



## Caractérisation des paramètres physicochimiques et des potentialités mycorrhizogènes des sols salés de la palmeraie Nord-est de Marrakech

### Characterization of physicochemical parameters and mycorrhizal potential of salt soils of North-east date palm grove of Marrakesh

A. Meddich<sup>1\*</sup>, M. Hafidi<sup>2</sup>, M. Ait El mokhtar<sup>2</sup> et A. Boumezzough<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Biotechnologie et Physiologie Végétale, Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad Marrakech Maroc

<sup>2</sup> Laboratoire Ecologie et Environnement (Unité Associée au CNRST, URAC32, Unité associée au CNERS), Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad Marrakech Maroc

Received 27 Jul 2015, Revised 04 Sep 2015, Accepted 09 Sep 2015

\*Corresponding author: E-mail: [a.meddich@uca.ma](mailto:a.meddich@uca.ma)

#### Abstract

Our work is a study of the saline soil of the Northeast palm grove of Marrakesh that determine its physical and chemical parameters and their mycorrhizal potential. Twenty four samples of rhizosphere soil of date palm were collected, homogenized and then analyzed. The results show that the soil of this area is characterized by clay-loam nature, alkaline pH, low moisture, high salinity, high levels of available phosphorus, potassium and sulfur and an average content of total nitrogen. Also, the chlorine content, calcium and iron are elevated in the soil explored. As for trace elements, manganese contents are very high and those of zinc and copper remained moderate to low compared to the needs of date palm. For against, the contents of lithium, arsenic, uranium and lead are relatively low in the soil studied compared to transition metals, titanium, silicon, strontium, zirconium and rubidium. Furthermore, we determined the mycorrhizal potential, which represents the mycorrhizal fungi propagule density in the soil as spores, mycelium and vesicles, able to form mycorrhizae. The results revealed that the mycorrhizal potential of this rhizosphere soil is high. Also, the extraction of spores allowed us to note that spores of *Glomus* genus are more abundant than those of *Sclerocystis*.

**Keywords:** Degraded soils, physicochemical parameters, potential mycorrhizal, date palm grove of Marrakesh.

#### Résumé

Notre travail est une étude du sol salé de la palmeraie Nord-Est de Marrakech déterminant ses paramètres physico-chimiques et son potentiel mycorrhizogène. Vingt quatre échantillons de sols rhizosphériques des palmiers ont été prélevés, homogénéisés et ensuite analysés. Les résultats montrent que le sol de cette zone de la palmeraie se caractérise par une texture argilo-limoneuse, un pH alcalin, un taux élevé de salinité, des teneurs élevées en phosphore assimilable, en potasse et en soufre et une teneur moyenne en azote total. Aussi, les teneurs en chlore, en calcium et en fer sont élevées dans le sol prospecté. Quant aux oligo-éléments, les teneurs en manganèse sont très élevées et celles en zinc et en cuivre sont restées moyennes à faibles par rapport aux besoins des palmiers adultes. Par contre, les teneurs de lithium, de l'arsenic, de l'uranium et du plomb sont relativement faibles dans le sol étudié par rapport aux métaux de transition, le titane, le silicium, le strontium, le zirconium et le rubidium. Par ailleurs, nous avons déterminé le potentiel mycorrhizogène, qui représente la densité de propagules de champignons mycorrhiziens présents dans le sol sous forme de spores, de mycélium et de vésicules capables à former des mycorhizes. Les résultats obtenus ont révélé que le potentiel mycorrhizogène des sols rhizosphériques dégradés de la palmeraie Nord-Est est élevé. Aussi, l'extraction des spores nous a permis de noter que les spores du genre *Glomus* sont plus abondantes que celles du genre *Sclerocystis*.

**Mots-clés:** Sols dégradés, paramètres physico-chimiques, potentiel mycorrhizogène, palmeraie de Marrakech.

## **1. Introduction**

Depuis sa création au 11<sup>ème</sup> siècle, la palmeraie de Marrakech constitue une zone marquant l'identité de la ville et un symbole naturel, culturel et économique. Elle est située dans la partie septentrionale du Haouz d'une superficie de 12 000 ha délimitée au nord par l'oued Tensift, à l'Est par l'oued Lhjar, à l'Ouest par la route de Safi et au Sud par la route de Fès. Elle constitue un stock génétique naturel diversifié, dû à la grande hétérogénéité de ses palmiers dattiers assurant de nombreux rôles socio-économiques et environnementaux [1]. Durant, les deux dernières décennies, ce patrimoine a été confronté à des contraintes liées à la sécheresse, à la salinité, à la pollution, à la pauvreté de sols, au vieillissement des palmiers, à l'urbanisation et au manque des opérations de rajeunissement et d'entretien du site. Cette situation a causé de sérieux préjudices à cette palmeraie en limitant étroitement les rendements agricoles notamment dans sa partie Nord-Ouest connue par sa vocation agricole. De plus, ces facteurs de dégradation de la palmeraie ont provoqué une réduction de 30% de sa superficie au cours des vingt dernières années [2].

C'est ainsi que la Fondation Mohammed VI pour la Protection de l'Environnement a lancé un vaste programme de réhabilitation de ce site et de rajeunissement de son peuplement de palmiers [2]. Ce qui a permis la plantation de 560 000 jeunes palmiers et l'entretien de 81 000 sujets adultes [3].

Parallèlement à ce programme ambitieux de sauvegarde et de développement de la palmeraie de Marrakech, il est intéressant de développer des programmes de recherche sur les ressources microbiennes telluriques capables d'accroître la croissance et le développement des palmiers dattiers de cet écosystème hautement apprécié.

Ainsi, les bactéries et les champignons natifs des sols sont souvent connus pour leurs capacités variées à minéraliser la matière organique et à libérer des éléments minéraux qui pourront être utilisés par les plantes [4].

Les mycorhizes sont une symbiose formée par des champignons microscopiques et des racines de plantes. Les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) aident les plantes à tolérer les contraintes édaphiques [5-6-7-8-9]. D'autres travaux de recherches ont révélé l'importance des CMA autochtones isolés de la palmeraie d'Aoufous dans l'amélioration de la résistance des palmiers dattiers au déficit hydrique et à la fusariose vasculaire [10-11]. Au-delà de ces effets bénéfiques sur la croissance, le développement et la santé des plantes, le réseau mycélien des CMA qui se développe dans le sol favorise la rétention de ses agrégats, en stabilisant ainsi sa structure et sa qualité : de ce fait, les mycorhizes peuvent aussi être considérées comme des biostabilisants. Aussi, des études récentes ont permis de révéler le rôle des champignons mycorhiziens comme bio indicateurs, puisque les sols agricoles pouvaient être caractérisés par leurs communautés de champignons MA. La présence ou l'absence d'espèces caractéristiques de ces organismes particuliers peuvent servir d'indicateurs biologiques et pédologiques [12].

Ainsi, parmi les inoculations microbiennes susceptibles d'optimiser la bonne gestion de sols, figurent les CMA. Mais, ces microorganismes sont peu utilisés en plein champ dans les conditions naturelles. Une des raisons expliquant ce manque d'intérêt de la part des agriculteurs est le caractère peu reproductible de l'effet de l'inoculant sur la plante [13]. Cette constatation résulte principalement du manque de compatibilité de l'inoculant avec les caractéristiques édaphiques du sol de plantation qui aboutit à une disparition de la souche introduite et de son impact potentiel sur la plante [13]. Il est donc nécessaire de sélectionner des souches natives adaptées aux conditions de sol de nos oasis objet de plantation et de sauvegarde.

Dans cette optique, l'objectif de notre travail est d'étudier les sols salés de la palmeraie Nord-Est de Marrakech afin de valoriser leurs ressources microbiennes telluriques notamment les CMA autochtones de cette zone. Il s'agira d'une part d'étudier les paramètres physico-chimiques de ces sols dégradés et d'autre part d'évaluer leur potentiel mycorhizogène afin de sélectionner des isolats mycorhiziens performants de la palmeraie Nord-Est de Marrakech.

## **2. Matériels et Méthodes**

### *2.1. Echantillonnages de sols*

Vingt quatre (24) échantillons de sols rhizosphériques ont été prélevés sur une profondeur située entre 10 et 40 cm, zone la plus riche en racines mycorhizables [14]. Ces prélèvements sont effectués à 1 m des stipes de palmier et sont distants 15 à 20 m. Les échantillons de sols sont ensuite mélangés et homogénéisés afin d'obtenir un échantillon composite représentatif du site.

### *2.2. Caractérisation physico-chimique des sols*

Pour la granulométrie du sol étudié, les différentes classes granulométriques de la fraction minérale du sol ont été déterminées. La destruction de la matière organique est effectuée par l'eau oxygénée ( $H_2O_2$  à 20V), puis la dispersion des argiles par l'hexamétaphosphate de sodium (50g/l). Les sables grossier et fin ont été récupérés par tamisage sous filet d'eau à 200 $\mu$ m et à 50 $\mu$ m. Les argiles et les limons sont classés par la méthode de la pipette de Robinson.

L'humidité est déterminée après séchage de 1 g d'échantillon de sol à l'étuve pendant 24 heures à 105°C ; et elle est calculée par la différence entre le poids frais et celui sec [15].

Le pH est mesuré par la méthode électrométrique à l'aide d'un pH-mètre et la conductivité est déterminée à l'aide d'un conductimètre sur un extrait aqueux au 1/5 du sol.

Le carbone organique total est dosé par la méthode d'oxydation de la matière organique à froid par un excès de bichromate de potassium  $K_2Cr_2O_7$  en présence de l'acide sulfurique concentré conformément au protocole d'Anne décrit par Aubert [16].

Pour le calcaire total, nous avons adopté le principe de la méthode de solubilisation des carbonates de calcium ( $CaCO_3$ ) par l'attaque d'acide (HCl) et par la suite, la mesure du volume de  $CO_2$  dégagé, à l'aide du calcimètre de Bernard.

La mesure de l'azote total est basée sur la transformation de l'azote organique en azote ammoniacal. L'échantillon subit une minéralisation par l'acide sulfurique concentré en présence du catalyseur Kjeldahl, puis l'Ammoniac formé est déplacé par NaOH (40%). Ensuite, l'Ammoniac entraîné par la vapeur d'eau est fixé par l'acide borique et titré avec l'acide sulfurique.

Le dosage du phosphore assimilable est réalisé selon la méthode d'Olsen qui extrait les orthophosphates par une solution de bicarbonate de sodium. Le dosage du phosphore est réalisé par colorimétrie basée sur la formation et la réduction d'un complexe phosphomolybdique qui s'accompagne d'une coloration bleue mesurée au spectrophotomètre à 820 nm.

Pour les autres éléments minéraux et les métaux spécifiques des sols prospectés notamment le K, S, Cl, Fe, Ca, Mn, Zn, Cu, Ti, Si, Sr, Zr, Rb, Y, As, U et le Pb, ils ont été mesurés par un analyseur XRF portable Delta équipé d'étalonnages spécialisés pour le mode sol en précisant les concentrations de ces éléments identifiés.

### 2.3. Estimation du potentiel mycorhizogène du sol

Le potentiel mycorhizogène du sol de la palmeraie Nord-Est est déterminé par la méthode du nombre le plus probable de propagules par unité de sol. Le potentiel infectieux du sol est un test biologique défini comme la capacité d'un sol à initier la formation d'associations mycorhiziennes à partir d'une quantité d'inoculum présent dans le sol sous forme de propagules c'est à dire de spores, de mycélium et de débris de racines portant des vésicules [17]. L'échantillon de sol de la palmeraie est séché à l'air ambiant puis tamisé à 2 mm, il est par la suite dilué dans le même sol préalablement stérilisé (120°C pendant 3 h). Six dilutions ont été réalisées (1, 1/4, 1/16, 1/64, 1/256 et 1/1024) avec 5 répétitions pour chaque dilution. Pour chaque dilution, cinq pots en plastiques, d'un diamètre de 5,5 cm et d'une hauteur de 6 cm, ont été remplis de 100 g de sol.

Le Maïs (*Zea mays* L.) est utilisé comme plante endophytique pour piéger le complexe mycorhizien indigène associé naturellement au palmier dattier. Les graines du Maïs ont été désinfectées dans l'eau de Javel pendant 15 min et rincées trois fois à l'eau distillée puis mises à germer. Ensuite, un plant âgé de 6 jours est repiqué dans chaque pot. L'ensemble est placé sous une serre (T° moyenne de 25,50°C ; Humidité relative moyenne de 71% et Lumière de 349 $\mu$ m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>). Après quatre semaines de culture, les plantes ont été dépotées et leur système racinaire a été soigneusement lavé et coloré selon la méthode décrite par Philips et Hayman [18] afin de visualiser les structures mycorhiziennes. Les racines ont été découpées en fragments de 1 cm, et montées entre lame et lamelle puis observées au microscope à l'objectif 40. Chaque système racinaire montrant au moins un point d'infection (pénétration d'un hyphe dans la racine) est considéré comme mycorhizé.

Le nombre le plus probable de propagules MPN a été calculé [19] par la formule suivante :  $\text{Log}_{10} \text{MPN} = (x \log a) - K$  ; ou x = moyenne des pots mycorhizés ; a = facteur de dilution ; y = s - x ; s = nombre de dilution ; y est requis pour la détermination de K dans la table d'Alexander [20] et Fisher et Yates [21].

### 2.4. Extraction des spores et identification des CMA indigènes

L'extraction des spores de champignons mycorhiziens à partir des sols rhizosphériques des palmiers s'est effectuée selon la méthode de Gerdman et Nicolson [22]. Le sol subit quatre tamisages de mailles allant de 800 à 50  $\mu$ m sous filet d'eau. Les sols retenus par les deux derniers tamis (50 et 200 $\mu$ m) sont récupérés et mélangés pour l'extraction des spores. Huit grammes du sol tamisé sont mis en suspension dans 8 ml d'eau distillée. Après centrifugation (2000t/min pendant 5minutes), le surnageant est éliminé car il contient les débris légers incluant les spores mortes. Le culot est re-suspendue

dans 8ml d'une solution de saccharose à 65% et centrifugé à 2000t/min pendant 10 minutes. Le surnageant contenant les spores est placé sous vide sur des filtres de type Wathman.

Les spores retenues sont classées selon leur couleur, taille, hyphes d'attachement et leur consistance afin d'identifier leur genre [23-24-25]. Le nombre de spores présentes dans 100 grammes de sol a été estimé par le comptage direct sous loupe binoculaire au grossissement 400 en utilisant cinq répétitions.

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1. Paramètres physicochimiques du sol

Les résultats de la texture du sol de la palmeraie Nord-Est de Marrakech sont présentés dans le Tableau 1. Selon le diagramme des textures du groupe d'étude des problèmes de pédologie appliquée (GEPPA), le sol de cette zone de la palmeraie est caractérisé par une texture argilo-limoneuse dominante par rapport aux autres fractions identifiées.

**Tableau 1:** Pourcentages des différentes classes granulométriques du sol testé

Classes granulométriques	A	LF	LG	SF	SG	LT	ST
Pourcentages %	21,13	45,51	9,76	11,00	12,60	55,27	23,60

A: Argile; LF: Limon Fin; LG: Limon Grossier; SF: Sable Fin; SG: Sable Grossier; LT: Limon Total; ST: Sable Total.

Les autres paramètres physico-chimiques mesurés sont présentés dans le Tableau 2 ci-dessous. Le sol étudié présente une faible humidité (<11%), il est modérément calcaire (8,40%). Le pourcentage en matière organique est de 1,92%, ce qui correspond à une teneur moyennement pauvre en matière organique. Le sol de la palmeraie étudiée est fortement salé avec une conductivité électrique de 3,45 ms/cm. Il a une réaction alcaline avec un pH élevé (7,93). Le sol étudié se caractérise par une teneur très élevée en phosphore assimilable de 156 ppm. Par ailleurs, on note que sa teneur en azote est moyenne (0,15%). Le rapport C/N fournit d'utiles indications sur l'évolution de la matière organique du sol. Le sol étudié a un rapport C/N faible 7,53, ce qui correspond à une activité biologique très importante.

**Tableau 2:** Paramètres physico-chimiques des sols prospectés de la palmeraie de Marrakech

Paramètres physicochimiques	Résultats
Humidité en %	10,79±0,7850
Calcaire total en % de CaCO <sub>3</sub>	8,40±0,3508
Matière organique en %	1,92±0,040
Conductivité électrique en ms/cm	3,45±0,0655
pH	7,93±0,055
Phosphore assimilable en ppm	156,00±8,000
Azote total %	0,15±0,007
Carbone organique totale en %	1,11±0,1135
Rapport C/N	7,53±0,036

Les résultats des autres éléments minéraux et métaux mesurés par l'analyseur XRF sont présentés dans le Tableau 3 ci-dessous. Cette analyse a concerné la détermination d'autres éléments minéraux et des éléments traces métalliques au niveau des sols de la palmeraie Nord-Est. Nous avons constaté que les teneurs des éléments majeurs (chlore, calcium et fer) exprimées en pourcentage sont élevées dans le sol prospecté. De même, le sol étudié se caractérise par une teneur très élevée en macroéléments notamment le potassium (3 288 ppm). La même constatation est également relevée dans le cas du soufre (253 ppm). Quant aux oligo-éléments, les teneurs en manganèse sont très élevées et celles en zinc et en cuivre sont restées moyennes par rapport aux besoins des palmiers adultes d'ornement. Par contre, les teneurs de certains métaux notamment lithium, l'arsenic, l'uranium et le plomb, sont relativement faibles dans le sol étudié par rapport aux métaux de transition dont le titane, le silicium, le strontium, le zirconium et le rubidium.

**Tableau 3: Concentration des éléments minéraux et ETM des sols de la palmeraie Nord-Est**

Concentration en %	
Cl	4,45±0,055
Fe	4,12±0,058
Ca	2,88±0,018
Concentration en ppm	
K	3288±43,46
Ti	1483±95,50
Si	951±91,04
Mn	396±25,34
S	253±27,82
Sr	186±2,37
Zr	145±2,09
Zn	58±3,53
Rb	51±1,37
Cu	22±4,34
Y	18±1,17
As	8±1,61
U	7±2,32
Pb	6±2,06

### 3.2. Potentiel mycorhizogène du sol

Les résultats sur la mycorhization des racines des plants cultivés sur les différentes dilutions de sol de la palmeraie sont présentés dans le Tableau 4. Les plants dont les racines montrent au moins un point d'infection sont marquées par le signe (+), et ceux dont les racines ne sont pas infectées sont marquées par le signe (-). L'ensemble des plants repiqués dans le sol concentré ou faiblement dilué (1, 1/4) a été totalement mycorhizé par les CMA (100% d'infection). Les plants cultivés dans les dilutions moyennes à fortes (1/16, 1/64 et 1/256) ont présenté des pourcentages élevés d'inoculation par les CMA allant de 60 à 80% ; par contre, ceux repiqués dans la plus forte dilution (1/1024) ont montré des pourcentages d'infection les plus faibles de l'ordre de 20%.

**Tableau 4: Résultat du potentiel infectieux mycorhizogène**

Dilutions	Répétitions					Nombre de plantes mycorhizées
	R1	R2	R3	R4	R5	
D1	+	+	+	+	+	5
D2	+	+	+	+	+	5
D3	+	-	+	-	+	4
D4	+	+	-	+	-	3
D5	+	-	-	+	+	3
D6	-	+	-	-	-	1

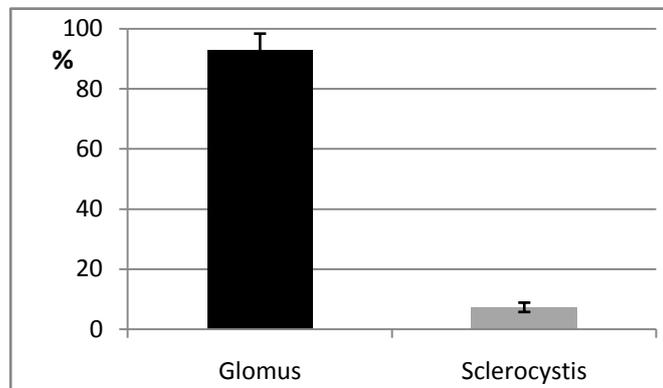
R: Répétition et D: Dilution.

Le nombre de propagules mycorhiziennes par 100 grammes de sols rhizosphériques des palmiers dattiers de la Palmeraie Nord-Est est de 148,59.

### 3.3. Dénombrement et identification des spores des champignons mycorhiziens

La Figure 1 représente la fréquence des deux genres fongiques isolés dans les sols dégradés de la Palmeraie Nord-Est. Le genre *Glomus* est le plus répandu avec une abondance évaluée à 353 spores par 100g de sol, ce qui correspond à un pourcentage de 92,6%. Alors que le genre *Sclerocystis* est à des proportions très faibles de l'ordre de 28 spores par 100g de sol, soit un pourcentage de 7,3%. Les deux genres appartiennent à la classe des zygomycètes, l'ordre des Glomales, la famille des Glomaceae [25]. Les *Glomus* ont souvent une taille moyenne

à petite et présentent différentes couleurs ; alors que les *Sclerocystis* de couleur noirâtre ont une taille plus importante et constituent un amas de spores autour d'un plexus central.



**Figure 1:** Fréquence des genres de champignons MA dans le sol de la Palmeraie Nord-Est.

Le sol de la palmeraie Nord-Est de Marrakech est calcaire, fortement salé et moyennement pauvre en matière organique. Ce sol est exposé à un déficit hydrique mais également à la salinité accentuée par l'utilisation des eaux de la nappe phréatique, riches en sels pour l'irrigation de la palmeraie. Ajoutant à ceci le dessèchement des sols et les taux élevés d'évaporation dans cette région ; ce qui provoque la montée de sels à la surface du sol. Des constatations similaires ont été relevées par Oihabi [14] au niveau des palmeraies du sud marocain. Cette alcalinité, salinité et stress hydrique limitent l'assimilabilité des éléments nutritifs et en particulier le phosphore et les oligo-éléments. Par ailleurs, les autres analyses ont montré que les sols de la Palmeraie Nord-Est se caractérisent par une matière organique bien évoluée. De même, ils sont riches en potassium et en phosphore assimilable. Leurs teneurs en azote restent moyennes. Ajoutant à ceci que ces sols sont calcaires et présentent des pH élevés, ce qui peut entraîner la formation de phosphates de faible solubilité et la diminution de certains oligoéléments. Dans ces conditions, les CMA autochtones peuvent jouer un rôle incontournable dans la nutrition hydrominérale des palmiers. En effet, les CMA indigènes sont connus par leur performance dans l'amélioration des contenus ioniques et de la tolérance des plantes hôtes aux contraintes biotiques et abiotiques [10-11-26-27].

En outre, les sols prospectés présentent un potentiel mycorrhizogène élevé. Les CMA natifs ont la capacité de mobiliser les autres formes de phosphore insolubles et non utilisables par les racines non infectées, et la quantité du phosphore assimilable dans le sol devient très importante [28]. Le potentiel infectieux mycorrhizogène d'un sol ne dépend pas seulement du nombre des spores présentes dans ce sol mais aussi de leur qualité et leur capacité d'adaptation et d'infectivité.

Bouamri et al. [29] ont rapporté des fréquences de mycorhization élevées allant de 72 à 100% au niveau des racines de palmiers dattiers mycorhizées naturellement dans les sols rhizosphériques de la palmeraie de Tafilalet. Alors que, les fréquences d'infection naturelles des racines de palmiers dattiers de la palmeraie de Marrakech sont seulement de l'ordre de 61% [30].

Dans notre cas, le genre *Glomus* est le plus abondant dans le sol de la palmeraie Nord-Est de Marrakech (353 spores/100g de sol), alors que le genre *Sclerocystis* s'est présenté à des proportions très faibles (28 spores/100g de sol).

Les travaux de Radi [30] ont montré une faible abondance de spores de CMA des sols rhizosphériques de palmiers localisés le long de boulevards et de jardinières non entretenus de Marrakech par rapport à celle des sols de certains jardins bien entretenus de cette ville. Le même auteur a constaté que le nombre des spores de CMA est affectée par les variations des propriétés physico-chimiques de sols notamment la conductivité électrique, le pH et les teneurs en phosphore assimilable. La densité de spores a été également corrélée négativement avec la concentration du Zn, Cu et du Pb au niveau des sols prospectés.

Lors du développement de la symbiose mycorrhizienne, certains CMA résistent même lorsque les teneurs des métaux lourds de sols sont élevées, ces derniers se fixent sur le mycélium des CMA, et ils ne parviennent à la racine de la plante qu'en quantités réduites [30-31].

## Conclusion

1. Les sols desséchés de la palmeraie Nord-Est de Marrakech sont salés et présentent des teneurs élevées en calcaire et de faibles taux en matière organique.

2. Les sols de cette zone ont montré un potentiel mycorrhizogène élevé qui mérite d'être exploité pour améliorer la croissance des palmiers. Les CMA autochtones adaptés aux conditions défavorables pourraient constituer un moyen biologique efficace pour les plantes vivant continuellement sous stress salin, hydrique et métallique.

3. Le genre *Glomus* est le plus répandu avec un pourcentage très élevé par rapport au genre *Sclerocystis*. Il serait intéressant de sélectionner et de mettre en valeur les espèces de CMA natives et efficaces pour la croissance et la productivité des palmiers déjà existant ou ceux nouvellement plantés dans le cadre du programme de reboisement et de réhabilitation la palmeraie de Marrakech.

**Remerciements** - Les auteurs remercient la Fondation Mohammed VI pour la Protection de l'Environnement pour les efforts colossaux déployés pour la sauvegarde et le développement de la palmeraie de Marrakech.

## Références

1. Elhoumaizi M.A., Oihabi A., Saaidi M. *Sécheresse* 2 (1998) 163-166.
2. Opm. Observatoire de la Palmeraie de Marrakech. <http://obs-palmeraie.com> (2012).
3. Meddich A. Atelier National sur la Palmeraie de Marrakech, OPM. 23 Mai. *Palais Congrès Marrakech, Maroc* (2014).
4. Blanchart E. *Alter agri bimestriel des agricultures alternatives*. 101 (2010) 12-15.
5. Ruiz-Lozano J.M., Gomez M., Azcon R. *Plant Sci*. 110 (1995) 37-44.
6. Subramanian K.S., Charest C., *Mycorrhiza*. 7 (1997) 25-32.
7. Augé R.M., Stodola J.W., Ebel R.C., Duan X., *Exp. J. Bot* 46 (1995) 297-307.
8. Tao L., Lin G., Zhang X., Yongliang C., Shubin Z., Chen B., *Mycorrhiza*. (2014) doi:10.1007/s00572-014-0578-3.
9. Vicente-Sánchez J., Nicolás E., Pedrero F., Alarcón J.J., Maestre-Valero J.F., Fernández F., *Mycorrhiza*. 24 (2014) 339-348.
10. Meddich A., Jaiti F., Bourzik W., El Asli A. Hafidi M. *Sci Horti*. 192 (2015) 468-474.
11. Meddich A., Oihabi A., Jaiti F., Bourzik W., Hafidi M. *Can. J. Bot*. 93 (2015) 369-377.
12. Oehl F., Jansa J., Ineichen K., Mäder P., Van der Heijden M., *Recherche Agronomique Suisse* 2 (2011) 304-311.
13. Duponnois R., Hafidi M., Ndoye I., Ramanankierana H., Amadou bà, M. *Edition IRD Marseille France, ISBN 978-2-7099-1827-5* (2013) 511p.
14. Oihabi A. *Thèse de Doctorat d'Etat, Université Cadi Ayyad de Marrakech* (Maroc) (1991) 117p.
15. Petard J. *Tome 1 O.R.S.T.O.M.*, 192 (1993) 7-53.
16. Aubert G. *Edition C.R.D.P., Marseille France* (1978) 360 p.
17. Ouahmane L. *Thèse de Doctorat, Université Cadi Ayyad de Marrakech* (Maroc) (2007) 196p.
18. Phillips J.M., Hayman D.S. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 55 (1970) 158-161.
19. Sieverding E. *GTZ Eschborn, Germany* (1991).
20. Alexander M. *Amer. Soc. Agro.* (1965) 1467-1472.
21. Fisher R.A., Yates F. *6th Ed. Hafner Publ. Comp, Davien* (1970).
22. Gerdman J.W., Nicolson T.H. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 46 (1963) 235-244.
23. Brundrett M., Bougher N., Dell B., Grove T., Malajczuk N. *ACIAR Monograph* 32. (1996) 154-158, 374p.
24. Koske R.E., Tessier B. *Mycol Soc. Amer. Newsletter* 34, 59 (1983).
25. Morton, J.B., Benny, G. L. *Mycotaxon* 37 (1990) 471-491.
26. Oihabi A., Meddich A. *Cahiers Agricultures*. 5 (1996) 382-386.
27. Meddich A., Oihabi A., Abbas Y., Bizid E. *Agronomie*. 20 (2000) 283-295.
28. Gianinazzi-Pearson V., Gianinazzi, S. *Springer-Verlag, Berlin, Deutschland*, (1988) 73-84.
29. Bouamri R., Dalpé Y., Serrini M.N., Bennani A. *African Journal of Biotechnology*. 5 (2006) 510-516.
30. Radi M. *Thèse de Doctorat, Université Cadi Ayyad de Marrakech* (Maroc) (2014) 143p.
31. Redon P. *Thèse de Doctorat en Sciences de sol, Université Henri Poincaré Nancy* (France) (2009) 197p.