

Influence de la taille de l'échantillon sur la variation des paramètres hydriques déterminés à partir des courbes-pression-volume

Amel ENNAJAH^{1*}, Ali ALBOUCHI¹ et Hsan ENNAHDI²

¹*Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts, Rue Hédi Elkarray, Elmenzah IV, BP10, Ariana 2080, Tunisie,*

²*Institut National de Recherches Agronomiques de Tunis, Tunisie*

* Correspondance, courriel : aennajah@yahoo.fr

Résumé

Le potentiel hydrique est utilisé en tant que grandeur thermodynamique qui s'applique à tous les compartiments du continuum sol-plante-atmosphère et qui réagit la circulation de l'eau entre le sol, les racines, les tiges, les feuilles et l'atmosphère. Il est déterminé par la méthode de la chambre à pression de Scholander ; méthode simple et rapide qui donne aussi accès à plusieurs paramètres hydriques, décrivant l'état de l'eau dans la plante, à travers une représentation graphique ou courbe-pression-volume (CPV). Cependant, certaines procédures expérimentales utilisées lors des mesures peuvent augmenter les risques des erreurs, au niveau des résultats, comme l'utilisation arbitraire d'échantillons de tailles variables. Le but de ce travail est d'étudier l'impact de la variabilité de la taille des échantillons prélevés sur les paramètres hydriques et de trouver à la suite des solutions pouvant minimiser les erreurs expérimentales induites. De ce fait, 12 CPV par jour ont été effectuées sur des phyllodes ($10 \pm 0,5$ cm de longueur) et des rameaux de $16 \pm 0,5$ cm de longueur (avec 5 à 6 phyllodes), de plants d'*Acacia cyanophylla* Lindl., prélevés à l'aube, sous conditions hydriques non limitantes, témoins, ($\Psi_b \approx -0,2 \pm 0,1$ Mpa) ou stressantes ($\Psi_b = -1,80 \pm 0,20$ Mpa) puis soumis immédiatement à saturations (12h, 24h et 48h). Les résultats indiquent qu'aussi bien pour les plants témoins que les stressés, la taille de l'échantillon influe significativement leurs paramètres hydriques. Le prélèvement des rameaux à l'aube, et leurs mises à saturation jusqu'à 48h, permettrait d'avoir moins de variations dans le nombre et dans les valeurs des composantes hydriques déterminés.

Mots-clés : *taille de l'échantillon, Acacia cyanophylla Lindl., paramètres hydriques, courbes pression volume*

Abstract

Influence of sample size on hydric parameters determined from pressure volume curves

Water potential is being used as a thermodynamical scale, which applies to all compartments of the soil-plant-atmosphere that reacts the flow of the water between the soil, roots, stems, leaves and the atmosphere. It is determined by the method of the pressure room from Scholander. It is a simple and easy method that also provides access to many hydric parameters describing the status of water in the plant, through a graphical representation or pressure volume curve (CPV). However, some experimental

procedures, used during the tests, may increase mistakes in the results, like the use of arbitrary sizes of samples. The purpose of this work is to study the impact of the variability in the size of samples taken from the hydric parameters and to find solutions permitting us to avoid or reduce the experimental mistakes. In that purpose, around 12 CPV were realised over leaves (10 ± 0.5 cm of longer) and branches of 16 ± 0.5 cm, of *Acacia cyanophylla* Lindl. plants, tacked at the first time precisely at the dawn, in a hydric and not restricting conditions before being submitted to three saturation times (12h, 24h and 48h). The results indicate that as well for witness stressed samples, the sample size significantly affects their hydric parameters. In conclusion, collecting branches samples at dawn and submitting them to saturation time up to 48 hours, would have fewer variations in the number and the values of the hydric parameters determined by pressure volume curves.

Keywords : *sample size, Acacia cyanophylla Lindl., hydric parameters, pressure volume curves.*

1. Introduction

Pour s'accroître et se développer dans des conditions environnementales variables, la plante doit établir des forces de liaison physico-chimiques et mécaniques pour retenir l'eau dans ses cellules. La résultante globale de ces forces, en un point donné du végétal, constitue son potentiel hydrique (Ψ_w). Il présente l'avantage d'expliquer la dynamique de l'eau dans le système sol-plante-atmosphère et de faciliter la comparaison entre les plantes quand à leur résistance à la sécheresse [1]. Il est considéré comme le meilleur indicateur de l'état hydrique de la plante parce qu'il traduit physiquement l'état énergétique de l'eau dans celle-ci [2]. Les méthodes de mesure du potentiel hydrique sont nombreuses dont les méthodes psychrométrique, gravimétrique, refractométrique et densimétrique de Chardacov [3,4]. Cependant, ces méthodes sont laborieuses et imprécises. Seule la méthode de la chambre à pression est relativement plus rapide et plus simple. Cette méthode donne accès à divers paramètres décrivant les relations hydriques dans la plante par l'intermédiaire des courbes pression-volume (CPV).

Nos recherches antérieures axées sur la résolution de certains problèmes techniques rencontrés lors de l'utilisation de cette dernière méthode [5,6], ont eu pour but de minimiser les risques d'erreurs plus ou moins élevés au niveau des résultats. Elles ont montré qu'un prélèvement des échantillons de phyllodes à l'aube et leur mise instantanée à saturation dans l'eau pour une durée comprise entre 12 et 24h permettra de réaliser facilement sept CVP par jour sans risque majeur de variations significatives des paramètres hydriques [6]. Néanmoins, d'autres conditions d'échantillonnage risqueraient quand même d'amplifier ces erreurs telles que la variabilité de la taille du matériel végétal prélevé. Cette variabilité de condition d'échantillonnage conduirait à des risques d'erreur encore plus grands si le site expérimental se trouve loin du lieu de mesure (laboratoire).

La priorité de ce travail est donc d'étudier l'influence du facteur taille de l'échantillon sur les divers paramètres hydriques déterminés par la CPV et de chercher des solutions pouvant minimiser les erreurs expérimentales induites.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériel végétal et courbe Pression-Volume

Le matériel végétal utilisé est un genre tropical et subtropical de la famille des Mimosées largement représenté dans tous les continents excepté l'Europe et l'antarctique. Il s'agit d'*Acacia cyanophylla* Lindl. Il est originaire du sud australien, introduite en Afrique du sud en 1840 pour la stabilisation des dunes de

sables mobiles, et en Tunisie durant les années 1930 [7]. Il s'adapte aux différents types de sol essentiellement ceux faiblement acides ou calcaro-sableux. Il tolère aussi les sols salés et alcalins [8]. Dans les dunes, il améliore rapidement le sol. Il semble y favoriser la croissance des résineux et dans certaines conditions l'installation d'espèces fourragères [9]. Il croît rapidement et tolère la sécheresse, utilisé pour la restauration des versants des montagnes et des collines érodées, ainsi que les terrains et défriches incultes, et pour la stabilisation des sables mobiles.

Concernant la représentation graphique de CPV, celle qui a été retenue dans cette étude est La courbe $1/\Psi_w = f(RWC)$ utilisée par *Tyree et Hammel* [10], et *Ritcher et Roden* [11]. Elle illustre les résultats d'une série de mesure de pression d'équilibre réalisée sur un échantillon donné dans une chambre à pression [5].

2-2. Protocole expérimental

L'expérimentation a eu pour but essentiel de montrer l'influence du facteur taille de l'échantillon sur la variation des paramètres hydriques déterminés à partir des CPV. C'est ainsi que des plants d'*Acacia cyanophylla* ont été cultivés en pots (27 cm de diamètre et 30 cm de profondeur) jusqu'à l'âge de six mois, sous conditions hydriques non limitantes. Puis, 180 plants de taille homogène ont été répartis en 6 blocs de 30 plants chacun. Chaque bloc comporte deux lots de 15 plants chacun ; l'un maintenu en continu à la capacité au champ ($\Psi_b \approx -0,2 \pm 0,1$ Mpa) et l'autre privé d'arrosage jusqu'à un niveau de stress équivalent à un $\Psi_b = -1,80 \pm 0,20$ Mpa.

Des prélèvements de phyllodes de $10 \pm 0,5$ cm de longueur et de rameaux de $16 \pm 0,5$ cm de longueur (avec 5 à 6 phyllodes), ont été effectués à l'aube puis soumis immédiatement à saturations (12h, 24h et 48h). Au total, on a eu à établir 12 CPV par jour.

L'analyse statistique des résultats a été réalisé grâce au logiciel STATITCF (ver.F) [12] plus une analyse de la variance à deux ou plusieurs facteurs suivant le cas, au seuil de risque de 5 %, et une comparaison multiple de moyenne par le test de Newman et Keuls (au seuil de 5 %). Les sorties graphiques ont été réalisées avec le logiciel Excel 2000.

3. Résultats

3-1. Variation des paramètres sous conditions hydriques non limitantes

Tableau 1 : Valeurs moyennes ($n=6$) des paramètres hydriques déterminés à partir des CPV établies sur des phyllodes et des rameaux prélevés à l'aube sur des plants d'*Acacia cyanophylla* Lindl., conduits sous conditions hydriques non limitantes puis soumis à 12h de saturation.

Paramètres hydriques	Taille de l'échantillon	
	phyllode	rameau
$\Psi_{\pi^{100}}$ (MPa)	-1,43	-1,62
Ψ_{π^0} (MPa)	-1,78	-1,87
ϵ_{max} (MPa)	12,01	12,6
AWC (%)	7,97	19,29
RWC0 (%)	88,67	89,73

La comparaison entre les valeurs obtenues pour les phyllodes et les rameaux prélevés à l'aube, montrent des différences significatives pour au moins deux paramètres (AWC et RWCO), quelle que soit la durée de saturation appliquée (**Tableaux 1, 2 et 3**). Le module d'élasticité volumique ϵ_{\max} des phyllodes a été significativement différent de celui des rameaux pour les durées 24h et 48h de saturation. Les valeurs enregistrées ont été toujours plus élevées chez les rameaux que chez les phyllodes. Les taux d'augmentation ont varié selon la durée de saturation appliquée entre 108 et 142 % pour AWC, entre 1 et 5 % pour RWCO et entre 52 et 58 % pour ϵ_{\max} particulièrement entre la durée de saturation de 12 heures d'une part et celle de 24h, d'autre part. Par ailleurs, les coefficients de variation des trois paramètres, ont été souvent plus élevés au niveau des phyllodes qu'au niveau des rameaux.

Tableau 2 : Valeurs moyennes ($n=6$) des paramètres hydriques déterminés à partir des CPV établies sur des phyllodes et des rameaux prélevés à l'aube sur des plants d'*Acacia cyanophylla* Lindl., conduits sous conditions hydriques non limitantes, puis soumis à 24h de saturation.

Paramètres hydriques	Taille de l'échantillon			
	phyllode	rameau		
Ψ_{π}^{100} (MPa)	-1,52		-1,86	
Ψ_{π}° (MPa)	-1,93		-2,01	
ϵ_{\max} (MPa)	13,86	b	21,14	a
AWC (%)	12,35	b	25,8	a
RWCO (%)	88,83	b	93,57	a

Tableau 3 : Valeurs moyennes ($n=6$) des paramètres hydriques déterminés à partir des CPV établies sur des phyllodes et des rameaux prélevés à l'aube sur des plants d'*Acacia cyanophylla* Lindl., conduits sous conditions hydriques non limitantes puis soumis à 48h de saturation.

Paramètres hydriques	Taille de l'échantillon			
	phyllode	rameau		
Ψ_{π}^{100} (MPa)	-1,72		-2,1	
Ψ_{π}° (MPa)	-2		-2,34	
ϵ_{\max} (MPa)	18,59	b	29,33	a
AWC (%)	12,22	b	26,18	a
RWCO (%)	90,73	b	94,44	a

3-2. Variation des paramètres sous conditions hydriques limitantes

Sous conditions hydriques limitantes, lorsque les échantillons sont prélevés à l'aube, des différences significatives ont été observées entre les valeurs des phyllodes et celles des rameaux pour deux paramètres sur cinq (AWC et ϵ_{\max}) quelque soit la durée de saturation (**Figure 1**). Par ailleurs, pour une durée est de 48h, RWCO vient s'ajouter à ces deux paramètres (**Tableau 4**). Les valeurs de AWC et RWCO des rameaux ont été significativement plus élevées que celles des phyllodes, contrairement à ϵ_{\max} (**Figure 1**). Pour AWC l'augmentation est de 35 % après 12h de saturation, de 19 % après 24h et de 21 %

après 48h. De même, la différence entre phyllode et rameau est de 103 % pour ϵ_{max} après 12h de saturation et de 67 % après 24h. Après 48h de saturation, pour RWC0, le taux d'augmentation est de 4 %.

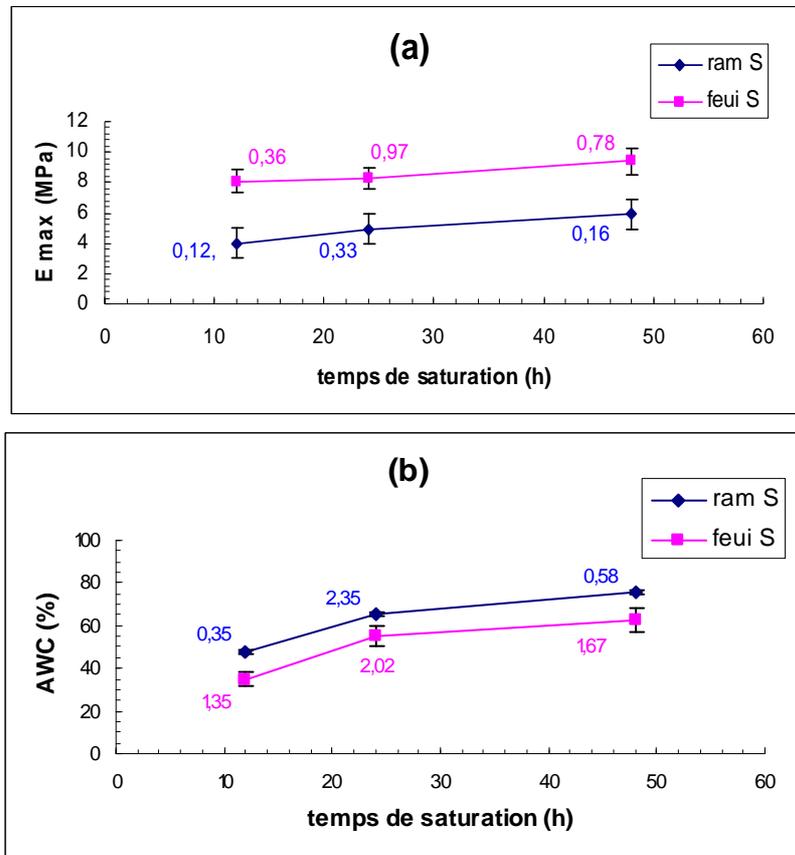


Figure 1: *Évolution de ϵ_{max} (a) et de AWC (b) en fonction des durées de saturation, pour des phyllodes et des rameaux d'Acacia cyanophylla Lindl., conduits sous conditions hydriques limitantes et prélevés à l'aube.*

Les chiffres mentionnés sur les figures indiquent les coefficients de variation (%) de chaque point de mesure.

Tableau 4 : *Valeurs moyennes (n=6) des paramètres hydriques déterminés à partir des CPV établies sur des phyllodes et des rameaux prélevés à l'aube des plants d'Acacia cyanophylla Lindl., conduits sous conditions hydriques limitantes, et soumis à 48h de saturation.*

Paramètres hydriques	Taille de l'échantillon	
	phyllode	rameau
$\Psi_{\pi^{100}}$ (MPa)	-1,54	-1,69
Ψ_{π^0} (MPa)	-2,36	-2,06
ϵ_{max} (MPa)	9,4	5,92
AWC (%)	62,37	75,59
RWC0 (%)	89,67	93,42

4. Discussion

L'activité vitale des plantes exige une certaine quantité d'eau. En fait, l'eau absorbée par les plantes a trois rôles principaux : la plus grande partie sert à assurer la transpiration et à amener les éléments minéraux nécessaires à la vie de la plante ; une faible partie maintient l'hydratation des cellules et enfin une quantité relativement très faible entre dans la composition de la matière sèche formée. Toutefois, il est difficile de prévoir le niveau du stress hydrique édaphique qui limite la croissance de la plante si on ne connaît pas les conditions atmosphériques, le type de la plante et son état de croissance [13]. Une façon de connaître l'état hydrique des arbres est de mesurer le potentiel de l'eau dans leurs organes, en particulier dans la partie feuillée. Cependant, ce diagnostic est difficile à mettre en œuvre à cause du grand nombre de variables d'entrée qui lui sont nécessaires, ainsi que de la difficulté pour déterminer expérimentalement certaines de ces variables. Les CPV représentent un outil simple donnant accès à divers paramètres décrivant les mouvements de l'eau dans la plante et permettant de repérer son niveau de confort hydrique. Certains problèmes techniques et méthodologiques rencontrés lors de l'utilisation de la méthode des courbes pression volume peuvent engendrer des risques d'erreurs plus ou moins élevés au niveau des résultats [14,15]. En effet, la variabilité de la taille de l'échantillon prélevé est considéré comme l'un des facteurs importants qui sont à l'origine de ces erreurs.

D'après nos résultats, sous conditions hydriques non limitantes, la taille de l'échantillon présente un impact sur les valeurs des paramètres hydriques. Les valeurs obtenues à partir des rameaux sont nettement supérieures des feuilles, particulièrement pour AWC, RWCo et ϵ_{max} , quelque soit la durée de saturation et avec un moment de prélèvement effectué à l'aube (*Tableaux 1, 2 et 3*). Ces paramètres hydriques sont plus liés à la structure anatomique de l'échantillon que $\Psi_{\pi^{100}}$ et Ψ_{π^0} qui dépendent de la concentration en solutés du suc cellulaire. Les rameaux présentent une structure anatomique plus lignifiée que celles des feuilles. Ils sont à parois plus épaisses. Les feuilles sont des organes végétatifs, à croissance limitée et généralement aplaties, portées latéralement par la tige, et sont principalement le siège de l'assimilation chlorophyllienne. Vu la structure anatomique de la tige avec son cylindre central développé et la superposition du phloème et du xylème dans les faisceaux conducteurs ainsi que le développement centrifuge de leur xylème primaire, il y a une quantité de sève beaucoup plus importante au niveau des rameaux que dans les phyllodes. Ceci expliquerait leurs valeurs plus élevées par rapport à celles des feuilles pour AWC, RWCo et ϵ_{max} . L'élasticité des tissus varie avec la taille de l'échantillon. Elle est plus importante dans les organes feuillés, et diminue dans les rameaux affectant ainsi la turgescence qui baisse chez ces derniers de façon considérable pour une faible variation de RWC [3].

L'analyse des résultats obtenus sur les échantillons de rameaux a montré de moindres taux de variations des paramètres hydriques par comparaison à ceux observés chez les échantillons de phyllodes (*Figure 1*) témoignant d'une meilleure précision en utilisant le rameau comme échantillon de mesure. Ceci serait la conséquence de la plus grande quantité de sève extraite des rameaux à chaque niveau de potentiel hydrique lors de l'établissement des courbes pression volume.

Par ailleurs, l'état hydrique de la plante joue aussi un rôle important dans les variations des valeurs des paramètres hydriques des échantillons. En effet, sous conditions hydriques limitantes, on a eu plus de variations des paramètres en fonction de la taille de l'échantillon par comparaison aux résultats obtenus sous conditions hydriques non limitantes (*Tableau 4, Figure 1*). On a toujours trouvé une moindre variation des paramètres lorsque l'échantillon est un rameau. Chez les espèces feuillues, le manque d'eau agit sur les feuilles déjà formées, pour lesquelles la multiplication cellulaire est achevée. De ce fait, il y aura un arrêt de la croissance des cellules palissadiques. Ceci entraîne une diminution de la surface du limbe et un épaississement du parenchyme lacuneux [16].

Les résultats obtenus indiquent que, quelles que soient les conditions hydriques, la taille de l'échantillon influe de manière significative l'évolution de ces paramètres. Plus l'échantillon est grand (rameau) moins il y a de variations dans le nombre et les valeurs des paramètres déterminés. Dans le cas où l'échantillon est une feuille, il vaudrait mieux commencer la réalisation des CPV dès 12h jusqu'à 24h de saturation. Si c'est un rameau, la durée de saturation peut atteindre 48h. C'est ainsi que la réalisation d'un nombre important de CPV sans risques majeurs de variations significatives des paramètres hydriques pourra être effectuée.

5. Conclusion

Le diagnostic de l'état hydrique des plantes peut avoir pour objectifs le pilotage de l'irrigation, l'analyse des chutes de rendement ou la connaissance des conséquences des techniques culturales. Ces objectifs peuvent être atteints par l'application de modèles d'extraction d'eau par la plante. Cependant, les modèles actuels de diagnostic de l'état hydrique des plantes présentent quelques failles de mesure. C'est pourquoi ce diagnostic est encore, en général, fondé sur des indicateurs ; certains n'ayant de sens qu'en temps réel, d'autres pouvant être déterminés à posteriori. Ainsi, le potentiel hydrique foliaire (Ψ_w) particulièrement de base et de midi et les divers paramètres hydriques déterminés à partir des courbes pression-volume (CPV) sont reconnus comme les meilleurs indicateurs de l'état hydrique des végétaux et des très fines variations du volume de leurs tissus. Plusieurs techniques de CPV ont été élaborées mais toutes présentent un certain nombre de sources d'erreurs reliées principalement aux conditions d'échantillonnage comme le facteur taille de l'échantillon. Le but de ce travail a été d'essayer de résoudre ces sources d'erreurs lors de l'utilisation de la technique des courbes pression-volume et de chercher des solutions pouvant les éviter.

Ainsi, pour une espèce feuillue, telle *Acacia cyanophylla*, sous conditions hydriques non limitantes ou contraignantes, les rameaux ont toujours présenté moins de variations des paramètres hydriques par rapport aux phyllodes. Les différences significatives n'ont concerné que deux paramètres sur cinq, AWC et RWCo. Ainsi, la réalisation d'un nombre important de CPV sans risque majeur de variations significatives des paramètres hydriques sera possible en prélevant des rameaux plutôt que des feuilles, avec un prélèvement réalisé essentiellement à l'aube et une mise instantanée à saturation pouvant atteindre les 48h.

Les recherches antérieures (*Albouchi et al., 2005; Ennajah et al., 2007*) et celles effectuées au cours de ce travail ont été fondamentales pour comprendre les causes de la variabilité des résultats obtenues. Toutefois, d'autres conditions d'échantillonnages peuvent nous acquérir d'autres solutions et constituer de nouvelles issues pour réduire les risques d'erreurs et contourner les problèmes techniques lors de l'expérimentation ; telle que la conservation des échantillons au réfrigérateur, juste après le prélèvement et avant la mise à saturation, pendant un temps plus ou moins long (0h, 24h, 48h ou 72h).

Références

- [1] - F. A. DAUDET, " Méthodes et techniques d'étude de l'état de liaison et de la teneur en eau dans le sol et la plante ", in " Techniques d'études des facteurs physiques de la biosphère ", INRA, (1970) pp. 325-338.
- [2] - K. H. BERGER, "Problems of safety in operation of chemical-plants", *Journal of the American Statistical Association*, vol. 68, n° 344, (1973) pp. 989-993.
- [3] - B. HANCI, " Effets des contraintes hydriques sur l'écologie et l'écophysiologie de *Plantago albicans* L. ", Thèse de Doctorat d'État, Univ. Tunis, (1987) 360p.

- [4] - E. DREYER, F. BOUSQUET, M. DUCKREY, "Use of pressure volume curves in water relation analysis on woody shoots: Influence of dehydration and comparison of your European oak species", *Ann. Sci. For*, n° 47, (1990) pp. 285-297.
- [5] - A. ALBOUCHI, A. ENNAJAH, A. BEN MANSOURA, Z. EZZEDDINE, "Influence des durées de saturation des échantillons sur les paramètres hydriques déterminés à partir des courbes pression-volume", *Annales de l'INRGREF*, n° 7, (2005) pp.161-172.
- [6] - A. ENNAJAH, A. ALBOUCHI, M. MEZNI, H. ENNAHDI, "Influences du moment de prélèvement des échantillons sur les variations des paramètres hydriques déterminés à partir des courbes-pression-volume", *Annales de l'INGREF*, n° 10, (2007) pp.117-127.
- [7] - M. S. ZAAFOURI, M. CHAIEB, "Threatened trees and shrubs of the Southern Tunisia", *Acta Botanica Gallica*, vol. 146, n° 4, (1999) pp. 361-373.
- [8] - N. EL AYEYEB, B. HENCHI, J. P. GARREC, M. N. REJEB, " Effects of polluted sea-spray on leaves of *Acacia cyanophylla* Lindl. and *Encalyptus gomphocephala* Dc", *Annals of Forest Science*, vol. 61, (2004) pp. 283-291.
- [9] - N. LASSOUED, M. REKIK, H. BEN SALEM, M. A. DARGOUTH, "Reproductive and productivity traits of goats grazing *Acacia Cyanophylla* Lindl. With and without daily PEG supplementation", *Livestock Science*, vol. 105, (2006) pp. 129-136.
- [10] - M. T. TYREE, M. T. HAMMEL, "The measurement of the turgor pressure and the water relations of plants by the Pressure. Bounds technique", *Jour. of Exp. Bot*, n° 23, (1972) pp. 267-282.
- [11] - G. A. RITCHTER, J. R. RODEN, " Comparison between two methods of generating pressure-volume curve", *Plant Cell Env*, n° 8, (1985) pp. 49-53.
- [12] - J. C. BEAUX, M. IMBERT, B. GRANDJEAN, "Cortical modulations of fine temporal structures of impulse trains in the dorsal lateral geniculate-nucleus", *Comptes rendus de l'académie des Sciences, série III- Sciences de la vie-Life Sciences*, n° 314, (1992) pp. 31-36.
- [13] - P. J. KRAMER, "Water stress and plant growth", *Agr. Jour*, n° 55, (1963) pp. 31 -35.
- [14] - L. N. MILLER, "Matriciel potentials in plants", in " *Psychrometry in water relations research*" (eds Brown R.W. and Van Halveren B.P) Utah Agric. Exp Sth., Logan., (1972) pp. 211-219.
- [15] - E. KYRIAKOPOULOS, H. RICHTER, "A comparison of methods for the determination of water status in *Quercus ilex*. *Zeitschrift fur Pflanzen physiologie*", n° 82, (1977) pp. 14-27.
- [16] - M. KSONTINI, P. LOUGUET, D. LAFFRAY, M. N. REJEB, " Comparison of the water stress effects on stomatal conductance, photosynthesis and growth of mediterannean oak seedlings (*Quercus suber* L., *Quercus faginea*, *Quercus coccifera*) in Tunisia ", *Annales des Sciences Forestières*, vol. 55, n° 4, (1998) pp. 477-495.