

Effet des conditions bioclimatiques sur la biochimie et la physiologie de l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) au Maroc et en Tunisie

S. EL ADIB ¹, S. SLIM ²

¹ Université de Carthage. Laboratoire des Sciences Horticoles, INA Tunisie, 43, avenue Charles Nicolle, Tunis, 1082 Tunisie.

² Université de Carthage. Laboratoire des Sciences Horticoles, ESA Mateur.

* Auteur correspondant : Seif.eladib@gmail.com

Abstract - The study of influence of bioclimatic conditions and more accurately rainfall on the physiology and biochemistry of the argan tree was performed on sheets of feet argan taken from seven feet four stations including three located in Morocco (Essaouira , Mergeht, Ait Baha) and Tunisia (Tunis). Thus it was noted that the Tunis station that belongs to the semiarid bioclimatic upper floor has shown the greatest levels of total chlorophyll with 1992.5 mg / g MF and similarly for chlorophyll a and b. While Ait Baha station with the arid climate and the lowest rate of annual rainfall, has shown the total chlorophyll rate the lowest with 873.32 g / gMF. On the other hand we noticed the direct influence of the leaf area on the relative water content of the leaves and thus the synthesis of chlorophyll. Thus, for example Ait Baha station, plus the climate is dry (120mm), the more the leaf surface is important (58,93cm² / cm), the larger the leaf relative water content is low (39.06%) and more chlorophyll contents are low (1109.91 mg / gMF) compared with the other three stations studied.

Key words: Argan, chlorophylle, relative content of water, leaf , Morocco , Tunisia , rainfall area.

Résumé - L'étude de l'influence des conditions bioclimatiques et plus exactement la pluviométrie sur la physiologie et la biochimie de l'arganier a été réalisé sur des feuilles de pieds d'arganier prélevées sur sept pieds de quatre stations dont trois situé au Maroc (Essaouira, Mergeht , Ait Baha) et une en Tunisie (Tunis). Ainsi on a noté que la station de Tunis qui appartient à l'étage bioclimatique semi aride supérieur a présentée les teneurs en chlorophylle totale les plus importants avec 1992,5 µg/g MF et de même pour la chlorophylle a et b. Alors que la station de Ait Baha avec le climat aride et le taux le plus faible de pluviométrie annuelle, a montrée les taux de chlorophylle totale les plus faibles avec 873,32 µg/ gMF. D'autre part on remarqué l'influence directe de la surface foliaire sur la teneur relative en eau des feuilles et donc sur la synthèse de la chlorophylle. Ainsi, pour la station Ait Baha par exemple, plus le climat est sec (120mm), plus la surface foliaire est importante (58,93cm²/cm), plus la teneur relative en eau des feuilles est faible (39,06%) et plus les teneurs en chlorophylles sont faibles (1109,91 µg/ gMF) en comparaison avec les trois autre stations étudiées..

Mots clé: Arganier, chlorophylle, teneur relative en eau, surface foliaire, pluviométrie, Maroc, Tunisie.

1. Introduction :

En Tunisie, les premières plantations d'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) ont commencés par le service des graines de la DGF depuis 1958 par des semences importées du Maroc. Les quantités de graines importées sont considérables mais les plantations sont limitées et n'ont pas dépassé le stade des essais préliminaires et cela est du essentiellement aux mauvaises techniques utilisées. En effet, des pertes énormes (90% et même plus) ont été signalées au moment lors de la transplantation sur des plantes dont les racines ont été blessées. Malgré ces difficultés, plusieurs essais d'introduction dans un grand nombre de stations de Tunisie ont été installés entre les années 1963 et 1968. L'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) est une espèce endémique du Sud-Ouest marocain (Emberger, 1925; Boudy, 1950; Ehrig, 1974; M'herit, 1989 et Prendergast, 1992) C'est un arbre thermophile et xérophile, avec des exigences en humidité atmosphérique élevées. Il résiste à des périodes de sécheresse prolongée et aux effets desséchants du vent chaud et sec venant du Sahara en perdant ses



feuilles (Nouaim et Chaussod, 1993). Au Maroc les forêts d'arganier ne s'étendent actuellement que dans les zones arides et semi-arides du Sud-ouest marocain. L'arganier joue un rôle écologique et socio-économique très important, il permet de lutter contre l'érosion hydrique et éolienne grâce à ses profondes racines [7]. Chaque partie ou production de l'arbre (bois (M'hirit, 1989), feuilles, fruits (Fellat et al, 1987) et huile (Ehrig, 1974, Jaccard, 1926, Fairchild, 1926 et Chimi, 1994)) est utilisable et représente une source de revenus et de nourriture pour les populations autochtones (Boudy, 1950 et Benchakroun, 1990). Les espèces des zones arides et semi-arides peuvent survivre au déficit hydrique et à l'extrême irrégularité des précipitations grâce à un ensemble de mécanismes morphologiques, anatomiques, physiologiques et métaboliques reflétant différents types d'adaptations (Turner, 1986; Domingo, 2003; Sawadgo, 2006). Lors d'un déficit hydrique, l'activité photosynthétique de la feuille est affectée et particulièrement la concentration en chlorophylle qui diminue avec l'augmentation du stress hydrique (kava, 2006 ; Dege'Innocenti, 2008). La teneur en eau relative correspond à une signification physiologique directe de l'état hydrique du végétal (Collinson, 1997). Les espèces végétales qui maintiennent des teneurs foliaires en eau relatives élevées sont considérées comme étant des espèces résistantes à la sécheresse. Dans cette optique, notre travail s'intéresse à l'étude des mécanismes physiologiques et biochimiques comparative des feuilles d'arganier de quatre stations différentes suivant un gradient d'aridité décroissant, en vue de déterminer les facteurs intervenants à la résistance à l'aridité.

2. Matériels et méthodes:

2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de feuilles d'arganier prélevées sur sept arbres différents, récolté au niveau de 04 stations: Tunis, Essaouira, Mergeht et Ait Baha. Les principales caractéristiques de chaque site sont représentées dans le tableau 1

Tableau 1. Les caractéristiques des sites de récolte.

Station	Situation géographique	Altitude (m)	Précipitation annuelle (mm)	Climat
Tunis	Côte méditerranéenne	980	421	Semi aride supérieur
Essaouira	Côte atlantique	117	280	Semi aride
Mergeht	Sud Anti-Atlas	712	150	aride
Ait Baha	Nord Anti-Atlas	610	120	aride

2.2 Extraction et dosage des pigments chlorophylliens a et b

Les teneurs des feuilles en chlorophylles a, b, et totale exprimées en $\mu\text{g/g}$ MF (matière fraîche) ont été déterminées selon la méthode de Torrecillas (1984), 100 mg de feuilles fraîches et saines ont été pesées et mises dans 5 ml d'acétone à 80%. Après un séjour de 72 heures à l'obscurité et à une température de 4°C, la densité optique (DO) a été mesurée à 645 et 663 nm avec un spectrophotomètre UV-Visible (Labomed, Inc, USA). Les équations suivantes établies par Mc Kinney (1941) et Arnon (1949), ont été utilisées pour calculer les teneurs en chlorophylles a, b et totale:

- chlorophylle a: $12,7 \times \text{DO} (663 \text{ nm}) - 2,69 \times \text{DO} (645 \text{ nm})$;
- chlorophylle b: $22,9 \times \text{DO} (645 \text{ nm}) - 4,68 \times \text{DO} (663 \text{ nm})$; et
- chlorophylle totale: $20,2 \times \text{DO} (645 \text{ nm}) + 8,02 \times \text{DO} (663 \text{ nm})$.

2.3 Surface foliaire

La surface foliaire est une mesure indicatrice de l'état du fonctionnement foliaire des arbres nécessaire à l'assimilation énergétique. Ce paramètre a été mesuré sur trois rameaux de 30 cm de longueur. L'unité de mesure a été exprimée en cm^2/cm de rameau.

2.4. Teneur relative en eau des feuilles

Les mêmes feuilles de la surface foliaire ont été emballées dans des paquets pour déterminer leur masse fraîche totale par une balance de précision. Ces paquets ont été placés par la suite dans une étuve à une température de 70°C pendant 72 heures. La masse sèche des feuilles a été déterminée avec une balance de précision. $\text{TRE} \% = (\text{poids frais} - \text{poids sec} / \text{poids frais}) \times 100$

2. 5. Analyses statistiques des données

Les différents paramètres étudiés ont été analysés moyennant le logiciel STATISTICA. Ces analyses ont porté sur la variance en utilisant la procédure ANOVA. La comparaison des moyennes a été effectuée selon la méthode LSD au seuil 5%. La signification de la variance a été vérifiée par le test de Fisher.

3. Résultats

3.1 Teneurs en chlorophylles a

Le dosage de la chlorophylle a dans les feuilles des pieds des quatre sites étudiés a montrée une divergence remarquable entre les sites et entre Maroc et Tunisie.

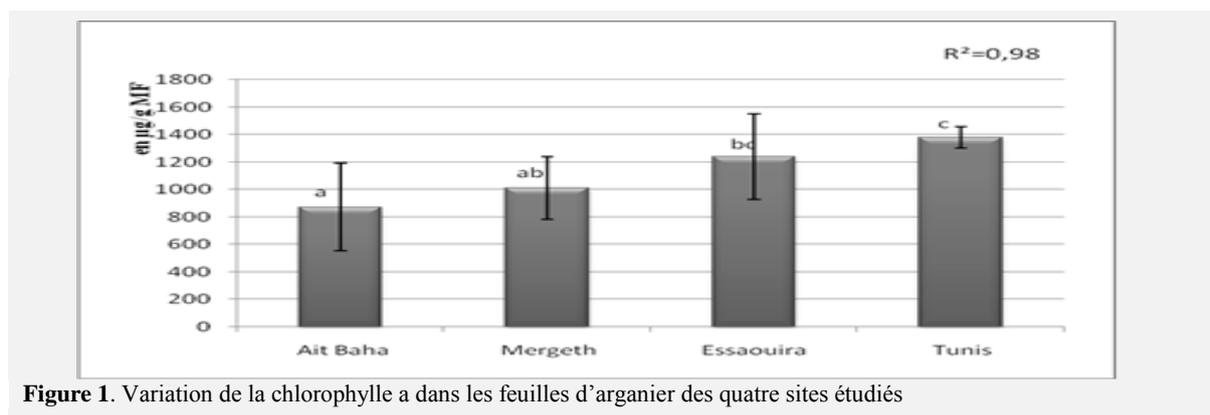


Figure 1. Variation de la chlorophylle a dans les feuilles d'arganier des quatre sites étudiés

Ainsi, la station de Ait Baha a présentée les teneurs en chlorophylle a les plus faibles avec 873,32 µg/gMF alors que la station de Tunis a présentée les teneurs les plus importants 1379,17 µg/gMF par contre les deux stations de Merght et Essaouira ont montrées des taux moyennement importants. Il a été remarqué que généralement les teneurs en chlorophylle a varient selon un gradient d'aridité décroissant indépendamment de la situation géographique.

3.2 Teneurs en chlorophylles b

L'étude de la variation de la teneur en chlorophylle b dans les feuilles des pieds des quatre sites étudiés a montrée une variation remarquable avec des différences significatives entre les sites situés au Maroc ainsi que celui situé en Tunisie. Ainsi, les stations de Ait Baha et Mergth elles ont présentée les teneurs en chlorophylle b les plus faibles avec respectivement 236,84 µg/gMF et 285,93 µg/gMF alors que les station de Tunis et Essaouira a présentée les teneurs les plus importants avec respectivement 613,72 µg/gMF et 542,25 µg/gMF.

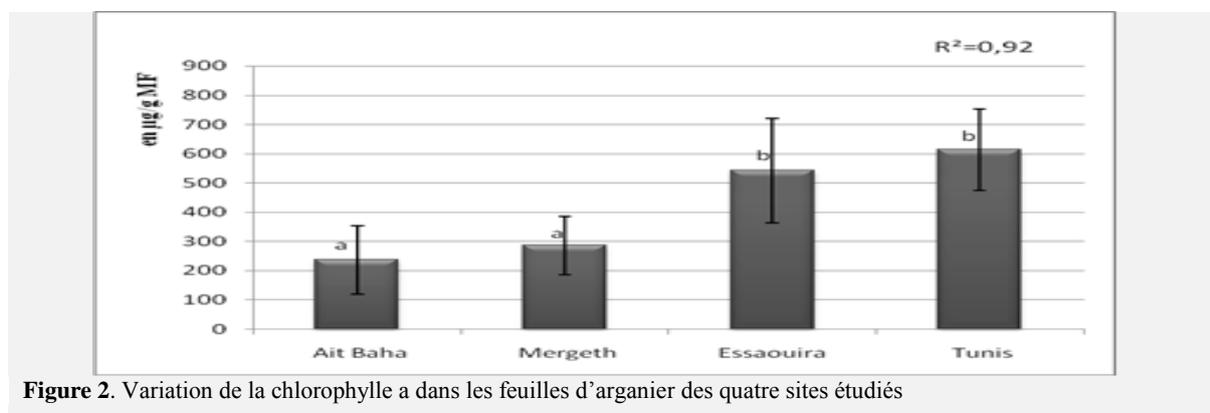


Figure 2. Variation de la chlorophylle a dans les feuilles d'arganier des quatre sites étudiés

Il a été noté que les teneurs en chlorophylle b sont directement influencés par le climat. Ainsi les deux stations ayant présenté les teneurs les plus faibles appartiennent à un climat aride caractérisé par des taux de précipitations assez faibles qui ne dépassent pas 150mm/année.

3.3 Teneurs en chlorophylles totale

Le suivi de la variation des teneurs en chlorophylle totale sur les mêmes feuilles des pieds des quatre stations a confirmé les résultats trouvés pour la chlorophylle a et b

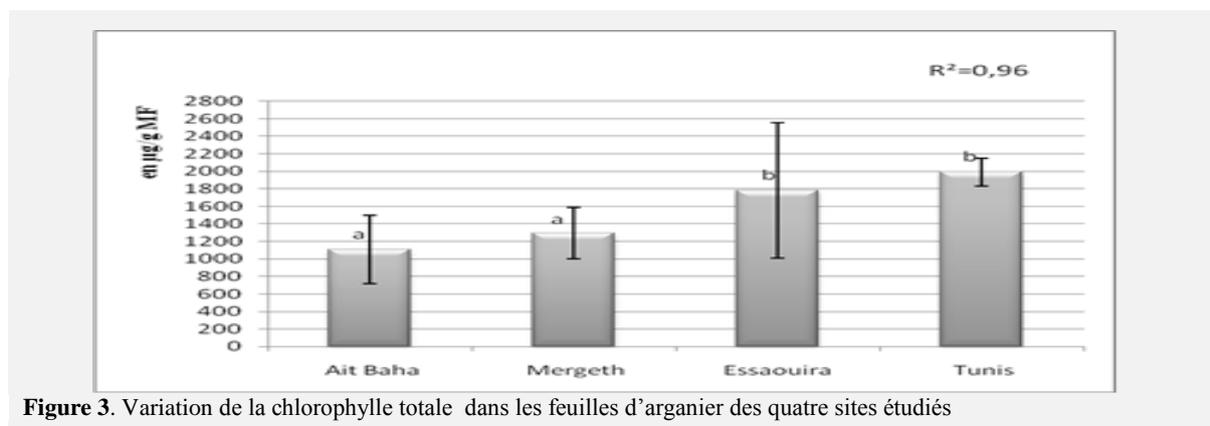


Figure 3. Variation de la chlorophylle totale dans les feuilles d'arganier des quatre sites étudiés

Ainsi la station de Tunis a montrée les teneurs les plus importants avec 1992,50 µg/gMF suivie par la station d'Essaouira puis la station de Mergth (1292,82 µg/gMF) et finalement on trouve la station d'Ait Baha avec les teneurs les plus faibles. On remarqué donc l'influence du climat semi aride supérieur d'une part et l'altitude et les taux de pluviométrie d'autre part sur le processus photosynthétique et donc sur la phytochimie de l'arganier.

3.4 Teneur relative en eau

La teneur relative en eau des feuilles des quatre stations est généralement importante et comprise entre 39 et 69%. Ainsi la station présentant le taux de pluviométrie le plus importants qui est « Tunis » (421mm/année) a présentée les TRE les plus élevés avec 69,51%.

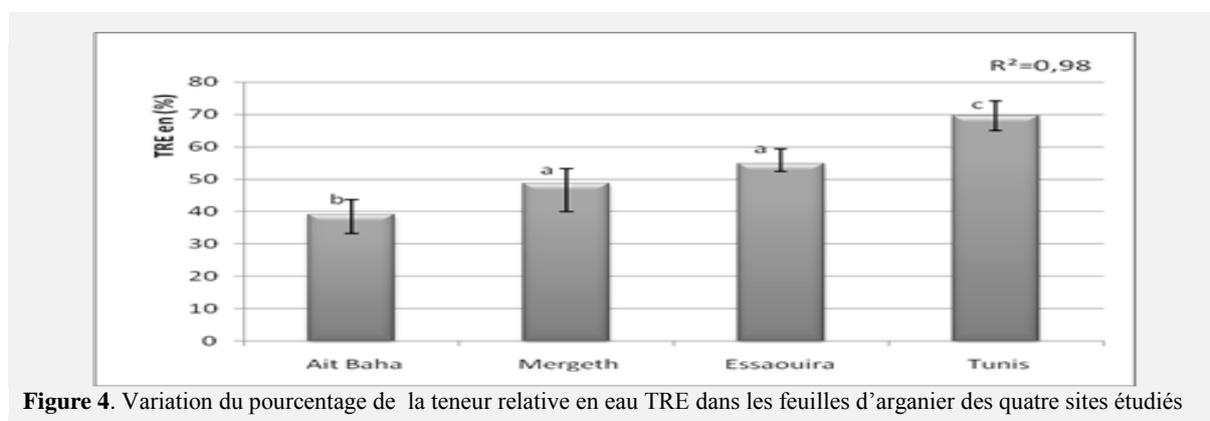


Figure 4. Variation du pourcentage de la teneur relative en eau TRE dans les feuilles d'arganier des quatre sites étudiés

Alors que la station d'Ait Baha appartenant au climat aride et caractérisée par les taux de précipitation les plus faibles (120 mm/année) a présentée les TRE des feuilles les plus faibles avec 39,06%. Pour les deux autres stations (Essaouira et Mergeth) les TRE sont moyennement important selon l'importance de la pluviométrie dans la station.

3.5 Surface foliaire

Le suivi de la surface foliaire des feuilles prélevées des quatre sites a permis d'étudier le comportement physiologique des pieds. Ainsi il a été noté que la station de Ait Baha présentant la TRE la plus faible et les taux de pluviométrie les plus bas a présentée la surface foliaire la plus importante avec une moyenne de 58,93cm²/cm de rameau

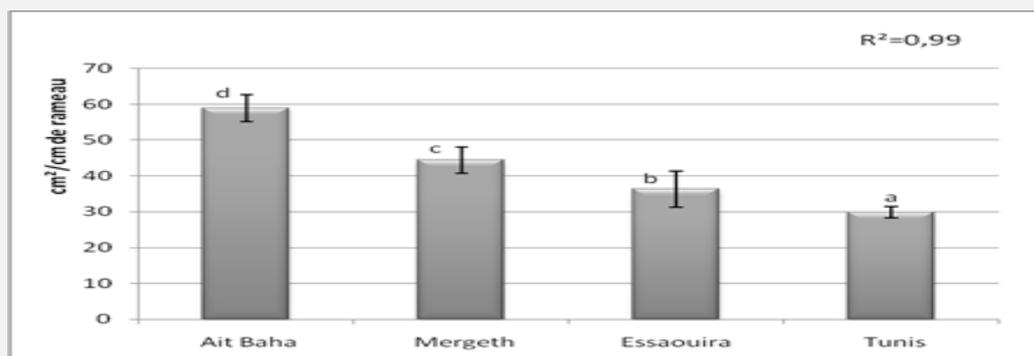


Figure 5. variation de la surface foliaire (en cm²/cm de rameau) des feuilles d'arganier des quatre sites étudiés

Alors que chez la station de Tunis qui a présentée la TRE la plus importante, il a été noté la surface foliaire la moins importante avec 29,95cm²/cm de rameau. Donc on peut dire que la variation de la surface foliaire varie d'une façon inversement proportionnelle à la TRE des feuilles. D'autre part, la surface foliaire influe indirectement le processus photosynthétique.

Tableau 2. Résultats des analyses physiologiques et biochimiques des stations étudiées

Station	Chlorophylle a (µg/gMF)	Chlorophylle b (µg/gMF)	Chlorophylle totale (µg/gMF)	TRE (%)	SF (cm ² /cm)
Ait Baha	873,32±320,48a	236,85±116,63a	1109,91±391,32a	39,06±5,71b	58,93±3,73d
Mergeth	1011,18±229,81ab	285,93±99,41a	1296,82±291,38a	48,77±8,85a	44,41±3,71c
Essaouira	1240,52±310,20bc	542,25±179,24b	1782,89±774,31b	54,80±2,51a	36,28±4,94b
Tunis	1379,17±77,09c	613,72±139,53b	1992,50±157,90b	69,51±4,55c	29,95±1,58a

Les moyennes dans chaque colonne suivies par une lettre différente sont significativement différentes (p < 0,05).

4. Discussion

Les pieds d'arganier des quatre stations étudiées entre Maroc et Tunisie ont montré l'influence des conditions climatiques sur le processus biochimique et physiologique de la plante (Li et al, 2003 ; Li et Palva, 2003 ; Denden , 2005 et Denden et al, 2008).

Cette réponse varie au sein des populations et des génotypes provenant des régions climatiques différentes (Li et al, 2003 ; Lu, 2007 ; Toumi et al, 2008 et Huang et al, 2009). Nos résultats montrent que les arbres d'arganier réagissent aux différents niveaux du stress environnemental. Le taux des pigments chlorophylliens (chl a, chl b et chlor totale) augmente selon un gradient d'aridité décroissant. Cependant, les analyses statistiques montrent qu'il y a des différences significatives (p < 0,05) entre les quatre stations étudiées.

Nos résultats confirment ceux trouvés dans des travaux antérieurs ainsi, la réduction de la photosynthèse, liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire, dépend à la fois de la fermeture des stomates, avec une diminution de la conductance à la diffusion du CO₂ et d'une limitation biochimique du chloroplaste à le fixer (Tardieu et Simoneau, 1998; Escolana et al. 1999; Flexas et Medrano, 2002). Nos résultats diffèrent de ceux trouvés chez les plantes qui sont soumis à un déficit hydrique édaphique, cités par de nombreuses auteurs ; Berka et Aïd, (2009) chez les plants d'Argania spinosa, Huseynova et al (2007) chez le blé, Van Loon (1981) chez la pomme de terre. Dans les conditions naturelles, lorsque les plantes de pomme de terre sont soumises aux conditions du stress environnemental, les stomates commencent à se fermer, si la teneur en eau relative atteint 92 à 96% (Winkler, 1961). On note alors que le stress hydrique aboutit à la fermeture partielle des stomates (Epstein, 1973 ; El Aboudi, 1990), ce qui à pour conséquence de diminuer la transpiration (El Aboudi, 1990) et la photosynthèse (Van Loon ,1981).

D'autre part, on a remarqué que la surface foliaire et la teneur relative en eau des feuilles des quatre stations sont inversement proportionnelles.

Il apparaît que la transpiration et la photosynthèse sont indépendants au dessèchement du sol au fur et à mesure que le potentiel de base devient plus négatif (Bekra, 2009 ; El Aboudi, 1990 et Bois 1983). Berka et Aïd montrent que la régulation stomatique chez l'arganier contribue peu efficacement à la

stratégie d'évitement de la dessiccation. Le maintien de la teneur en eau relativement élevée semble être attribué à d'autres mécanismes physiologiques (accumulation des solutés). L'activité photosynthétique des feuilles dépend de ces caractéristiques physiologiques comme la teneur en pigments chlorophylliens (Huseynova et al 2007). Cette teneur diminue en répondant au stress environnemental (Kava, 2006 ; Dege'Innoncenti, 2008 ; Huseynova et al 2007 ; Gadallah, 1995 ; Chen, 1999 ; Bacelar, 2006 ; Thapar, 2008 et Sabater 1978).

La diminution du taux des pigments chlorophylliens est probablement due à la fermeture partielle des stomates. La diminution du taux des pigments chlorophylliens est aussi probablement due à la diminution de la synthèse de la chlorophylle à cause d'un changement de la structure membranaire des thylacoïdes (Flore, 1989).

5. Conclusion

En conclusion, on peut dire que les taux de pluviométrie et la situation géographique ont largement influencés directement la teneur relative en eau des feuilles d'arganier et indirectement la synthèse de la chlorophylle et donc le processus photosynthétique. D'autre part L'ensemble de nos résultats montre que les arbres d'arganier présentent une stratégie caractéristique des espèces tolérantes à la sécheresse hydrique. L'arganier peut faire face aux conditions d'aridité en diminuant la perte d'eau grâce à la fermeture partielle des stomates. La résistance globale des arbres d'arganier à la sécheresse apparait comme le résultat de nombreuses modifications physiologiques et biochimiques qui interagissent pour permettre le maintien d'une bonne croissance face à ces conditions agressives.

6. Références

- Arnon DI (1949)** Copper Enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoxidase in Beta Vulgaris. *Plant physiology* 24:1-15
- Bacelar EA, Santos DL, Moutinho-Pereira JM, Goncalves BC, Ferreira HF, Correia CM, (2006)** Immediate responses and adaptative strategies of three olive cultivars under contrasting water availability regimes: Changes on structure and chemical composition of foliage and oxidative damage. *Plant Science* 170: 596–605.
- Benchakroun F (1990)** Un système typique d'Agroforesterie au Maroc: L'arganeraie. Séminaire Maghrébin D'Agroforesterie, Jebel Oust, Tunisie, October.
- Benziane M, Khatouri M, (1991)** Estimation de la biomasse des peuplements d'Arganier. *Annales de la recherche forestière au Maroc*. 128-140.
- Berka S et Aïd F, (2009)** Réponses physiologiques des plants d'Argania spinosa (L.) Skeels soumis à un déficit hydrique édaphique. *Sécheresse* ; 20 (3) : 296-302.
- Bois JF, (1983)** Effet d'un stress hydrique sur le comportement racinaire et aérien du riz pluvial. *International atomic energy agency vienna*. IAEA-SM-267/22.
- Boudy P, (1950)** Economie forestière Nord Africaine. Tome II, Monographie et traitements des essences forestières. Fasc 1. pp : 382-416. Larose. Paris.
- Chen K, Hu G, Keutgen N, Janssens MJJ, Lenz F, (1999)** Effects of NaCl salinity and CO₂ enrichment on pepino (*Solanum muricatum* Ait.) II. Leaf photosynthetic properties and gas exchange. *Scientia Horticulturae* 81 (1999) 43-56.
- Chimi H, Cillard J, Cillard P, (1994)** Autooxydation de l'huile d'argan *Argania spinosa* L. du Maroc. *Science des aliments*, 14: 117-124.
- Collinson S, Clawson E, Azam-Ali S, Black C, (1997)** Effects of moisture deficits on the water relations of bambara groundnut (*Vigna subterranean* L. Verdc.). *J Exp Bo* ; 48 : 877-84.
- Degl'Innocenti E, Guidi L, Stevanovic B, Navari F, (2008)** CO₂ fixation and chlorophyll a fluorescence in leaves of *Ramonda serbica* during a dehydration–rehydration cycle. *Journal of Plant Physiology* 165,723-733
- Denden M, Ben Tina B, Hlaoua W, (2008)** Caractéristiques morphologiques, anatomiques et physiologiques de tolérance à la sécheresse du pêcher, du poirier et du pommier. *Cahiers Agricultures* vol. 17, n°5.
- Denden M, Bouzlama M, Slimi H, Bouaouina T, (2005)** Action du trajet foliaire de diffusion de l'eau et de l'épaisseur de la cuticule sur la transpiration. *Sécheresse* ; 16 : 125-9.
- Domingo F, Brenner AJ, Gutiérrez L, Clark SC, Incoll LD, Aguilera C, (2003)** Water relations only partly explain the distributions of three perennial plant species in a semi-arid environment, *biologia plantarum* 46 (2) : 257-262
- Ehrig FR, (1974)** Die Arganie. Charakter, Ökologie und Wirtschaftliche Bedeutung eines Teträreliktes in Marokko. *Petermanns Geogr. Mitt.*, 118 (2). Pp: 117-125.

- El Aboudi A, (1990)** Typologie des agraneraies inframéditerranéennes et ecophysiologie de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) dans le Sous (Maroc). Thèse de doctorat. Université Joseph Fourier Grenoble I, 123 p.
- Emberger L, (1925)** Le domaine naturel de l'arganier. Bull. Soc. Bot., Paris. Pp : 770-774
- Epstein E, Grant WJ, (1973) Water stress relations of the potato plant under field conditions. Agron J. 65:400-404.
- Fairchild D, (1930)** Exploring For Plants. Mc Millan Company. N.Y.: 168-185.
- Fellat-Zarrouk K, Smoughen S, Maurin R, (1987)** Étude de la pulpe du fruit de l'arganier (*Argania spinosa*) du Maroc. Matière grasse et latex. Actes Inst. Agron. Vét. 7. 17-21.
- Flore JA, Lakso AN, (1989)** Environmental and physiological regulation of photosynthesis in fruit crops. Hort. Rev. 11, 111-157.
- Gadallah MAA, (1995)** Effect of water stress, abscisic acid and proline on cotton plants. Journal of Arid Environment ; 30: 315-325.
- Huang X, Xiao X, Zhang S, Korpelainen H, Li C, (2009)** Leaf morphological and physiological responses to drought and shade in two *Populus cathayana* populations. *Biologia plantarum*. 53 (3) : 588-592
- Huseynova IM, Suleymanov SY, Alyev JA, (2007)** Structural-functional state of thylakoid membranes of wheat genotypes under water stress. *Biochimica et Biophysica Acta* ; 1767 : 869-875.
- Jaccard P, (1926)** L'arganier, Sapotaceae oléagineuse du Maroc. *Pharmaceutica Acta Helveticae*. Pp : 203-209.
- Kaya C, Tuna AL, Alves AAC, (2006)** Gibberellic acid improves water deficit tolerance in maize plants. *Acta physiologiae plantarum*. Vol. 28. No. 4. 331-337.
- Li C, Viherä-Aarnio A, Puhakainen T, Junttila O, Heino P, Palva ET, (2003)** Ecotype-dependent control of growth, dormancy and freezing tolerance under seasonal changes in *Betula pendula* Roth. *Trees* 17: 127-132.
- Li C., Junttila O., Ernstsén A., Heino P., Palva E.T., (2003)** Photoperiodic control of growth, cold
- Li, C, Junttila, O, Heino, P, Palva, ET, (2003)** Different responses of northern and southern ecotypes of *Betula pendula* to exogenous ABA application. *Tree Physiol*. 23: 481-487.
- Lu Y, Duan B, Li C, (2007)** Physiological responses to drought and enhanced UV-B radiation in two contrasting *Picea asperata* populations. *Can. J. Forest. Res.* 37: 1253-1262.
- M'hirit O, (1989)** L'arganier est une espèce fruitière forestière à usages multiples. Formation forestière continue, Thème « l'arganier » Station de Recherche Forestière, Rabat, 13-17 Mars : 31-57.
- Nouaim R, Chaussod R, (1993)** L'Arganier – *Argania spinosa* (L) Skeels. (Sapotacées). *Bull Res Arb Trop* ; 27 : 7-9.
- Prendergast H.D.V., Walker C.C., (1992)** The Argan multipurpose tree of Morocco. *The Kew Magazine*, 9: 76–85.
- Sabater B, Rodriguez MI, (1978)** Control of chlorophyll degradation in detached leaves of barley and oat through effect of kinetin on chlorophyllase levels. *Physiol. Plant.*, 43: 274-276.
- Sawadogo M, Zombre G, Balma D, (2006)** Expression de différents écotypes de gombo (*Abelmoschus esculentus* L.) au déficit hydrique intervenant pendant la boutonnisation et la floraison, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 43–54
- Thapar R, Srivastava AK., Bhargava P, Mishra Y, Rai LC, (2008)** Impact of different abiotic stresses on growth, photosynthetic electron transport chain, nutrient uptake and enzyme activities of Cu-acclimated *Anabaena doliolum*. *Journal of Plant Physiology* 165: 306-316.
- Toumi I, Gargouri M, Nouairi I, Moschou PN, Ben Salem-Fnayou A, Mliki A, Zarrouk M, Ghorbel A, (2008)** Water stress induced changes in the leaf lipid composition of four grapevine genotypes with different drought tolerance. *Biol. Plant*. 52: 161-164.
- Turner NC, (1986)** Adaptation to water deficits: A changing perspective. *Aust J Plant Physiol* ; 13 : 175-90.
- Van Loon CD, (1981)** **The effect of water stress on potato growth development and yield. American potato journal. Vol.58.**
- Winkler E, (1961)** Assimilationsvermögen, Atmung und Erträge der Kartoffelsorten Oberarnbacher Frittné, Planet, Lori und Agnes im Tal (610m) und an der Waldgrenze bei Innsbruck und Vent (1880 m bzw. 2014 m). *Flora, Jena* 151:621-661.