien suite à une augmentation de sa synthèse que par une réduction de sa dégradation (Nakashima *et al.*, 1998). Des réponses analogues ont été notées chez la luzerne soumise à un stress hydrique (Goicoechea *et al.*, 1998 et Meddich, 2001). Cette accumulation de la proline peut résulter soit d'une hydrolyse de protéines et/ou d'une synthèse de nouveau cet acide aminé (Kucey *et al.*, 1983).

Enfin, nos résultats obtenus ont révélé que les plants du cyprès d'Atlas mycorhizés sur un substrat amendé avec du compost à 5%, ont présenté une meilleure amélioration de leur paramètre de croissance.

L'exposition des plantules au stress salin s'est traduite par une réduction de la croissance des parties aériennes et du nombre des feuilles ainsi que la biomasse. Cette réduction s'est accompagnée de modifications biochimiques et structurales.

Ainsi, nous pouvons conclure que l'association mycorhize et compost est bénéfique pour la tolérance des plants de cyprès de l'Atlas au stress salin. De tel résultat peut être exploité dans les programmes de reboisement dans les zones touchées par le phénomène de salinité au Maroc

Perspectives

Cette étude préliminaire, sur les capacités d'adaptation du cyprès de l'Atlas aux différentes contraintes, ouvre des perspectives pour compléter ce travail de recherche :

- Détermination des souches mycorhiziennes composant le complexe mycorhizien natif testé.
- Application des bio-fertilisants sélectionnés et adaptés dans les programmes de production de plants performants de cyprès de l'Atlas au niveau des pépinières relevant des Centres de Recherche du Haut-commissariat aux Eaux et Forêts (partie bénéficiaire de ce programme).
- Poursuivre le comportement du cyprès de l'Atlas amendé et mycorhizé en plein champ face aux contraintes salines et hydriques.
- Lancement d'un programme de reboisement des espaces dégradés en coordination avec les Services des Eaux et Forêts pour la restauration et la préservation de cette espèce menacée

Références bibliographiques

- **Abbasi PA., Al-Dahmani J., Sahin F., Hoitink HAJ., Miller SA., (2002).** Effect of compost amendments on disease severity and yield of tomato in conventional and organic production systems. *Plant Disease*, 86 p.156-161.
- **Achhal A., (1986).** Etude phytosociologique et dendrométrique des écosystèmes forestiers de N'fis (Haut Atlas Central). *Thèse de Doctorat ès-Sciences*, Université Aix-Marseille III ; 204 p.
- **Ait Baddi G., (2005),** Contribution à la valorisation des déchets d'huileries d'olive par compostage : Approche physico-chimique, spectroscopique et bilan humique du compost. *Thèse Doctorat*, Faculté des Sciences Semlalia, Univ Cadi ayyad.140 p.
- **Alifriqui M., (1986).** Contribution à l'étude du milieu et de la végétation dans le Haut-Atlas occidental d'Amizmiz (massif de l'Erdouz-Igdat). *Thèse 3ème cycle*, Faculté des Sciences, Université Cadi Ayyad, Marrakech, 304 p.
- **Alifriqui M., (1993).** Relation station-productivité du cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica* Gaussen) en vue de la conservation des ressources génétiques et l'utilisation dans les reboisements de montagnes sèches. *Rapport scientifique de fin de stage dans le cadre de la bourse d'excellence scientifique de l'AUELF-UREF*, 70 p.
- **Alifriqui M., Michalet R., Peltier J.P., Peyre C., (1992).** Hétérogénéité des courants perturbés et répartition de la végétation sur les versants du Haut Atlas occidental marocain. *Publication de l'association Internationale de climatologie*, 5, 203-211.
- **Allemand P., (1979).** Relations phylogéniques dans le genre *Cupressus* (*Cupressaceae*). *Edition Grasso et Raddi Florence Italie Il Cipresso*, 51 -67.
- **Arbez M., (1994).** Rapport de mission FAO .génétique et amélioration des arbres forestiers au Maroc. Bilan des réalisations et premières propositions FAO Rome, 25p, +11 annexes Arbez M. (1987). Les ressources génétiques forestières en France. Tome 1 : les conifères .Paris : INRA et BRG, 236p.
- **Arjouni Y., Romane A., El Alaoui El Fels M. A., BoukirA., Romdhane M. Roques A. et Ashraf M. Y., Akhtar K., Sarwar G., Ashraf M., (2002).** Evaluation of arid and semi-arid ecotypes of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) for salinity (NaCl) tolerance. *Journal of Arid Environments* 52: 473 - 482.
- **Ashraf M.Y., Akhtar K., Sarwar G., (2005).** Role of rooting system in salt tolerance potential of different guar accessions. *Agronomy for Sustainable Development*. 25: 243-249.
- **Ashraf M.Y., et Sarwar G., (2002).** Salt tolerance potential in members of Brassicaceae. Physiological studies on water relations and mineral contents. In: Prospects for saline Agriculture. (Eds.): R. Ahmad and K.A. Malik. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. pp: 237-245.
- **Ashraf, M. et Harris, P.J.C., (2004).** Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*, 166, 3-16
- **Azcón R., Tobar R., (1998).** Activity of nitrate reductase and glutamine synthetase in shoot and root of mycorrhizal *Allium cepa*. Effect of drought stress, *Plant Sci.* 133 1–8.

- **Bachir A., El Mousadik A., Pichot C., (2004).** Diversité allozymique de peuplements decyprés naturels et introduits au Maroc : conséquences pour la gestion des ressources. *Annals of Forest Sciences*, 61, 669–676.
- **Bani Aameur F., Michmerhuizen J.S., (2001).** Germination and seedling survival of Argan (*Argania spinosa*) under experimental saline conditions. *Journal of Arid Environments*, 49, 533-540.
- **Barbero M, Quézel P. & Loisel R., (1990).** Les apports de la phytoécologie dans l'interprétation des changements et perturbations induits par l'homme sur les écosystèmes forestiers méditerranéens. *Forêt méditerranéenne* 12 : 193-215.
- **Barea J.M., Azcón-Aguilar C., (1983).** Mycorrhizas and their significance in nodulating nitrogen fixing plants, *Adv. Agron.* 3 1–54.
- **Benlaouane R., Meddich A., Faghire M., Oufdou K., Bechtaoui N., Anaya F., Fghire R., Chorhbi S., Hadioui R., Wahbi S., (2015).** Rôle des champignons mycorrhiziens autochtones dans la tolérance de la luzerne au stress Salin. *1er Forum Nationale de Recherche Scientifique sur les pluridisciplinarités*, 3-5 Juin, Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad de Marrakech.
- **Belkhodja M et Bidai Y., (2004).** Réponse des graines d'*Atriplex halimus* L. à la salinité au stade de la germination. *Sécheresse*, 4(15) :331-334.
- **Bellefontaine R., (1977a).** Onze années d'Amélioration Génétique. *Ed. Station de Recherches Forestière*, Rabat. 22 p.
- **Bellefontaine R., (1977c).** Détermination de l'âge de très gros cyprès naturels (*Cupressus atlantica*) dans différents sites, propagande pour une espèce sous-estimée. *Document interne à la Station de Recherche Forestière*. Rabat. 16 p.
- **Bellefontaine, R., (1979).** Vigueur de croissance du Cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica* Gaussan) dans son aire d'introduction au Maroc. *Annales de la recherche forestière au Maroc*, 19,235-272.
- **Ben Miled D., Bousaid M., Abdekeffi A., (1986).** Colloque sur les végétaux en milieu aride. Djerba 8-10 sept. 1986. *Fac. Sci de Tunis apt. ACCTT* 586.
- **Benabid A., (2000).** Flore et Ecosystème du Maroc, Evaluation et préservation de la biodiversité. *Editions Ibis Press*, Paris, 360 p.
- **benidir, K. Daoui, Z.A. Ftemi, W. Achouak, L. Bouarab, K. Oufdou. (2014).** Effet de stress salin sur la germination et le développement des plantules de *Vicia faba* L. *J. Mater. Environ. Sci.* 6(3) (2015) 840-851.
- **Benmahioul B., Daguin F., Et Kaid-Harche M., (2009).** Effet du stress salin sur la germination et la croissance in vitro du pistachier (*Pistacia vera* L.). *C. R. Biologies*, 332 :164- 170.
- **Ben-Salah I., Slatni T., Gruber M., Messedi D., Gandour M., (2011).** Relationship between symbiotic nitrogen fixation, sucrose synthesis and anti-oxidant activities in source leaves of two *Medicago ciliaris* lines cultivated under salt stress. *Environ. Exp. Bot.* 70: 166-173.
- **Bouchoukh I., (2010).** Comportement écophysiological de deux Chénopodiacées des genres *Atriplex* et *Spinacia* soumises au stress salin. *Mémoire de Magistère en Biologie végétale*, Université Mentouri –Constantine. 112p + annexes.

- **Boudy P., (1950).** Economie forestière nord-africaine .Monographie et traitement des essences forestières .Tome 2, fasc.1, Ed. Larose, Paris, 764-771.
- **Brundrett M.C., Piche Y. et Peterson R.L., (1985).** A developmental study of the early stages in vesicular-arbuscular mycorrhizal formation. *Canadian Journal of Botany*, 63, 184-194.104
- **Castaldi, G. Garau et P. Melis, (2004).** Influence of compost from sea weeds on heavy metal dynamics in the soil-plant system. *Fresenius Environment Bulletin*, Vol.13, 1322-1328.
- **Coperman R.H., Martin C.A., Stutz J.C., (1996).** Tomato growth in response to salinity and mycorrhizal fungi from saline or non-saline soils, *Hortic. Sci.* 31 341–344.
- **Cox D, Bezdicek D, Fauci M., (2001).** Effects of compost, coal ash, and straw amendments on restoring the quality of eroded Palouse soil. *Biol Fertil Soils*;33:365–72.
- **Dabin, B., (1967).** Sur une méthode d'analyse du phosphore dans les sols tropicaux. Bondy : *ORSTOM*, 14 p.
- **De Ferre Y., (1941).** Morphologie des plantules de gymnospermes. *Laboratoire Forestier de Toulouse*, 2, 7-8.
- **Farissi Mohamed, (2013).** Caractérisation agro-physiologique et biochimique de la tolérance à la salinité de certaines populations marocaines de luzerne (*Medicago sativa* L.) et leur symbiose rhizobienne. *Thèse de doctorat.* université Cadi Ayyad.19p.
- **Debez A., Chaibi W., Bouzid S., (2001).** Effet du NaCl et de régulateurs de croissance sur la germination d'*Atriplex halimus* L. *Agriculture*. 2 (10) : 8-135.
- **DEKKAKI, (2008).** Impact de l'utilisation d'un compost vert sur l'activité et la diversité de la microflore tellurique, *Thèse de Doctorat*, Université Paris XII Val de Marne.
- **Demeyer A., Jacob F., Tay M., Memoy G., Perrier J., (1982).** La conversion bioénergétique du rayonnement solaire et biotechnologique. *Edition Technique et documentation*, Paris, 312 p.
- **Destremau D., (1974).** Précisions sur les aires naturelles des principaux conifères marocains en vue de l'individualisation de provenances. *Annales de Recherches Forestières*, Maroc, 14 ,1-90.105.
- **Destremau D., Tahri T., (1972).** Note sur la croissance des peuplements résineux artificiels au Maroc. *Document interne à la Station de Recherche Forestière*, Rabat, 1-15 p.
- **Dixon R.K., Rao M.V., Garg V.K., (1993).**Inoculation of Leucaena and Prosopis seedlings with Glomus and Rhizobium species in saline soil: Rhizosphere relations and seedling growth. *Arid Soil, Res.Rehabil.* 7 133–144.
- **Dorfman R., Batsch G., (1985).** Les résidus urbains: Traitement et valorisation. *Edition Technique et Documentation*. Paris. 437 p.
- **Douds D.D., Millner P.D., (1999).** Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 74, 77–93.
- **Dubey R.S., 1994.** Protein synthesis by plant under stress ful condition in handbook of plant and crop stress. pp: 277-299.

- **Dudley L.M., (1994).** Salinity in the soil environment. In: Handbok of plant and crop stress. Ed. Pessarakli M, Univ of Arizona. pp : 13-29.
- **Duponnois, R., Plenchette, C., Thioulouse, J., Cadet, P., (2001).** The mycorrhizal soil infectivity and arbuscular mycorrhizal fungal spore communities in soils of different aged fallows in Senegal. *Applied Soil Ecology* 17, 239-251.
- **Ech-Chamikh, S., (1983).** Productivité du thuya (*Tetraclinis articulata* Vahl-Mast) et comportement du Cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica* Gaussen) dans le bassin versant du N'fis (Haut Atlas). *Mémoire 3eme cycle Agronomie*, option Eaux et Forêts. Institut Agronomie et vétérinaire, Hassan II, Rabat.
- **El Alaoui El Fels M.A., Roques A., Boumezzough A., (1999).** Les arthropodes liés aux galbules et aux graines du genévrier thurifère, *Juniperus thurifera* L. dans les Atlas marocains. *Ecologia Mediterranea*, Vol 25, N° 1, pp : 95-110
- **El Alaoui El Fels M.A., Roques A., Rasplus J.-Y., Battesti A., Roualt G., (2004).** Les ravageurs des cônes et des graines des Cyprès dans le pourtour méditerranéens: Cas du Cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica* Gaussen). *Naturalia Maroccana*, vol., 2 (1/2), 129- 136.
- **El faiz A., Duponnois R., Winterton P., Ouhammou A., Meddich A., Boularbah A., and Hafidi M., (2015).** Effect of different amendements on growing of *Canna indica* L. inoculated with AMF on mining substrate. *International Journal of Phytoremediation*, 17 (5) 503-513. ISSN 1522-6514. doi:10.1080/15226514.2014.950408.
- **El Fels M. A. & Alifriqui M., (2009).** Le Cyprès de l'Atlas. *Jardins du Maroc Jardins du Monde*, No 13, automne-hiver 2009 : 78-81.
- **El Fels M. A., (2007).** Le Cyprès de l'Atlas : état des lieux et perspective. Le Cyprès dans les pays Meda. *MedCypre, projet interreg. pour renforcer la cohésion des peuples du Bassin méditerranéen*, ISBN 978-88-88228-19-8, 34 p.
- **El Fels M.A et Roques A., (2006).** Guide d'identification des ravageurs des cônes et des graines des ressources phytogénétiques autochtones du Haut Atlas occidental. *Edit CNRS*. 1 Vol ; 66 p.
- **El Midaoui M., Benbella M., Aït Houssa A., Ibriz M Et Talouizte A., (2007).** Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité chez le tournesol cultivé (*Helianthus annuus* L.) *Revue HTE* 136 : 29-34.
- **El Mostafa Ouarraqi, (2005).** Rôle des champignons ectomycorhiziens autochtones dans l'amélioration de la croissance et de la tolérance du Pin d'Alep au déficit hydrique et à la fusariose *thèse de doctorat*. Université Cadi Ayyad.
- **El Wahidi F., (2004).** Le cyprès de l'Atlas, in « Les espèces de cyprès », publication supmed, l'Italie; division de Recherches et d'Exploitations Forestières ;Centre régional de la recherche forestière, Marrakech, Maroc, *Edizioni Centro Promozione Pubblicità- Firenze*, 19
- **F. A. O., (1976).** Fiches des renseignements sur les essences dont le patrimoine génétique s'appauvrit. Informations sur les ressources génétiques. *Document forestier occasionnel* 5,22-30.
- **F.I.D.A., (2004).** Fonds international pour développement agricole, DPA Marrakech, *étude d'aménagement de la forêt de l'Aghbar*.46 P.

- **Frank A.B., (1887).** Ueber neue Mycorrhiza-Formen. Ber.d. *Deut.Bot.Gessel.* 5, 395-422.
- **Gamliel A., Stapleton JJ., (1993).** Effect of chicken compost or ammonium phosphate and solarization on pathogen control, rhizosphere microorganisms, and lettuce growth. *Plant Disease*, 77 p. 886-891.
- **Gaussen H., (1950).** Espèces nouvelles de cyprès : *Cupressus atlantica* au Maroc, *Cupressus Lereddei* aux Ajers. *Le Monde des Plantes*, 270-271, 55-56.
- **Gellini R., Grossoni P., (1979).** Aspetti botanici della genere *Cupressus*. *Il Cipresso*, 27-43.
- **Genoux C., Putzola F., Maurin G., (2000).** La Lagune méditerranéenne : Les plantes halophiles. *TPE*. 1 ère S-2, 22p.
- **Ghoulam C., Fares K., (2001).** Effet of salinity on seed germination and early seedling growth of sugar beet (*beta vulgaris L.*). *Sci. et Technol.*, 29:364-377.
- **Ghrib C.D., Kchaou R., Gharbi F., Rejeb S., Khoudja L., Nejib Rejeb M., (2011).** *Euro. Journals Publishing, Inc.* 50 208.
- **Gianinazzi-Pearson V., Gianinazzi S., (1986).** The physiology of improved phosphate nutrition in mycorrhizal plants, in: Les mycorrhizes, Physiologie et génétique, *INRA Editions*, Paris, pp. 101–109.
- **Godden, (1995).** Le compostage: processus, production et utilisation. UGET 15. Compostage des déchets organiques. pp : 6-12.
- **Goicoechea N., Szalai G., Antolin M.C., Sánchez-Díaz M., Paldi E., (1998).** Influence of arbuscular mycorrhizae and rhizobium on free polyamines and proline levels in water-stressed alfalfa, *J. Plant Physiol.* 153 706–711.
- **Greenway H., Munns R., (1980).** Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. *Annual Review of Plant Physiology*, (31):149-190.
- **Guessoum, (2001).** L'effet de l'irrigation sur la salinité du sol dans la région de Saada-Biskra, *thèse ing, agro*, Univ Batna, 50 p.
- **Hang R.T. 1980.** Compost engineering principals and practice. *Ed annarbor science Mechigan USA*. 655p.
- **Harley, J. L., Smith, S. E., (1983).** Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press, London. 483 p.
- **Hatimi A. Achouri M., Oihabi A., (1997).** Endomycorhization de légumineuses fixatrices de dunes : croissance et nutrition phosphatée, *Sécheresse* 8 99–102.
- **Hocine Larbi et Benamar Belgherbi, (2007).** Les cyprès en Algérie : Historique, caractéristiques et valeurs. Institut de Biologie - Centre Universitaire de Mascara, Algérie. MedCypre. *Palermo*, Italie 7-9 Février 2007
- **Ibriz M., Thami Alami I., Zenasni L., Alfaiz C. & Benbella M., (2004).** Production des luzernes des régions pré-sahariennes du Maroc en conditions salines. *Fourrages*, 180, 527-540.
- **J. J. LEE, R. D. PARK, (2004).** Effect of food waste compost on microbial population, soil enzyme activity and lettuce growth, *Bioresource Technology* 93(1), 21-28.

- **Jacques G., Fuchs, (2009).** Fertilité Et Pathogènes Telluriques : Effets Du Compost, Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL), Ackerstrasse, CH-5070 Frick (Suisse). *Journées Techniques Fruits et Légumes Biologiques*.
- **Jebbar M., Bounsri A., Lepoutre B. (1972).** Etude pédologique des reboisements de l'arboretum d'Aïn Felfel. *Document interne* à la Station de Recherche Forestière, Rabat. 1-6.
- **Joner Erik J., Johansen A., (2000).** Phosphatase activity of external hyphae of two arbuscular mycorrhizal fungi, *Mycol. Res.* 104 81–86.
- **Jouraphy A., (2007).** Compostage des boues activées-déchets verts: analyses physicochimiques, microbiologiques, toxicologiques, bilan humique et valorisation Agronomique. *Thèse de Doctorat*, université Cadi Ayyad de Marrakech. Maroc.
- **Kernaghan G., Widden P., Bergeron Y., Légaré S., Paré D. (2003).** Biotic and abiotic factors affecting ectomycorrhizal diversity in boreal mixed-woods. *Oikos* 102, 497–505.
- **Khan M.A., Gulzar .S., (2003).** Germination responses of *Sporobolus ioclados*: a saline desert grass. *Journal of Arid Environments*, 53, 387-394.
- **Khan M.A., Ungar I., (1996).** Influence of salinity and temperature on the germination of *Haloxylon recurvum* Bunge ex. Boiss. *Annals of Botany*, 78, 547-551.
- **Koide R.T. et Mosse B., (2004).** A history of research on arbuscular mycorrhiza. *Mycorrhiza*, 14, 145–163.
- **Kucey R.M.N., Paul E.A., (1983).** Vesicular-arbuscular mycorrhizal spore populations in various Saskatchewan soils and the effect of inoculation with *Glomus mossae* on faba bean growth in greenhouse and field trials, *Can. J. Soil Sci.* 63 87–95.
- **Kulcu R., Yaldiz O., (2004).** Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes. *Bioresource Technol.*, 93, 49-57.
- **L. Mrabet, D. Belghyti, A. Loukili Et B. Attarassi, (2011).** Étude de l'effet du compost des déchets ménagers sur l'amélioration du rendement de Maïs et de la Laitue. *Afrique SCIENCE* 07(2) (2011) 74 – 84.
- **Laaziza Ben Khaled, Asun_eion G~omez, El Ouarraqi, Abdallah Oihabi, (2003).** Réponses physiologiques et biochimiques du tree (*Trifolium alexandrinum* L.) à la double association Mycorrhizes- Rhizobium sous une contrainte saline. *Agronomie, EDP Sciences*, 23 (7), pp.571-580.
- **Lacharme M., (2001).** Le contrôle de salinité dans les rizières. *Manuel Technique de Riziculture* p: 85.
- **Leclerc B., (2001).** Guide des matières organiques. *Eds Guide Technique de l'ITAB*.
- **Lemzeri H., (2006).** Réponses écophysiologicals de trois espèces forestières du genre *Acacia*, *Eucalyptus* et *Schinus* (*A. cyanophylla*, *E. gomphocephala* et *S. mölle*) soumises à un stress salin. *Mémoire de magistère*, Université de Mentouri Constantine, 180 p + annexe.
- **Levigneron A., Lopez F., Varisuyt G., Berthomien P., Casse-Delbar T., (1995).** Les plantes face au stress salin. *Cahier d'agriculture*. (4): 263-273.

- **Lignowski. E.M., Slittstoesser, W. E., (1971).** Arginine synthesis, proline syntheses and related process. In JOHN and THOMPSON (Eds): *The biochemistry of plant*, 25, pp. 225-229.
- **López-Bermúdez F., Albaladejo J., (1990).** Factores ambientales de la degradación del suelo en el área mediterránea. In: Albadejo, J., Stocking, M.A., Diaz, E. (Eds.), *Soil Degradation and Rehabilitation in Mediterranean Environmental Conditions. Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, Murcia, Spain, pp: 15–45
- **Luttge U, Kluge M., Bauer G., (2002).** Botanique. 3ème édition, *Tec et Doc* Lavoisier, Paris: 439- 450.
- **Maillard J., (2001).** Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne. Risques et recommandations. *Handicap International*, 34p.
- **Malick El Hadji Leye, Diouf Macoumba, Fatimata Ndiaye, Diallo Bassirou, Diagne Halima Maiguizo Et Diop Tahir, (2012).** Effet de la mycorhization et de la salinité sur la croissance, les réponses biochimiques et la productivité de *Jatropha curcas* L., cultivée sous serre. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6(4): 1741-1760, August 2012
- **Mc Gonigle T.P., Miller M.H., (1996).** Development of fungi below ground in association with plants growing in disturbed and undisturbed soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 28, 263–269.
- **Mc Lellan A.J., Fitter A.H., Law R., (1995).** On decaying roots, mycorrhizal colonization and the design of removal experiments. *Journal of Ecology*, 83, 225-230.
- **MCEFCS. (1999).** Procès-verbal d'aménagement de la forêt de Goundafa, type de peuplements. Ministère chargé des eaux et Forêts et la conservation des sols.
- **Meddich A., Oihabi A., Bizid E., El hadrami I., (2004).** Rôle des champignons mycorrhiziens VA dans la tolérance du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) au déficit hydrique. *Revue des Régions Arides*. Ns. 2, 640-645 (2004).
- **Meddich A., Oihabi A., Jaiti F., Bourzik W., Mohamed Hafidi M., (2015).** Role of arbuscular mycorrhizal fungi on vascular wilt and drought tolerance in date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Canadian Journal of Botany*. 93: 1-9. DOI:10.1139/cjb-2014-0249.
- **Meddich, A., (2001).** Rôle des endomycorhizes à vésicules et à arbuscules des Palmeraies Marocaines dans la tolérance des plantes de zones arides au stress hydrique. *Thèse de Doctorat National*. Département de Biologie, Université Cadi Ayyad de Marrakech, Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech, Maroc. 234 pages.
- **Meddich, A., Oihabi, A., Abbass, Y., Bizid, E., (2000).** Rôle des champignons mycorrhiziens à arbuscules de zones arides dans la résistance du trèfle (*Trifolium alexandrinum* L.) au déficit hydrique. *Agronomie*, 20, 283-295.
- **Mermoud A., (2006).** Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 23 p.
- **Mikola, P.,(1987).** Mycorrhizae under tropical stresses. *Angew. Botanik*, 61, 15-23.
- **Monneveux, P., Nemmar, M., (1986).** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*. 6: 583-590.

- **Morton, J.B., Benny, G. L., (1990).** Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, *with an emendation of Glomaceae*, Mycotaxon 37, 471–491.
- **Moumane N., (1999).** Etude du comportement de huit variétés de pomme de terre (*Solanum tuberosum*) en milieu salin naturel et effet de trois techniques culturales sur l'amélioration de la tolérance de la pomme de terre à la salinité. *Thèse de 3ème cycle*. Univ. Chouaib Doukkali, El Jadida, 129 p.
- **Mounir, (1997).** Conservation et gestion soutenue d'un peuplement de cyprès de l'Atlas. *rapport de stage.GTZ*, 64 P.
- **Munns R., Richard A.J., Lauchli A., (2006).** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, vol. 57, 5, pp: 1025 1043.
- **Nakashima K., Satoh R., Kiyosue T., Yamaguchi-Schinozaki K., Schinozaki K., (1998).** A gene encoding proline deshydrogenase is not only induced by proline and Hypoosmolarity, but is also developmentally regulated in the reproductive organs of Arabidopsis .*Plant Physiol.* 118(12): 33-41.
- **Nanson A., (1986).** The Evolving Seed Orchard: a new type. Proceed IUFRO Meet williamsburgh; octobre. 86 ; 554-566.
- **Ndour P Et Danthu P., (2000).** Effet des contraintes hydrique et saline sur la germination de quelques acacias africains. *Projet National de Semences Forestières du Sénégal*. 11 p.
- **Nezzar-Hocine H., (1998).** Associations mycorhiziennes naturelles de *Cedrus atlantica* dans le massif de Djurdjura (Algérie) et mycorhization contrôlée, *Thèse de Doctorat*, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 479 p.
- **Oihabi A., et Meddich A., (1996).** Effet des mycorhizes à arbuscules (MA) sur la croissance et la composition minérale du trèfle (*Trifolium alexandrinum*). *Cahiers Agricultures*. 5, 5: 382-386.
- **Oihabi, A., (1991).** Effet des endomycorhizes V.A sur la croissance et la nutrition minérale du palmier dattier. *Thèse de Doctorat d'Etat*. Univ. Cadi Ayyad Marrakech, Maroc/Univ. Bourgogne Dijon France. 117 p
- **Okcu G., Kya M.D., Atak M., (2005).** Turk. *J. Agric.For.* 29 237.
- **Ouahmane L., Hafidi M., Kisa M., Boumezzough A., Thioulouse J. et Duponnois R., (2007a).** Lavandula species as accompanying plants in Cupressus replanting strategies: Effect on plant growth, mycorrhizal soil infectivity and soil microbial catabolic diversity. *Applied Soil Ecology*, 34, 190-199.
- **Ouahmane L., Hafidi M., Thioulouse J., Ducouso M., Kisa M., Prin Y., Galian A., Boumezzough A., Duponnois R. (2007b).** Improvement of Cupressus atlantica Gaussen growth by inoculation with native arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Applied Microbiology*, 103, 683-690.
- **Ouahmane, (2007),** Rôles de la mycorhization et des plantes associées (lavande et thym) dans la croissance du cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica* G.) : conséquences sur la biodiversité rhizosphérique et la réhabilitation des milieux dégradés. 8-9 p.

- **Ouerghi Z., Zid E., Hajji M., Soltani A., (1998).** Comportement physiologique du blé dur (*Triticum durum* L.) en milieu salé. *CIHEAM - Options Méditerranéennes* : 309- 31.
- **Pagliai M., Vignozzi N., Pellegrini S., (2004).** Soil structure and the effect of management practices. *Soil and Tillage Research* .79: 131-143.
- **Paradis, R., Dalpé Y., Charest, C., (1995).** The combined effect of arbuscular mycorrhizas and short –term cold exposure on wheat. *New phytol.*129, 637-642.
- **Peyre C., (1983).** Etagement de la végétation et gradients climatique dans le système atlasique marocain. Le bassin de l’oued Rdat et le versant sud de l’Atlas au méridien du Tizi N’Tichka. *Bulletin de la Faculté Sciences Marrakech*, 2, 87-139.
- **Peyronnel, B., Fassi, B., Fontana, A., Trappe, J.M., (1969).** Terminology of Mycorrhizae. *Mycologia* 61, 410-411.
- **Phillips, J.M., and Hayman, D.S., (1970).** Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Brit. Mycol, Soc.* 55: 158–161.
- **Pichot, C., (1995).** Conservation et amélioration du Cyprès de l’Atlas et du Pin d’Alep au Maroc. *Rapport de mission F.A.O. UTF/MOR/011*.pp. 1-12.
- **Pozo M.J., Azcón-Aguilar C., (2007).** Unraveling mycorrhiza induced resistance. *Current Opinion in Plant Biology*, 10, 393–398.
- **Quezel P., Barbero, M., (1981).** Contribution à l’étude des formations presteppiques à genévriers au Maroc. *Bal. Soc. Ser. 2*, 53-1137-1160.
- **Rahmoune C., Maalem S., Kadri K., Ben Naceur M., (2008).** Etude de l'utilisation des eaux fortement salées pour l'irrigation des plantes du genre *Atriplex* en zones semi arides. *Revue des régions arides*, 21(2): 924-929.
- **Rajendrakumar, C.S., Reddy, B.V., Reddy A.R., (1994).** Proline-protein interaction: protection of structural and functional integrity of M4 lactate dehydrogenase, *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 201, 957-963.
- **Rejili M., Vadel M.A., Neffatp M., (2006).** Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L.) en présence du NaCl. *Revue des Régions Arides*, 1(17): 65-78.
- **Requena N., Jimenez I., Toro M., Barea J.M., (1997).** Interactions between Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR), arbuscular mycorrhizal fungi and *Rhizobium* sp. In the rhizosphere of *Anthyllis cytisoides*, a model legume for revegetation in Mediterranean semi-arid ecosystems, *New Phytol.* 136 667–677.
- **Requena N., Perez-Solis E., Azcon-Aguilar C., Jeffries P., Barea J.M. (2001).** Management of indigenous plant-microbe symbioses aids restoration of desertified ecosystems. *Applied and Environmental Microbiology*, 67, 495-498.
- **Rincon A., Ruiz-Diez B., Fernandez-Pascual M., Probanza Pozuelo J.M., de Felipe M.R. (2006).** Afforestation of degraded soils with *Pinus halepensis* Mill: effects of inoculation with selected microorganisms and soil amendment on plant growth, rhizospheric microbial activity and ectomycorrhizal formation. *Applied Soil Ecology*, 34, 42–51.

- **Rosendahl C.N., (1991).** Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus* sp.) on the response of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to salt stress, *Environ. Exp. Bot.* 31 313–318.
- **Rozema J., Arp W., Van Diggelen J., Van Esbroek M., Broekman R., Punte H., (1986).** Occurrence and ecological significance of vesicular arbuscular mycorrhiza in the salt marsh environment, *Acta Bot. Neerl.* 35 457–467.
- **Schüssler, A., Schwartzott, D., Walker C., (2001).** A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research* 105, 1413-1421.
- **Selosse, A., Le Tacon, F., (1997).** Des mycorhizes à l'origine de la flore terrestre. *J.Bot. Soc. Fr.* 3, 21-25
- **Sentenac H., Berthomieu P., (2003).** Découverte d'un nouveau mécanisme de tolérance des plantes au sel. UMR Biochimie et physiologie moléculaire des plantes (Unité mixte Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier /Université/CNRS/ INRA) Service Presse INRA. 34p.
- **Sfairi Y., Ouahmane L., Najib Al Feddy, M., Abbad, A., (2012).** Dormancy-breaking and salinity/water stress effects on seed germination of Atlas cypress, an endemic and threatened coniferous species in Morocco, *the African Journal of Biotechnology* Vol. 11(19), pp.
- **Shachar-Hill Y., Rolin D.B., Pfeffer P.E., Douds D.D., (1997).** Uptake transfer of nitrogen to the host by arbuscular mycorrhizal fungus, *Plant Physiol. (Suppl.)* 114 Abstract No. 106.
- **Simon, L., Bousquet, J., Lévesque, C. & Lalonde, M., (1993).** Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. *Nature*.vol.363, 67-69.
- **Smith S.E., Gianinazzi-Pearson V., (1988).** Physiological interactions between symbiots in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants, *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 39 221–244.
- **Smith S.E., Read D.J., (1997).** *Mycorrhizal Symbiosis*, end edn. Academic Press, London-UK.
- **SPSS. (1999).** Statistical package of the social sciences vol. 10.0. SPSS Inc., Chicago, Illinois.
- **Smith S.E., St John B.J., Smith F.A., Nicholas D.J.D., (1985).** Activity of glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase in *Trifolium subterraneum* L. and *Allium cepa* L.: Effects of mycorrhizal infection and phosphate nutrition, *New Phytol.* 99 211–227.
- **Stamatiadis S., Werner M., Buchanan M., (1999).** Field assessment of soil quality as affected by compost and fertilizer application in a broccoli field (San Benito County, California). *Applied Soil Ecology*, 12 p. 217-225.
- **Stewart Cr Et Lee J.A., (1974).** The role of proline accumulation in halophytes. *Planta*; 120 : 279-289.
- **Strullu D.G., (1986).** Micropropagation of chesnut and conditions of mycorrhizal synthesis in vitro, *New Phytol.* 102 95–101.
- **Strullu, D.G., (1991).** Les mycorhizes des arbres et plantes cultivées. Technique et Documentation. *Lavoisier. Paris.* 3e Ed., 250p.

- **Stubblefield, S. P., Taylor, T. N. & Trappe, G.M., (1987).** Fossil mycorrhizae: a case for symbiosis. *Science* 237:59-60.
- **Sylvia, D.M., Williams, S.E., (1992).** Vesicular-arbuscular mycorrhizae and environmental stresses, in: G.J. Bethlenfalvay and R.G. Linderman (Eds.), *Mycorrhizae in Sustainable Agriculture, American Society of Agronomy, Madison, WI*, pp. 101-124.
- **Tahri E.H., Belabed A.M., Sadki K., (1998).** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*). Université Mohamed Premier. Maroc. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat*, 2 : 81-87.
- **Trouvelot, A., Kouch, J., Gianinazzi-Pearson, V., (1986).** Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire : Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. Les mycorhizes: Physiologie et Génétique, 1er Séminaire Européen sur les mycorhizes. Dijon, (Eds.), Gianinazzi, S., INRA, Paris. p. 217–221.
- **USEPA (1985).** United State Environmental Protection Agency .Composting of municipal waste water sludge Cincinnati, *OH Seminar Publication*, 75pp.
- **Van der Heijden M., Klironomos J., Ursic M., Moutoglis P., Streitwolf-Engel R., Boller T., Wiemken A., Sanders I., (1998).** Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, *ecosystem variability and productivity*. *Nature*, 396, 69–72.
- **Wang W., Vinocur B., Altman A., (2003).** Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta* 218: 1 – 14.
- **Wardle D.A., Bardgett R.D., Klironomos J.N., Heikki S., Van der Putten W.H., et Wall D.H., (2004).** Ecological linkages between aboveground and belowground. *Biota. Science*, 304,1629–1633.
- **Wong J.W.C., Ma K.K., Fang, K.M. et Cheung C., (1999).** Utilization of Manure Compost for Organic Farming in Hong Kong. *Bioresource Technology*, 67 (1): 43-46.
- **Yang Y., Liu Q., Wang G.X., Wang X.D., Gao J.Y., (2010).** Germination, osmotic adjustment and antioxidant enzyme activities of gibberellins pretreated *Picea asperata* seeds under water stress. *New Forest*, 39, 231-243.
- **Sfairi Y., (2014).** Contribution à la conservation et la valorisation de *Cupressus atlantica* Gaussen, espèce endémique et menacée du Maroc .*thèse de doctorat*, Université Cadi Ayyad Marrakech. 24 p.
- **Zhu J. K., (2001).** Plant salt tolerance. *Trends in Plant Sciences* 6: 66 – 71.22–30.