

ARCHITECTURE RACINAIRE DE L'ARGANIER DE TOUIREF BOU AAM (TINDOUF, ALGERIE).

ACI Louiza^{1,2}, SMAIL-SAADOUN Noria¹, SAIDI Fairouz³

⁽¹⁾Laboratoire Ressources Naturelles, Université Mouloud Mammeri,
Tizi Ouzou, Algérie

⁽²⁾Université Ziane Achour, Djelfa, Algérie

⁽³⁾Laboratoire Biotechnologies, Environnement et Santé, Université Saad Dahleb
Blida 01, Algérie

E-mail: louizaaci@gmail.com

(Received 11 June 2018– Accepted 28 June 2018)

Résumé.- Dans les régions désertiques, le développement du système racinaire et son orientation sont étroitement liés à la composition physico-chimique, mais également à la géomorphologie de son substrat. L'absorption d'eau représente un challenge vital pour l'espèce végétale. L'arganier est un exemple fort d'adaptation aux conditions d'aridité. L'étude concerne la région de Tindouf (Algérie), là où l'arganier subsiste dans son aire la plus méridionale et la plus orientale. C'est dans le but de déterminer l'architecture racinaire de cette espèce que les racines de douze individus, choisis au hasard à Touiref Bou Aam, ont été mises à nu. Des mesures biométriques ont été faites sur les racines observées et des échantillons de sol ont été prélevés pour des évaluations physico-chimiques. La géomorphologie a été un support afin de mieux comprendre la situation écologique de cette espèce. Tous les arbres échantillonnés sont en bordure de l'oued et non au centre. Les résultats obtenus ont classé les individus étudiés en deux groupes distincts séparés en fonction des corrélations présentes. Un premier groupe aux nombreuses racines profondes, peu ramifiées, évoluant sur un sol à prédominance de sables et de limons grossiers a été observé sur l'ACP réalisée. Ce groupe est plus centré sur l'ancrage de l'arbre. En revanche, le second groupe renferme des sujets à racines superficielles épaisses, très ramifiées et quelques racines profondes, avec une prédominance de sables et de limons fins et une capacité de rétention importante. Une première représentation de la répartition spatiale racinaire a été réalisée. Elle permet de mieux comprendre le comportement racinaire de l'arganier face à l'aridité extrême de son milieu.

Mots-clés: Architecture racinaire, aridité, *Argania spinosa L.*, Tindouf, Algérie, sol.

ROOT ARCHITECTURE OF ARGAN TREE IN TOUIREF BOU AAM LOCALITY (TINDOUF, ALGERIA)

Abstract- In desert regions, development of root system and its orientation are not only closely linked to the physico-chemical composition, but also to the geomorphology of its substratum. The absorption of water represents a vital challenge for the botanical species. The argan tree is a strong example of adaptation in the conditions of aridity. Our study concerns the region of Tindouf (Algeria), where the argan tree remains in its most Southern and the most oriental area. It is with the aim of determining the root architecture of this species that the roots of twelve individuals, chosen at random to Touiref Bou Aam, were exposures. Biometric measures were made on the observed roots and samples of soil were taken for physico-chemical evaluations. The geomorphology was a support to understand the ecological situation and behavior of this species. The obtained results classified the individuals studied in two different groups separated according to the present correlations. A first group with numerous deep and little branched out roots evolving in a sands and unrefined silt predominant soil was observed on the realized PCA. This group is more centered on the anchoring of the tree. On the other hand, the second group contains samples with thick, very branched out superficial roots and some deep roots with a predominant sands and fine silt soil with an important retention capacity. A first representation of the space root distribution was performed. It allows to understand the root behavior of the argan tree in front of the extreme aridity of its environment.

Key words: Root architecture, aridity, *Argania spinosa L.*, Tindouf, Algeria, soil.

Introduction

Le système racinaire est la face cachée des arbres. Cette structure permet de communiquer de façon intelligente avec son environnement [1]. Comprendre la distribution spatiale du système racinaire est une étape clé afin de révéler les sources minérales du végétal [2]. En effet, les possibilités d'extraction de l'eau du sol par les arbres sont, en zones sèches, très étroitement liées à la dynamique de croissance des racines [3]. En zone aride, l'absorption d'eau représente un challenge vital pour l'espèce végétale. Les modalités très diverses par lesquelles elle s'exprime constituent autant de stratégies de résistance au facteur contraignant [4].

En région saharienne, à travers des réponses plastiques de croissance et en modifiant la forme des racines suivant le changement environnemental, beaucoup de végétaux arrivent à exploiter l'eau disponible [5]. Des études réalisées dans ce sens ont fait progresser la compréhension du comportement par lequel les ramifications racinaires évoluaient et faisaient évoluer les communautés végétales en milieu aride [6-11]. Pour RABESANDRATANA (1997), dans ses travaux sur les Dunes de Tuléar, dans le sud-ouest de Madagascar, les racines profondes étaient prédominantes dans les sols à déficit hydrique [12]. Pour GANATSAS et TSAKALDIMI (2003), en milieu aride, le système racinaire présente la plus grande densité de racines fines, moyennes et épaisses dans la strate superficielle du sol (les 30 premiers centimètres) [13]. Le même constat est fait par RAIMBAULT (2003) et GWENZI *et al.* (2011). Ils concluent que 90% de la biomasse racinaire était localisée dans les 40 premiers centimètres du sol dans les écosystèmes sous stress hydrique [14,15].

Qu'en est-il pour l'unique représentant de la famille des Sapotaceae, à savoir l'arganier: seul survivant de la flore du tertiaire [16]. Endémique du Maroc mais également d'Algérie, l'arganier est observé dans des stations au sud et sur les falaises septentrionales au nord de Tindouf [17], constituant un peuplement clairsemé, à l'état dégradé sous forme d'arbrisseaux [18]. L'arganier subsiste ici dans son aire la plus méridionale et la plus orientale. Il se retrouve dans les lits d'oueds qui coulent de façon épisodique, à l'ouest de la Hamada du Drâa, c'est à dire le long d'Oued El-Ma et ses affluents: Oued Gahouane, Oued Bouyadhine et Oued El-khebi aux alentours du point 28°N et 8°W [19-21].

La majorité des travaux effectués sur l'arganier du Maroc se sont concentrés sur son huile végétale [22], sur ses symbioses racinaires [23] et sur sa régénération [24]. En Algérie, cette espèce reste méconnue. Les travaux se sont concentrés sur sa cartographie dans la région de Tindouf [25]. En effet, ces recherches ont été effectuées afin de recenser les différentes populations présentes en Algérie, mais également de comprendre son évolution dans le temps dans ce vaste territoire désertique où elle se retrouve [26]. Etant considérée comme une espèce xérophile et thermophile, l'arganier s'adapte aux fortes périodes de sécheresse prolongées et aux effets desséchants du vent [27]. Cette faculté d'adaptation ne serait pas liée au fait que cet arbre économise l'eau, mais à sa capacité à puiser cette dernière à de grandes profondeurs [28]. En Algérie, très peu d'études ont concerné cette approche, d'où l'intérêt de ce travail.

Cette recherche tente d'expliquer les réponses architecturales racinaires de l'arganier en fonction de caractéristiques physiques et chimiques des sols sous-jacents, dans un contexte de climat saharien et en limite d'aire de répartition de l'espèce.

1.- Matériel et méthodes

1.1.- Aspect climatique

KECHAIRI (2009) dans ses travaux sur les arganeraies de Tindouf, donne la carte de répartition des arganiers au niveau de cette région. Il signale la présence de trois périmètres: Targant, Merkala et Touiref Bou Aam [25] (fig. 1).

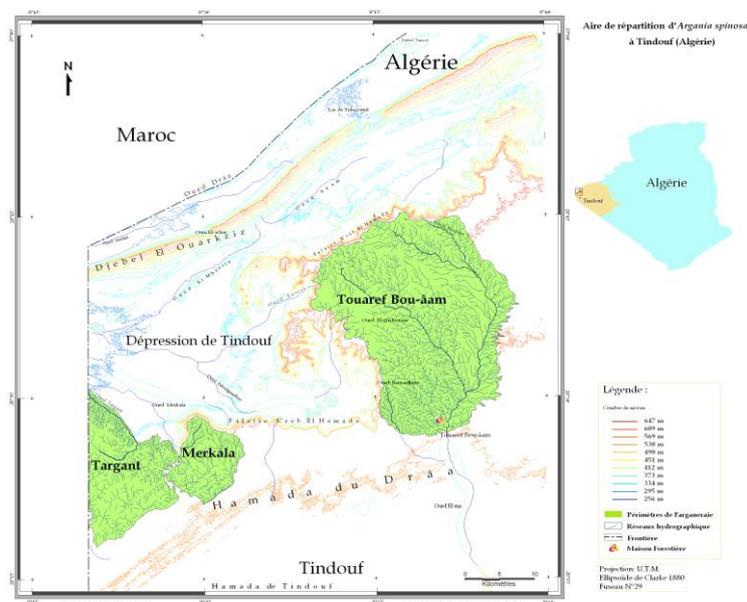


Figure 1.- Délimitation des périmètres à arganeraies, Tindouf [25].

Touiref Bou Aam a fait l'objet de cette étude et ce choix ne s'est pas fait de façon anodine. En effet, ce périmètre est considéré comme le siège de la réserve naturelle et le triage forestier au-dessus de l'embouchure, est en aval de périmètre, où existent le principal Oued de la région: Oued El-ma, collecteur des eaux des oueds de la région, à savoir: Oued Gahouane et Oued Bouyadhine. En fonction du statut désertique de la région de Tindouf, les oueds qui sont des cours d'eau temporaires, sont occupés par la végétation. À la Hamada du Drâa, ils creusent le dépôt tabulaire de cette dernière et convergent vers la Sebkhia de Tindouf [25].

Concernant les paramètres climatiques de la zone étudiée, KECHAIRI (2009) conclut pour la période 1990-2005, que le climat de Tindouf est de type saharien. La période de sécheresse dure toute l'année. L'humidité relative est considérable et peut atteindre les 50%. Elle est importante et parvient, depuis l'océan atlantique, à l'arganeraie au Nord-ouest de la Hamada du Drâa [25].

1.2.- Caractéristiques racinaires

Au cours des printemps 2013 et 2014, un échantillonnage sur douze individus parmi la population à arganier a été réalisé au niveau du périmètre de Touiref Bou Aam (N°28 27' 3.05", W008° 47' 47.35"), dans la wilaya de Tindouf. Les données climatiques des deux années au cours desquelles l'échantillonnage s'est fait ont été considérées. Les humidités, températures et précipitations sont regroupées dans le tableau I.

Tableau I.- Données climatiques mensuelles de Tindouf (2013-2014) (O.N.M) (M: Température max; m: Température min; P: Précipitations ; H: Humidité relative)

| Année | Paramètres climatiques | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | /An |
|-------|------------------------|------|------|----|----|------|----|----|----|----|----|----|----|------|
| 2013 | M (°C) | 21 | 23 | 28 | 32 | 33 | 39 | 44 | 42 | 36 | 35 | 27 | 20 | 31,7 |
| | m (°C) | 12 | 14 | 18 | 23 | 23 | 28 | 35 | 34 | 30 | 27 | 20 | 14 | 23,2 |
| | M+m/2 (°C) | 16,5 | 18,5 | 23 | 28 | 28 | 34 | 40 | 38 | 33 | 31 | 24 | 17 | 27,4 |
| | P (mm) | 0 | 0 | 5 | 1 | 0 | 1 | 4 | 2 | 8 | 4 | 0 | 2 | 27 |
| | H (%) | 35 | 36 | 47 | 32 | 37 | 29 | 17 | 10 | 35 | 36 | 35 | 45 | 32,8 |
| 2014 | M (°C) | 22 | 24 | 28 | 33 | 37 | 38 | 42 | 44 | 39 | 34 | 26 | 20 | 32,3 |
| | m (°C) | 14 | 16 | 20 | 25 | 28 | 28 | 32 | 36 | 31 | 27 | 20 | 13 | 24,2 |
| | M+m/2 (°C) | 18 | 20 | 24 | 29 | 32,5 | 33 | 37 | 40 | 35 | 31 | 23 | 17 | 28,2 |
| | P (mm) | 2 | 2 | 3 | 0 | 4 | 2 | 1 | 10 | 13 | 2 | 23 | 0 | 82 |
| | H (%) | 46 | 40 | 33 | 26 | 29 | 30 | 27 | 22 | 32 | 30 | 54 | 53 | 35,2 |

L'échantillonnage effectué s'est fait le plus aléatoirement possible au niveau de Touiref Bou Aam. Il s'est fait en prenant quatre individus au niveau de chaque oued constituant ce périmètre à savoir: Oued Gahouane, Oued Bouyadhine et Oued El-ma (fig. 2). La majorité des individus échantillonnés sont âgés. Pour chaque sujet, des données GPS et les hauteurs des arbres ont été reportées (tab. II). Les altitudes ont également été notées. Il est important de préciser que les individus échantillonnés étaient positionnés en bordure des oueds et non pas dans le lit de l'oued. Les altitudes des arbres échantillonnés ont confirmé la cartographie des pentes réalisée par KECHAIRI [25]. Tout le périmètre de Touiref Bou Aam présente une pente très faible (0 à 6%). D'une manière générale, nous pouvons en déduire que le milieu naturel de l'arganeraie est, dans sa globalité, plat.

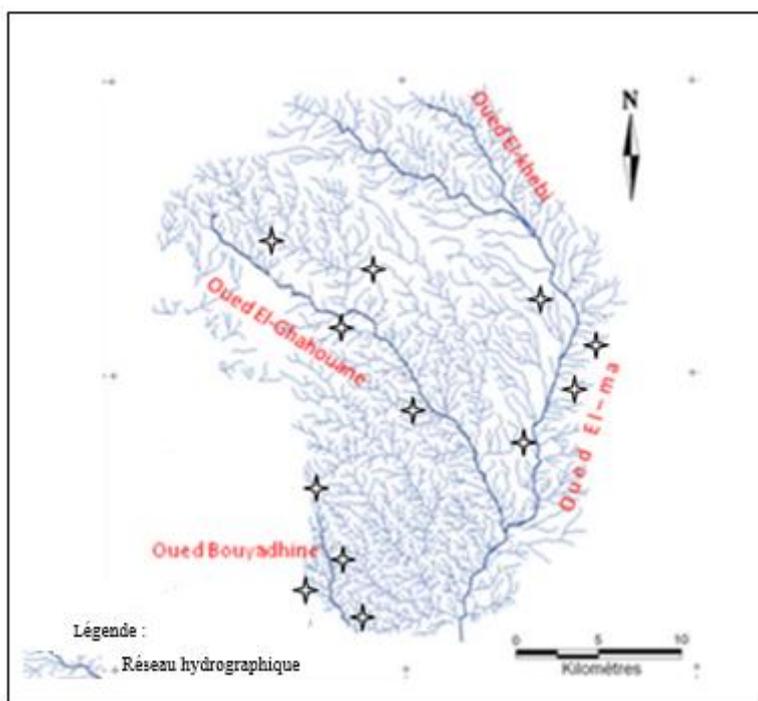


Figure 2.- Positionnement des arganiers étudiés sur le site de Touiref Bou Aam

Tableau II.- Données GPS, altitudes et hauteurs des arbres étudiés
(OB: Oued Bouyadhine; OM: Oued El Ma; OG: Oued Gahouane)

| Sujets | Périmètres | Données GPS | Hauteur de l'arbre (m) | Altitude (m) |
|--------|------------|------------------------------------|------------------------|--------------|
| S1 | OB1 | N 28°27' 31.8" W 008° 09' 20.1" | 7 | 542 |
| S2 | OB2 | N 28° 27'31.8" W 008° 09' 20.1" | 3.5 | 539 |
| S3 | OB3 | N 28° 27' 58.7" W 008° 09' 41.9" | ~ 2.35 | 540 |
| S4 | OB4 | N 28° 27' 56.9" W 008° 09' 53.6" | ~ 1.20 | 541 |
| S5 | OM1 | N 28°29' 36.5" W 008° 10' 08.0" | 3.5 | 556 |
| S6 | OM2 | N 28° 29'35.5" W 008° 10' 08.1" | ~ 3 | 557 |
| S7 | OM3 | N 28° 32' 55.1" W 008° 08' 27.2" | 03 | 552 |
| S8 | OM4 | N 28° 32' 56.9" W 008° 08' 23.0" | ~ 04 | 556 |
| S9 | OG1 | N 28° 28' 24.9" ; W 008° 13' 36.3" | 3 | 561 |
| S10 | OG2 | N 28° 28' 24.9" ; W 008° 13' 36.3" | 4 | 560 |
| S11 | OG3 | N 28° 29' 14.9" W 008° 13' 62.7" | 3.50 | 555 |
| S12 | OG4 | N 28° 29' 10.9" W 008° 13' 61.8" | ~ 5.90 | 564 |

Lors de l'échantillonnage, il est examiné les morphologies des systèmes racinaires des arganiers étudiés au niveau des différents oueds de Touiref Bou Aam. Dans un premier temps, à l'aide de pioches, pelles, bêches et brosses, nous avons soigneusement creusé, libéré et débarrassé les racines des individus choisis, après avoir réaliser un profil racinaire unilatéral (fig. 3). Par la suite, il est réalisé des croquis pour chaque profil et mesuré à l'aide d'un mètre ruban les longueurs et les circonférences des toutes les racines visibles (primaires, secondaires et/ou tertiaires). Il est dénombré les racines superficielles et profondes selon la nomenclature de RAIMBAULT (2003), à savoir celles qui colonisent respectivement les premiers 50 cm du sol sous-jacent et celles qui vont à plus de 50 cm de profondeur [14]. La longueur totale (LT), ainsi que la circonférence moyenne (CR) ont également été mesurées. Un dénombrement des ramifications a également été fait au niveau de chaque système racinaire mis à nu.



Figure 3.- Profil racinaire effectué (Originale, 2013).

1.3.- Caractéristiques physiques et chimiques des sols sous arganier

Des échantillons de sol, prélevés sur trois niveaux différents (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm) ont été récoltés sous chacun des sujets étudiés pour des analyses physico-chimiques standards, à savoir: calcaire total (CaCO_3) par la technique de calcimétrie volumétrique, dosage de matière organique par la méthode Anne, du pH et enfin capacité de rétention (CR) par la technique Feodoroff et Betremieux, ainsi qu'une étude

granulométrique effectuée par la méthode de la Pipette de Robinson modifiée [29]. Des analyses de variance (ANOVA) et une analyse en composantes principales (ACP) ont été réalisées en utilisant le logiciel Stat Box 6.4, afin de classer les systèmes racinaires et de mieux comprendre comment les différentes variables conditionnent l'évolution du réseau racinaire étudié.

2.- Résultats

2.1.- Caractéristiques racinaires

Les sujets étudiés présentent majoritairement plus de racines profondes que de racines superficielles (tab. III). Néanmoins, les sujets S5, S6 et S7 échantillonnés à Oued El-Ma, présentent plus de racines superficielles que les autres sujets. En revanche, les sujets S3 (Oued Bouyadhine), S8 (Oued El-ma) et S9 (Oued Gahouane) n'en présentent aucune. Les racines du sujet S9 sont les plus épaisses, tandis que les racines des sujets S5 et S12 sont plus fines. Les sujets S1 (Oued Bouyadhine), S7 (Oued El-ma) et S11 (Oued Gahouane) présentent le plus de racines profondes. Tous les sujets étudiés présentent des ramifications racinaires. Les sujets S4 (Oued Bouyadhine) et S11 (Oued Gahouane) ont les systèmes racinaires les plus ramifiés.

Pour les variables liées à la biométrie racinaire, aucune différence significative n'a été relevée entre les sujets échantillonnés (tab. IV).

Tableau III.- Caractéristiques racinaires des individus d'*Argania spinosa* L. étudiés (NRS: Nombre racines superficielles, NRP: Nombre racines profondes, LTR: Longueur totale des racines, CMR: Circonférence moyenne racinaire, NTR: Nombre total de ramifications, OB: Oued Bouyadhine, OM: Oued El-ma, OG: Oued Gahouane)

| Sujets | Périmètres | NRS | NRP | LTR (cm) | CMR (cm) | NTR |
|---------|------------|------|------|----------|----------|-------|
| S1 | OB1 | 3,00 | 6 | 952 | 16,89 | 14 |
| S2 | OB2 | 1,00 | 4 | 392 | 17,1 | 27 |
| S3 | OB3 | 0,00 | 2 | 313 | 34 | 6 |
| S4 | OB4 | 1,00 | 2 | 396 | 30,33 | 22 |
| S5 | OM1 | 3,00 | 4 | 399 | 7,69 | 12 |
| S6 | OM2 | 7,00 | 1 | 282 | 9,64 | 8 |
| S7 | OM3 | 3,00 | 7 | 745 | 12,2 | 10 |
| S8 | OM4 | 0,00 | 6 | 650 | 18,5 | 7 |
| S9 | OG1 | 0,00 | 6 | 800 | 39,17 | 5 |
| S10 | OG2 | 1,00 | 4 | 439,5 | 31,7 | 9 |
| S11 | OG3 | 4,00 | 7 | 813 | 16,88 | 24 |
| S12 | OG4 | 5,00 | 3 | 450 | 8,98 | 16 |
| Moyenne | - | 2,33 | 4,33 | 552,63 | 20,26 | 13,33 |

Tableau IV.- Résultats de l'ANOVA appliquée à la biométrie racinaire des individus (NS: Non significative)

| Variables | Probabilité | Interprétation |
|------------------------|-------------|----------------|
| Circonférence moyenne | 0.18 | NS |
| Longueur totale | 0.77 | NS |
| Racines profondes | 0.62 | NS |
| Racines superficielles | 0.48 | NS |
| Ramifications totales | 0.34 | NS |

2.2.- Caractéristiques physiques et chimiques des sols sous arganier

La texture des sols étudiés est répartie entre sableuse et sablo-limoneuse. Les proportions d'argiles sont équivalentes à celles des limons pour certains sols. La capacité de rétention des sols est comprise entre 19.58% et 35.68%. Les sols étudiés ont des taux en calcaire total qui varient entre 2.7% et 11.87%. Les sols sous arganiers sont peu à modérément calcaires. Les sols des zones arides sont pauvres en matière organique, les taux observés dans les sols étudiés sont extrêmement faibles. Les quantités sont comprises entre 0.19% et 0.82% (tab. V).

Les résultats pour les paramètres édaphiques ont révélé la présence de différences significatives uniquement pour les paramètres sable grossiers, limons fins, calcaire total, pH et capacité de rétention (tab. VI).

Tableau V.- Caractéristiques physico-chimiques des sols sous *A. spinosa*

(MO: Matière organique, CaCO₃: Calcaire total, CR: Capacité de rétention, A: Argile, LF: Limons fins, LG: Limons grossiers, SF: Sables fins, SG: Sables grossiers)

| | Ph | MO (%) | CaCO ₃ (%) | CR (%) | A (%) | LF (%) | LG (%) | SF (%) | SG (%) | Texture |
|------------|------|--------|-----------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-----------------|
| S1 | 7,87 | 0,34 | 11,87 | 28,87 | 6,83 | 2,82 | 0,44 | 64,33 | 25,58 | Sableuse |
| S2 | 8,11 | 0,40 | 10,31 | 26,65 | 5,29 | 0,08 | 0,94 | 66,72 | 26,97 | Sableuse |
| S3 | 8,32 | 0,54 | 5,52 | 2,39 | 6,89 | 3,73 | 5,90 | 62,03 | 21,45 | Sablo-limoneuse |
| S4 | 7,83 | 0,54 | 5,01 | 19,58 | 5,28 | 0,08 | 4,67 | 66,17 | 23,80 | Sableuse |
| S5 | 7,56 | 0,51 | 8,74 | 35,68 | 8,00 | 7,20 | 1,91 | 80,87 | 2,02 | Sablo-limoneuse |
| S6 | 7,56 | 0,31 | 5,62 | 35,09 | 1,64 | 5,45 | 1,8 | 84,47 | 6,64 | Sablo-limoneuse |
| S7 | 8,12 | 0,82 | 7,29 | 24,48 | 8,03 | 7,1 | 3 | 80,72 | 1,15 | Sablo-limoneuse |
| S8 | 8,14 | 0,7 | 7,7 | 23,72 | 1,86 | 7,26 | 2,08 | 82,15 | 6,65 | Sablo-limoneuse |
| S9 | 7,49 | 0,37 | 9,68 | 29,64 | 4,13 | 3,63 | 1,42 | 66,44 | 24,38 | Sableuse |
| S10 | 7,39 | 0,49 | 8,12 | 28,64 | 6,82 | 0,84 | 7,06 | 78,58 | 6,7 | Sablo-limoneuse |
| S11 | 8,13 | 0,48 | 2,7 | 22,1 | 4,13 | 2,01 | 4,57 | 67,39 | 21,9 | Sableuse |
| S12 | 8,26 | 0,19 | 3,75 | 24,59 | 6,8 | 1,09 | 7,07 | 78,38 | 6,65 | Sablo-limoneuse |

Tableau VI.- Résultats de l'ANOVA appliquée aux paramètres physico-chimiques des individus (NS: Non significative; *: significative)

| Variables | Probabilité | Interprétation |
|------------------------------|-------------|----------------|
| pH | 0.00 | * |
| Matière organique | 0.07 | NS |
| Calcaire total | 0.01 | * |
| Capacité de rétention | 0.00 | * |
| Argiles | 0.47 | NS |
| Limons fins | 0.00 | * |
| Limons grossiers | 0.11 | NS |
| Sables fins | 0.08 | NS |
| Sables grossiers | 0.01 | * |

2.3.- Architecture racinaire de l'arganier en fonction de variables des sols sous-jacents

La matrice de corrélation de Pearson montre une nette corrélation négative significative entre les sables fins (SF) et les sables grossiers (SG). Le calcaire est corrélé négativement avec les limons grossiers (LG). Une corrélation négative significative est observée entre la capacité de rétention et le pH. Les limons fins sont corrélés négativement avec les sables grossiers, ainsi que le nombre total de ramifications. Enfin, une corrélation significative positive est à noter entre le nombre total de ramifications et la longueur totale racinaire (tab. VII).

Tableau VI.- Matrice de corrélation entre les différentes variables

| | CaCO ₃ | A | pH | MO | LF | CR | LG | SF | SG | RS | RP | LT | CM | TR |
|-------------------|-------------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------------|-------------|-------|----|
| CaCO ₃ | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| A | 0,18 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| pH | -0,37 | 0,09 | 1 | | | | | | | | | | | |
| MO | 0,01 | 0,12 | 0,19 | 1 | | | | | | | | | | |
| LF | 0,13 | -0,10 | -0,05 | 0,51 | 1 | | | | | | | | | |
| CR | 0,39 | -0,16 | -0,68 | -0,28 | 0,21 | 1 | | | | | | | | |
| LG | -0,68 | 0,30 | 0,20 | -0,04 | -0,40 | -0,49 | 1 | | | | | | | |
| SF | -0,13 | -0,16 | -0,25 | 0,18 | 0,57 | 0,55 | 0,03 | 1 | | | | | | |
| SG | 0,19 | -0,13 | 0,15 | -0,30 | -0,61 | -0,35 | -0,21 | -0,94 | 1 | | | | | |
| RS | -0,38 | -0,10 | -0,05 | -0,43 | 0,11 | 0,45 | -0,01 | 0,46 | -0,38 | 1 | | | | |
| RP | 0,29 | 0,08 | 0,12 | 0,40 | 0,25 | 0,15 | -0,31 | -0,06 | 0,03 | -0,20 | 1 | | | |
| LT | 0,17 | 0,02 | 0,32 | 0,19 | -0,27 | 0,04 | -0,36 | -0,39 | 0,47 | -0,08 | 0,63 | 1 | | |
| CM | 0,38 | -0,21 | -0,52 | 0,09 | 0,07 | 0,06 | -0,13 | -0,19 | 0,21 | -0,56 | 0,31 | -0,16 | 1 | |
| TR | -0,18 | 0,07 | 0,31 | -0,19 | -0,63 | 0,00 | 0,00 | -0,36 | 0,44 | 0,14 | 0,03 | 0,70 | -0,56 | 1 |

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha = 0,05 (test bilatéral)

Le plan ½ de l'ACP montre 47% de l'inertie totale, avec 26% pour l'axe 1 et 21% pour l'axe 2. Il y a lieu de noter la présence de deux groupes distincts (fig. 4). Les sujets étudiés sont répartis en fonction de la nature du sol et surtout de sa granulométrie. En effet, le groupe A est caractérisé par la présence de sables fins et de limons fins, par une capacité de rétention élevée, par des taux plus ou moins importants en matière organique et par un taux de calcaire total appréciable. Les racines des individus au sein de ce groupe sont pour la plupart superficielles. Le groupe A comprend les sujets de Oued El-ma (S5, S6, S7, S8) et un sujet de Oued Gahouane (S10). Le groupe B, quant à lui, renferme des sujets à racines profondes dont la longueur totale est élevée et des sols où la teneur en limons grossiers et en sables grossiers est importante. Ces sols sont caractérisés aussi par des pH plus élevés. Le groupe B comprend les sujets de Oued Bouyadhine (S1, S2, S3, S4) et un sujet d'Oued Gahouane (S11). Le système racinaire est plus ramifié que celui des individus du groupe A.

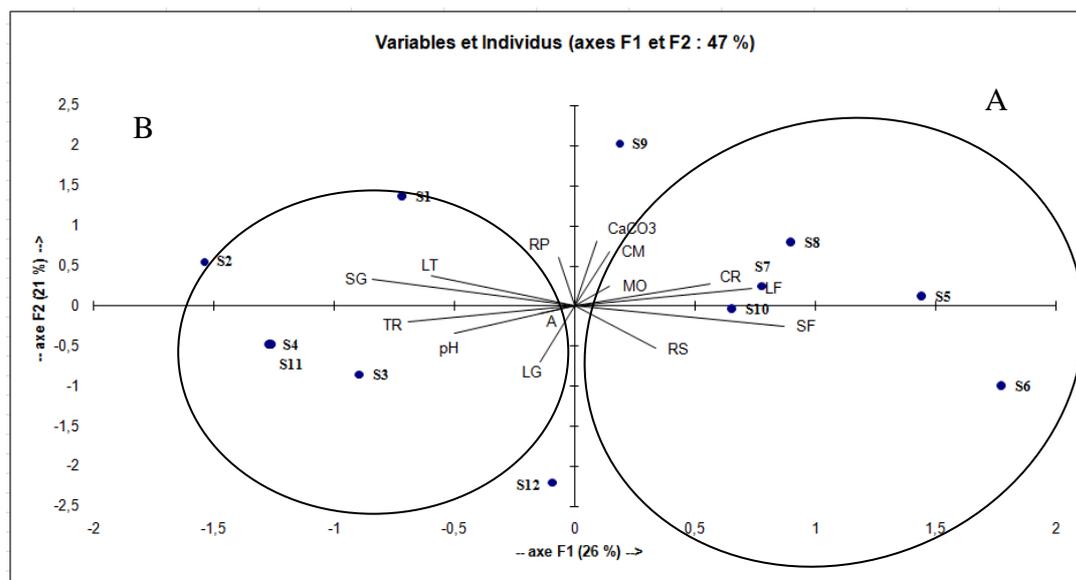


Figure 4.- ACP des variables étudiées pour le périmètre de Touiref Bou Aam

Par la répartition des sujets étudiés, les sables fins mélangés aux limons fins favorisent une capacité de rétention plus importante et donc, une évolution vers un système à racines superficielles plus importantes, tandis que les sables grossiers et les limons grossiers favoriseraient l'évolution de la majorité des racines en profondeur.

Les sujets S9 et S12 présentent des caractéristiques communes aux deux groupes suscités. Le sol du sujet 09 renferme des limons fins, des limons grossiers, mais également une proportion en sables fins et grossiers importante et un pH élevé ; les racines de ce sujet sont profondes et épaisses. Le sujet 12, quant à lui, présente des racines profondes mais également des racines superficielles. Le taux de ramification de ces dernières est plus ou moins élevé. Le sol sous ce sujet est riche en limons grossiers, mais surtout en sables fins.

3.- Discussion

Dans les régions désertiques, le développement du système racinaire et son orientation sont étroitement liés à la prédominance des sables, au moins en surface [30], mais également à la géomorphologie de son substrat. En effet, il n'est pas toujours aisé de séparer totalement l'action chimique et biologique de l'action mécanique. Ces deux types sont interdépendants [31]. Concernant les systèmes racinaires de l'arganier, deux types d'architecture racinaire sont à relever. Le premier est un système racinaire superficiel avec pivot persistant, englobant cinq individus (S5, S6, S7, S8, S10). Le second, un système racinaire portant davantage sur l'élongation en profondeur (S1, S2, S3, S4, S11). Le déficit hydrique du sol augmente l'extension latérale racinaire des ligneux et la forte pénétration en profondeur du pivot indique aussi une recherche d'eau et d'éléments minéraux [32]. En d'autres termes, l'augmentation de la croissance en profondeur des racines est en rapport direct avec le déficit hydrique [34].

Dans les régions chaudes où l'humidité et la sécheresse s'alternent, la profondeur moins importante des sols rend plus efficace l'action mécanique des racines sur la roche mère. Il faut remarquer que dans ces régions où les nappes phréatiques sont assez profondes et soumises à un battement saisonnier non négligeable, beaucoup de plantes

enfoncent leurs racines à des profondeurs considérables [31].

En ce qui concerne les caractéristiques édaphiques, celles-ci influencent de façon significative l'architecture racinaire de l'arganier. Le groupe « A » concerne les individus dont la capacité de rétention est importante, du fait de la texture sablo-limoneuse de ces sols. Une couverture sablo-limoneuse impose un cheminement lent de l'eau de la surface jusqu'au plancher rocheux. Sur les épandages limoneux, moins de 25% de l'eau s'infiltré ; le reste contribue à lisser et imperméabiliser la surface [33]. Ses mêmes sols sont riches en matière organique. Cette dernière améliore les agrégats du sol et la stabilité structurale, qui avec la porosité, sont importants pour l'aération du sol et l'infiltration de l'eau dans ce même sol [35]. Les taux appréciables de calcaire total participent aussi à cette rétention d'eau. LIMANE *et al.* (2014) indiquent que le complexe « limons-calcaire » offre au sol une importante capacité de rétention [11]. Celle-ci est une réserve d'eau inégalée selon FLORET et PONTANIER (1982) [37]. Les racines des individus de ce groupe sont en majorité superficielles, avec une circonférence moyenne importante. Les sujets concernés sont le sujet 10 d'Oued Gahouane et l'ensemble des individus échantillonnés à Oued El-ma. Ce dernier est en réalité un collecteur des eaux des oueds de la région [25]. Les taux importants de sables fins réduisent la compaction du sol et donc facilitent la présence de racines superficielles [38]. Les racines superficielles latérales ont la faculté de capter l'intégralité du potentiel hydrique, y compris l'eau de ruissellement, l'eau de rosée et l'humidité hygroscopique par capillarité entraînée par l'évapotranspiration [11]. Dans ces sols, les calcaires et les limons fins forment un complexe qui permet la rétention d'eau et donc, un accroissement racinaire au dépend de l'allongement des racines, suite à l'exploitation de l'eau retenue après ruissellement. Cette absorption d'eau et des minéraux peut avoir lieu, selon LIMANE *et al.* (2014) dans les systèmes racinaires peu profonds au printemps et en automne et fournir une majeure partie des réserves pour la partie aérienne [11].

Pour les arganiers du groupe B, à savoir le sujet 11 d'Oued Gahouane et tous les sujets d'Oued Bouyadhine, ils présentent des racines fines et profondes et le sol sous-jacent est de texture sablo-limoneuse à sableuse. La pénétration profonde des racines d'arganiers examinés est due à la texture du sol qui devient de plus en plus grossière, au niveau des sols échantillonnés. En effet, d'après [36], cette texture grossière est à l'origine de l'infiltration profonde de l'eau et des racines et fait diminuer ainsi leur circonférence. Sur les sables, la pénétration entre les grains est quasi instantanée; elle peut atteindre 90 à 95% de l'eau tombée, et il n'y a pratiquement pas de ruissellement [34].

Les individus échantillonnés dans le groupe A sont ancrés, grâce à des racines superficielles volumineuses, dans des sols à texture sablo-limoneuse, dont les quantités de calcaire sont non négligeables. Un système racinaire peu profond peut être suffisant pour l'ancrage et qui est donc préféré au système racinaire profond [39]. Ces suppositions concordent avec les travaux effectués sur certaines plantes des régions arides et leur capacité à favoriser le développement d'un système racinaire primaire peu profond [40, 36, 12]. La présence de racines superficielles explique en grande partie la survie de l'espèce dans ces conditions extrêmes [1]. En effet, les racines horizontales, généralement superficielles et très longues, sont sensibles aux conditions externes. C'est pourquoi, en régions arides, elles colonisent les 50 premiers centimètres du sol afin de pouvoir capter la moindre source hydrique. Cette captation est nécessaire à chaque saison, afin de permettre une meilleure adaptation à la saison sèche [14]. Les racines superficielles se développent dans les premiers horizons riches en eau, matière organique et minéraux essentiels. Cette

strate se réchauffe rapidement au printemps, mais se refroidit hâtivement en hiver. Ce sont les racines profondes qui se chargent d'emmagasiner le maximum de ressources hydriques, afin de résister et survivre aux longues périodes de sécheresse [40, 14].

La signification écologique des racines profondes pour l'écoulement de l'eau dans les écosystèmes soumis à de forts stress d'évapotranspiration a été démontré par le mécanisme de l'« ascenseur hydraulique » ou « Hydraulic lift » chez de nombreuses espèces [42, 43]. Les racines profondes peuvent être favorisées par la texture sableuse du sol, à cause de l'infiltration facile et profonde typique des sols à texture grossière [44]. Ces mêmes auteurs attestent que 5% de la biomasse racinaire des végétaux qu'ils ont échantillonnés se trouvent en superficie entre 0.14 m et 0.43 m du sol, et 95% dans les 0.61 m à 1.88 m du sol. Les plantes des régions arides tendent à avoir une large diffusion de racines latérales relatives à la taille de leur canopée, comparées aux plantes des régions semi-arides et humides. Cette différence est essentiellement due aux facteurs édaphiques [45]. JACKSON *et al.* (2000) et SPERRY *et al.* (1998) suggèrent que les plantes ont besoin d'un système racinaire plus large que leur canopée et plus profond dans les textures grossières, parce que ces sols subissent un stress hydrique [39,46]. La capacité de rétention de ces sols reste faible, empêchant ainsi l'évolution des espèces végétales avoisinantes. En 1995, PATE *et al.* (1995) indiquent pour des espèces arborées d'Australie évoluant sous climat méditerranéen, que les racines profondes montrent une densité élevée en vaisseaux, ce qui indique que leur fonction majeure est le transport d'eau [48, 47]. Cet apport en eau est nécessaire pour maintenir les stomates ouverts et aider ainsi la plante à franchir la saison chaude [49]. L'arganier adopte une stratégie phréatophytique par l'augmentation de la longueur de son système racinaire, afin qu'il soit en contact avec les niveaux humides profonds. L'espèce est ainsi protégée de la dessiccation pendant la longue saison sèche.

Les sujets S9 et S12, quant à eux, possèdent un système racinaire qui investit en nombre de ramifications, en allongement superficiel et profond. C'est une adaptation remarquable et unique, car les racines de ces sols évoluent sur des substrats grossiers, mais avec de fortes teneurs en sables fins. Ces sols donc ne retiennent pas l'eau et poussent les racines dans les couches superficielles à la recherche de ressources hydriques, tandis que l'élongation en profondeur sert pour l'ancrage et la stabilité de l'arbre dans l'oued. Les sujets 9 et 12 de Oued Gahouane présente donc les caractéristiques communes des groupes A et B.

ATGER (1992) souligne que l'analyse architecturale permet une caractérisation qualitative complète de l'architecture: il s'agit d'une définition des types d'axes, de leurs caractéristiques et de leur mode de développement [50]. L'évolution du système racinaire est étroitement liée à la texture du sol (fig. 5) et rappelle celle décrite par LIMANE *et al.* (2014) sur les individus jeunes, moyens et âgés du pistachier de l'Atlas et qui adopteraient deux types d'architecture racinaire: superficiel et profond généralisé [11]. En ce qui concerne l'arganier, très peu de sujets jeunes ont été échantillonnés, du fait de l'absence de régénération dans la zone étudiée. La présence de racines profondes au niveau de tous les sujets étudiés laisse penser que le pivot ne dégénère pas. Les racines superficielles sont présentes et leur densité est fonction des caractéristiques physico-chimiques du sol.

Supposition d'un jeune arganier avec un pivot central et de nombreuses racines superficielles horizontales

Si $(LG + CaCO_3) \downarrow$ et $SG \uparrow$ et $CR \downarrow$ Dans ce cas, l'arganier oriente son système racinaire vers le type profond, généralisé (1)
Les sujets du groupe B concernés sont S1, S2, S3, S4 et S11

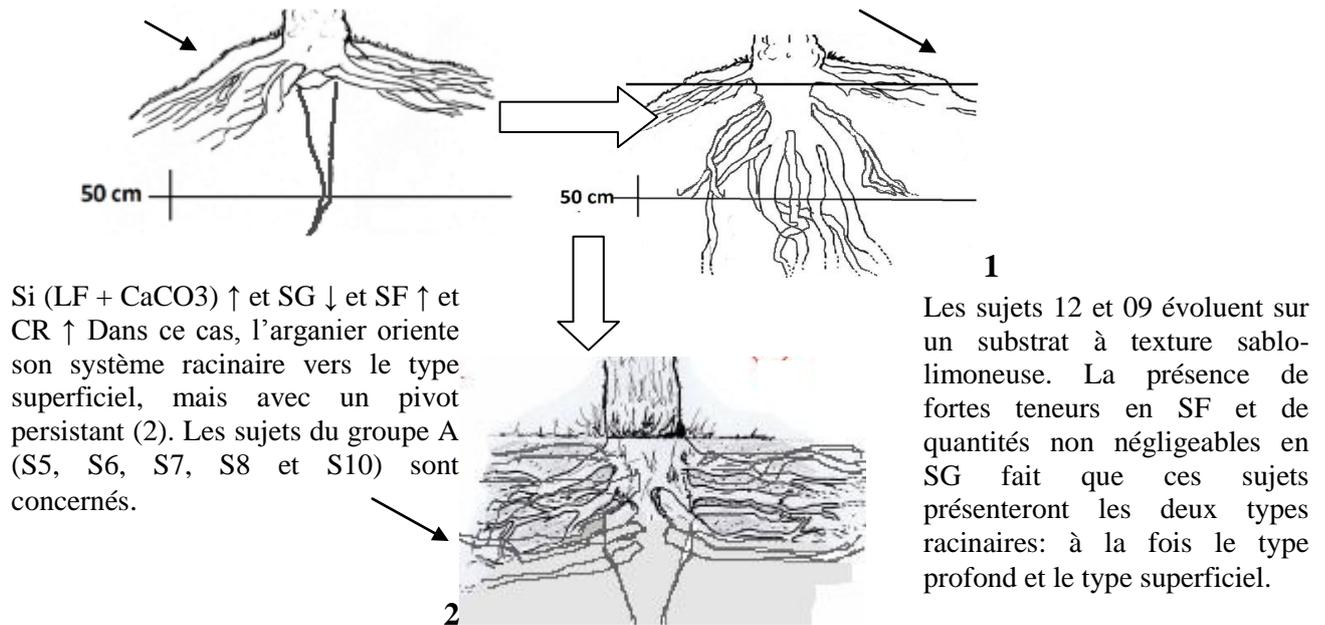


Figure 5.- Evolution du système racinaire de l'arganier de Touiref Bou Aam (Tindouf) en fonction des caractéristiques physico-chimiques du sol (MO: matière organique. CaCO₃: calcaire total. CR: capacité de rétention, A: argiles, LF: limons fins, LG: limons grossiers, SF: sables fins, SG: sables grossiers)

Conclusion

Le présent travail est une introduction à la caractérisation du système racinaire de l'arganier (*A. spinosa*), en fonction des caractéristiques physico-chimiques de son sol. Les arganiers étudiés végètent dans une région désertique, dont les sols échantillonnés ont présenté soit une texture sablo-limoneuse, riche en calcaire ou une texture sableuse pauvre en cet élément. La présence de limons et de calcaire confère aux sols étudiés une bonne capacité de rétention et assure potentiellement à l'arganier une réserve utile d'au moins 20% de l'humidité totale. Les sujets étudiés d'*A. spinosa* ont présenté deux types racinaires selon la classification de HELLMERS *et al.* (1955) [51] ; HAIRIAH et VAN NOORDWIJK (1986) [52]. Il s'agit en grande partie du type 1, pénétration profonde des racines primaires et fortes ramifications secondaires superficielles. En second lieu le type 2, des racines qui sont horizontalement étalées et à faible profondeur dans le sol.

La situation continentale de l'arganier de Tindouf confère des caractéristiques écologiques particulières sur la limite méridionale de son air [26]. Il est spécifique et bien adapté à son milieu naturel, au sein des réseaux hydrographiques, creusant la dureté de la Hamada du Drâa. Il joue un rôle écologique très important pour la lutte contre la désertification dans l'écosystème des zones arides, par la fertilité et la restauration des sols. Il abrite une strate herbacée, contribue à la stabilisation des cours d'eau dans les bordures des oueds et assure un habitat pour la faune sauvage.

Au vu des résultats, l'arganier de Tindouf est un exemple remarquable d'adaptabilité face aux conditions d'extrême aridité. Ceci pousse à approfondir les recherches, afin de schématiser et d'observer les différents facteurs aidant à la survie de cette espèce, tant sur le plan « plante-microorganismes » que sur celui des relations existantes entre les différentes espèces végétales colonisant cet espace saharien.

Références

- [1].- Drénou C., 2006.- Les racines: Face cachée des arbres. Institut pour le développement forestier, CNPPF, Paris, 335p.
- [2].- Lynch J., 1995.- Root architecture and plant productivity. *Plant Physiol*, 109: 7–13.
- [3].- Richards. R. et Passioura B., 1981.- Seminal root morphology and water use of wheat. Environmental effects. *Crop Sci.*, 211: 249-252.
- [4].- Vartanian N. et Lemée G., 2014.- La notion d'adaptation à la sécheresse. *Bulletin de la Société Botanique de France, Actualités Botaniques*, vol. 131: 7-15p.
- [5].- Wraith J.M. et Wright K.W., 1998.- Soil water and root growth. *Hortscience*, 33: 951-959.
- [6].- Kembel S.W. et Cahill J.F Jr., 2005.- Plant phenotyp plasticity belowground a phylogenetic perspective on root foraging tradeoffs. *The American Naturalist*, 166: 216-230.
- [7].- Kroon H. et Mommer L., 2006.- Root foraging theory put to the test. *Trends Ecol Evol*, 21(3): 113–116.
- [8].- Hodge A., 2006.- Plastic plant and patchy soils. *Journal of Experimental Botany*, 57: 401-411p.
- [9].- Grime J. P., 2007.- Plant strategy theories: a comment on Craine. *Journal of Ecology*, 95: 227–230.
- [10].- Kembel S. W., De Kroon H., Cahill J. F. Jr et Mommer L., 2008.- Improving the scope and precision of hypothesis to explain root foraging ability. *Annals of Botany*, 101: 1295-1301 p.
- [11].- Limane A., Smail Saadoun N. et Thomas G., 2014.- Root architecture of Atlas pistachio in relation to underlying soil properties under arid conditions. *African Journal of Agriculture Research*, vol 9 (6): 622-625.
- [12].- Rabesandratana R. N., 1997.- Profil racinaire de quelques espèces du fourré à *Euphorbia stenoclada* sur les dunes des environs de Tuléar (sud-ouest de Madagascar). *Sécheresse*, 8: 179-187.
- [13].- Ganatsas P. and Tsakalimi M., 2003.- Root system modification of *Pinus brutia* Ten. species under adverse ecological conditions. In *Proceedings of the 8th International Conference on Environmental Science and Technology*, Lemnos island, Greece, Pp 216-223.
- [14].- Raimbault P., 2003.- La physiologie et l'architecture des racines. 9^{ème} Congrès de L'APEVC, Institut National d'Horticulture, d'Angers, Pp 22-29.

- [15].- Gwenzi W., Veneklaas E. J., Holmes K. W., Bleby T. M., Phillips I. R., Hinz C., 2011.- Spatial analysis of fine root distribution on a recently constructed ecosystem in a water-limited environment. *Plant Soil*, 348:471-489. DOI 10.1007/s11104-011-0886-
- [16].- Nouaim R., Chaussod R., El Aboudi. A., Schnabel C. et Peltier. J. P., 1991.- L'arganier: essai de connaissances sur cet arbre. In: *Physiologie des arbres et des arbustes en zones arides et semi-arides*, Groupe d'étude de l'arbre Paris, Pp 389-403.
- [17].- Emberger L., 1924.- A propos de la distribution géographique de l'arganier. *Bull. Soc. Sc. Nat.*, T. 4, n° 7: 151-153.
- [18].- Chevalier A., 1943.- L'argan, les Marmulanos et les noyers, arbre d'avenir en Afrique du Nord, en Macaronési et dans les régions semi-désertiques du globe si on les améliore [Argan, the Marmulanos and walnut trees, the tree of the future in North Africa, Macaronesian and semi-desert regions of the world if they are protected and if they are improved]. *Revue Internationale de Botanique Appliquée et d'Agriculture Tropicale*, 33: 165-168, 363-364.
- [19].- Slimani H., 1996.- Contribution à l'étude de l'arganier [*Argania Spinosa* (L.) Skeels] de deux provenances Tindouf-Mostaganem (Etude expérimentale sur la germination des graines et extraction d'huile d'argan). Mémoire d'ing. État en Agronomie, Université Sidi Bel-Abbés, Algérie, 102p.
- [20].- Benaradj A., 2000.- Contribution à l'étude de germination et de la multiplication *in vitro* de l'arganier [*Argania Spinosa* (L) skeels]. Thèse d'ing. D'état en agronomie, Univ. Mostaganem, Algérie, Pp: 7-8
- [21].- Lazreg A., 2015.- L'étude de la germination des grains d'arganier: Cas de la région de Naàma. Ed. Presses Académiques Francophone, Alger, 56p.
- [22].- Guillaume D. et Charrouf Z., 2011.- Argan oil and other argan products; use in dermocosmetology. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 113, 403-408
- [23].- Nouaim R., 2011.- Des vergers d'arganier: Une agriculture innovante pour une production durable d'huile d'argane. Acte du premier congrès international de l'arganier, Agadir 15-17 décembre 2011, Pp 70-79.
- [24].- Bellefontaine, R., 2010, De la domestication à l'amélioration variétale de l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) *Sécheresse*, 21, 1, pp. 42-53.
- [25].- Kechairi R., 2009.- Contribution à l'étude écologique de l'Arganier *Argania spinosa* (L.) Skeels, dans la région de Tindouf (Algérie). Mémoire de magister, université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, Alger, 76p.
- [26].- Kechairi R. et Abdoun F., 2016.- État des lieux cartographiques de l'arganier *Argania spinosa* (L.) Skeels (Sapotaceae) en Afrique Nord-Occidentale (Algérie et Sahara Occidental). *International Journal of Environmental Studies*, vol 73: 286-293.

- [27].- Aziz L., Mormont M. et Allali K., 2013.- Effets de la marchandisation de l'arganier sur la vie socioéconomique des populations de l'arganeraie marocaine. *Vertigo*, vol.13, N° 01: 02-13.
- [28].- Mokhtari M., 2002.- Production rapide de plants d'arganier Aptes à la transplantation. Laboratoire d'écophysiologie végétale: Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Agadir. *Bull. d'information et de liaison du PNTTA*, n° 95: 1-3.
- [29].- Baize D., 2000.- Guide des analyses en pédologie. Ed. INRA, Paris, 375p.
- [30].- Melzi S., 1993.- Evolution de la végétation et du milieu dans la région présaharienne des steppes algériennes. *Sécheresse*, 4: 113-6.
- [31].- Bonnefont J. C., 1981.- Le rôle géomorphologique des racines des arbres forestiers: Les actions chimiques et biologiques. *Revue Géographique de l'Est*, 21(4): 277-291.
- [32].- Sharma R. B. et Ghildyal B. P., 1977.- Soil water-root relations in wheat: water extraction rate of wheat roots that developed under dry and moist conditions. *Agron. J.*, 69, 231-233.
- [33].- Coupland R. T. et Johnson R. E., 1965.- Rooting characteristics of native grasslands species in Saskatchewan. *J. Exp. Bot.*, 170: 1441-1450.
- [34].- Dubief J., 1955.- Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. In: *Revue de géographie de Lyon*, vol. 30, n°1. pp. 77-78.
- [35].- Lefevre C., Rekike F., Alcantara V., et Wieae L., 2017.- Carbone organique du sol: Une richesse invisible. FAO, Rome, Pp 3-14p.
- [36].- Schenk H. J. et Jackson R. B., 2002a.- The global biogeography of roots. *Ecol. Monogr.*, 72, 311-328.
- [37].- Floret Ch. et Pontanier R., 1982.- L'aridité en Tunisie présaharienne: Climat, sol, végétation et aménagement. *Travaux et documents de l'ORSTOM*, n° 150, Paris, pp 544.
- [38].- Schenk H. J. et Jackson R. B., 2005.- Mapping the global distribution of deep roots in relation to climate and soil characteristics. *Geoderma*, 126, 129-140.
- [39].- Jackson R. B., Schenk H. J., Jobbagy E. G., Canadell J., Colello G. D., Dickinson R. E., 2000.- Belowground consequences of vegetation change and their treatment in models. *Ecological Applications*, 9: 470-483.
- [40].- Hodge A., Berta G., Doussan C., Merchan F. et Crespi M., 2009.- Plant root growth, architecture and function. *Plant Soil*, 321:153–187. DOI 10.1007/s11104-009-9929-9.
- [41].- Schenk H.J., Jackson R.B., 2002b.- Rooting depths, lateral root spreads and below-ground/above ground allometries of plants in water-limited ecosystems. *Journal of Ecology*, 90:480–494.

- [42].- Richards J.H. et Caldwell M.M., 1987.- Hydrolic lift: Substantial nocturnal water transport between soil layers by *Artemisia tridentate* roots. *Oecologia*, 73, 486-489.
- [43].- Caldwell M.M. et Richards H.H., 1986.- Competing root systems: Morphology and models of absorption. *On the Economy of Plant Form and Function* (ed. T.J. Givnish). Cambridge University Press, Pp 251-273.
- [44].- Sala O. E., Lauenroth W. K. et Golluscio R. A., 1997.- Plant functional types in temperate semi-arid regions. Cambridge University Press, Pp 217-233.
- [45].- Casper B. B., Schenk J. H., et Jackson R. B., 2003.- Defining a plant's belowground zone of influence. *Ecology*, by the Ecological Society of America, 87 (9): 2313-2321.
- [46].- Sperry J. S., Adler F. R., Campbell G. S. et Comstock J. P., 1998.- Limitation of plant water use by rhizosphere and xylem conductance: Results from a model. *Plant Cell Environ.* 21: 347-359.
- [47].- Pate J. S., Jeschke W. D. et Aylward M. J., 1995.- Hydraulic architecture and xylem structure of the dimorphic roots systems of South-west Australian species of Proteaceae. *J. Exp. Bot* 46, 907-915.
- [48].- Higgins K. B., Lamb A. J. et Wilgen B. W., 1987.- Root systems of selected plant species in mesic fynbos in the Jonkershoek Valley, South-Western Cape Province. *S. Afr J. Bot* 53: 249-257.
- [49].- Canadell J., Jackson R. B., Ehleringer J. R., Mooney H. A., Sala O. E., Schulze E. D., 1996.- Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia*, 108:583-595.
- [50].- Atger C., 1992.- Essai sur l'architecture des arbres. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, 287p.
- [51].- Hellmers H., Horton J. S., Juhren G., O'Keefe J., 1955.- Root systems of some chaparral plants in southern California. *Ecology* 36: 667-678
- [52].- Hairiah K., et Van Noordwijk M., 1986.- Root studies on a tropical ultisol in relation to nitrogen management. Institute for Soil Fertility, Rep, 7-86, 116p.