

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université EL HADJ LAKHDAR
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE



Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de

MAGISTERE EN SCIENCES AGRONOMIQUES

Option : Forêt et conservation des sols

Présenté par :

BEZZALA ADEL

Essai d'introduction de l'arganier

(Argania spinosa (L.) Skeels) dans la zone de
M'doukel et évaluation de quelques paramètres
de résistance à la sécheresse

Soutenu le :

devant la commission d'examen :

Prof. D. ALLATOU
D^r. A. CHORFI, MC
D^r. M. KALLA, MC
D^r. H. MALKI .

Université de Constantine
Université de Batna
Université de Batna
Université de Batna

Président
Rapporteur
Examineur
Examineur

Année : 2005

SOMMAIRE

Introduction générale	1
PARTIE I : Etude bibliographique	3
Chapitre 01 : Monographie de l'arganier et germination des graines forestières	3
I. Monographie de l'arganier.....	3
1. Taxonomie et caractères botaniques.....	3
1.1. Taxonomie.....	3
1.2. Caractères botaniques et dendrologiques.....	4
2. Aire de répartition géographique de l'arganier.....	5
3. Ecologie de l'arganier.....	6
3.1. Les conditions climatiques.....	6
3.2. Particularité édaphique.....	6
3.3. Association de l'arganier.....	9
3.4. Ecophysiologie de l'arganier.....	10
4. L'arganier et la protection de l'environnement.....	11
II. Germination des graines forestières.....	11
1. Introduction.....	11
2. Germination des graines forestières.....	12
Chapitre 02 : Comportement des végétaux vis-à-vis d'une contrainte hydrique	15
1. Introduction.....	15
2. Transport de l'eau dans la plante.....	16
3. Bilan hydrique.....	17
3.1. Le potentiel hydrique.....	17
3.2. Contenu en eau.....	18
4. Effets du déficit hydrique sur les plantes.....	19
5. Réponses des plantes à la sécheresse.....	22
5.1. Aptitude à échapper à la sécheresse.....	22
5.2. Aptitude à résister à la sécheresse.....	22
5.2.1. Mécanismes d'évitement de la déshydratation.....	22
5.2.1.1. Limitation des pertes d'eau par régulation stomatique.....	23
5.2.1.2. Limitation des pertes d'eau par la présence de cires épicuticulaires sur les feuilles.....	26
5.2.1.3. Limitation des pertes d'eau par réduction de la surface Transpirante.....	26

5.2.1.4. Limitation des pertes d'eau par réduction ou par adaptation de la partie aérienne...	27
5.2.1.5. Limitation des pertes d'eau par extension ou par adaptation racinaire.....	28
5.2.2. Mécanismes de tolérance à la déshydratation.....	30
5.2.2.1. La tolérance à la déshydratation par ajustement osmotique.....	30
A. Accumulation de la proline sous stress.....	31
B. Accumulation des sucres solubles sous stress.....	32
5.2.2.2. La tolérance à la déshydratation par réduction des besoins nutritionnels.....	35
5.2.2.3. La tolérance à la déshydratation par maintien de l'intégrité des structures membranaires.....	35
5.2.2.4. Efficacité de l'utilisation de l'eau.....	37

PARTIE 2 :

Matériel et méthodes	38
1. Matériel végétal et condition de culture.....	38
2. Méthodologie.....	38
2.1. Expérimentation 1 (site M'doukel).....	38
2.1.1. Présentation du site.....	38
A. Le semis direct et en sachet de polyéthylène.....	38
2.2. Expérimentation 2 (essai sous serre).....	39
2.3. Paramètres mesurés.....	40
A. Paramètres morphologiques.....	41
B. Paramètres physiologiques.....	41
1. Mesure du contenu relatif en eau.....	41
2. Mesure du pourcentage d'intégrité cellulaire.....	42
3. Détermination de l'efficacité de l'utilisation de l'eau.....	43
4. Mesure de la transpiration.....	43
5. Dosage de la proline.....	44
6. Dosage des sucres solubles.....	45
7. Evaluation indirecte de l'aptitude à l'osmorégulation.....	45
8. Analyse statistique.....	46

PARTIE 3 :

Résultats et discussion	48
Chapitre 1 : Observations et mesures des taux de germination des graines d'arganier à M'doukel et au laboratoire	48

1. Observations.....	48
2. Discussion.....	48
Chapitre 2 : Observations et mesures des paramètres physiologiques en relation avec la	
résistance au stress hydrique.....	53
1.Observations.....	53
1.1. Effet de la contrainte hydrique sur la variation du contenu relatif en eau.....	53
1.2. Effet de la contrainte hydrique sur l'accumulation des sucres solubles.....	55
1.3. Effet de la contrainte hydrique sur la variation des teneurs en proline.....	55
1.4. Effet de la contrainte hydrique sur la variation du pourcentage d'intégrité cellulaire.....	57
1.5. Effet de la contrainte hydrique sur la variation de la transpiration.....	57
1.6. Effet de la contrainte hydrique sur la variation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau.....	59
2. Discussion.....	61
Chapitre 3 : Observations et mesures des paramètres morphologiques en relation avec l	
résistance au stress hydrique.....	67
1.Observations.....	67
1.1. Effet de la contrainte hydrique sur la croissance verticale.....	67
1.2. Effet de la contrainte hydrique sur le nombre des feuilles.....	69
1.3. Effet de la contrainte hydrique sur la croissance radiale.....	69
1.4. Effet de la contrainte hydrique sur la croissance du système racinaire.....	71
1.5. Effet de la contrainte hydrique sur le poids frais total.....	71
1.6. Effet de la contrainte hydrique sur la biomasse sèche totale.....	73
1.7. Effet de la contrainte hydrique sur le poids frais de la partie aérienne et souterraine.....	73
1.8. Effet de la contrainte hydrique sur le poids sec de la partie aérienne et souterraine.....	75
2.Discussion.....	77
Chapitre 4 : Observations et mesures des paramètres morphologiques en relation a	
l'essai d'introduction de l'arganier à M'doukel.....	83
1.Observations.....	83
1.1. Variation de la hauteur de la partie aérienne.....	83
1.2. Variation du nombre de feuilles.....	84
1.3. Variation du diamètre au collet.....	86

1.4. Variation de la longueur de la partie souterraine.....	86
2. Discussion.....	88
Conclusion générale	91
Références	
bibliographiques	96
Annexes	

Introduction générale

Le développement durable d'un milieu naturel repose avant tout sur une gestion raisonnée des ressources naturelles : sol, végétation et eau. Or, les espèces forestières font partie des ressources naturelles que l'on doit protéger et mieux valoriser.

Dans ces zones, le déficit en eau peut être temporaire ou endémique et peut revêtir plusieurs degrés de gravités, allant jusqu'à l'anéantissement complet des formes de vie dans son aspect extrême, à savoir le désert. Il occupe une place particulière du fait de sa fréquence d'occurrence et de la place que l'eau occupe dans les phénomènes métaboliques (TURNER, 1990 ; BALO et *al.*, 1995). De part, son rôle dans la photosynthèse, le transport et l'accumulation, ainsi que dans la multiplication et le grandissement cellulaire, l'eau a un rôle essentiel dans la croissance et le développement des plantes.

En réponse au stress hydrique, beaucoup d'espèces simulent des changements significatifs que se soit sur le plan morphologique que métabolique.

Parmi ces espèces, l'arganier, *Argania spinosa* (L.) Skeels, considéré comme relique de l'ère tertiaire, se trouve dans sa limite la plus extrême (Tindouf) en formant une population naturelle, c'est un arbre forestier " multi - usage", chaque partie ou production de l'arbre (bois, feuilles, fruits et huile) est utilisable, et représente une source de revenu et de nourriture pour l'utilisateur. En plus de son rôle économique, l'arganier joue un rôle irremplaçable dans l'équilibre écologique, il permet de lutter contre l'érosion hydrique et éolienne. Ces derniers font de lui un arbre particulièrement intéressant pour le développement de ces zones arides.

C'est dans ce contexte, que notre étude se veut à la fois la connaissance d'une espèce saharienne à usage multiple peu connue chez nous, tout en essayant de l'introduire dans les zones les plus touchées par l'aridité telles que M'doukel, bien sûr par la mise en place de technique pour sa propagation par semis, pour cela nous avons soumis les graines à différents niveaux de traitements thermiques pour une optimisation de la germination. Ceci est utile pour le forestier dans le cadre de la production de plants en quantité suffisante pour les reboisements à base d'arganier.

Vu que le comportement de l'arganier vis-à-vis du manque d'eau a fait l'objet de très peu d'études, le sujet est loin d'être épuisé du fait de la complexité des mécanismes mis en jeu par les jeunes plants en cas de stress hydrique.

La connaissance des géotypes résistants au déficit hydrique nécessite l'identification des mécanismes de résistance aux conditions défavorables du milieu. C'est pour quoi, nous nous proposons de tester la résistance de l'arganier à la sécheresse, nous avons utilisé différents niveaux de stress hydrique, qui vont de 75% à 10%, se choix a été réalisé pour déterminer les limites de résistance de cette espèce à la sécheresse, pour l'essai d'introduction de cette dernière à M'doukel, afin de restituer la végétation de cette région fragile.

Notre but est la détermination des paramètres morpho - physiologiques d'évaluation du degré de tolérance de l'espèce aux conditions de sécheresse.

Nous commençons par des observations morphologiques simples, suivies par des mesures hydriques de la plante, ensuite, nous abordons les modifications, aux niveaux tissulaire et cellulaires, qui nous conduisent a identifié le comportement de notre espèces vis -à vis du stress hydrique, et la possibilité de cette dernière à mettre en place certains mécanismes de tolérance au manque d'eau, pour enfin essayer de l'introduire dans la zone de M'doukel.

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1

Monographie de l'Arganier et germination des graines forestières

I. Monographie de l'Arganier

1. Taxonomie et caractères botaniques

1.1. Taxonomie

L'arganier (*Argania spinosa* (L) Skeels) est la seule espèce de genre *Argania*, de la famille des « Sapotacées » et de l'ordre des « Ebénales ».

L'arganier en français tire son nom de l'arbre « Argan », l'origine du nom d'arabe se trouve probablement dans le mot « irgen » qui désigne en berbère « tachelhait », qui est le noyau en bois dur de fruit de l'arbre, d'où les berbères tirent une huile réputée huile « d'argan ».

Il existe deux formes d'arganier l'une dite pleureur, l'autre dressé (ROUHI, 1991), ceci supposerait l'existence de deux variétés, ou races biologiques au sein de l'espèce.

L'arbre présente une structure typique de dicotylédone, de la famille des « Sapotacées », le genre « *Argania* » est très polymorphe, elle présente quelques analogie avec l'olivier, mais on ne la trouve que sur des vastes étendues dans le sud du Maroc. C'est la représentation la plus septentrionale d'une famille qui ne compte guère que des représentants tropicaux. Son aire de répartition pose problème, car l'arganier est séparé des autres arbres de sa nombreuse famille, par plusieurs milliers de kilomètres (LEWALLE, 1991) ;

Embranchement : Spermaphytes

Sous-embranchement : Angiospermes.

Classe : Dicotylédones.

Sous-classe : Gamopétales.

Série : Superovariées pentacycliques.

Ordre : Ebénales.

Famille : Sapotacées.

Genre : *Argania*.

Espèce : *Argania spinosa* L. Skeels.

Variétés : A. Sideroxylon Rom et Schl.

A. Sideroxylon spinosium L.Sp.

Nom vernaculaire : Argan (Berb).

1.2. Caractères botaniques et dendrologiques

L'arbre ressemble quelque peu à un olivier, il atteint 8 à 10 mètres de haut et plus selon les conditions écologiques du milieu. La cime est très grande et étalée, dense et à contours arrondis en général ; le tronc est très vigoureux et court, il est constitué assez souvent par plusieurs tiges entrelacées provenant de la soudure de rejets très voisins ou de tiges issues d'un même noyau (BOUDY, 1952).

L'écorce du fût et des grosses branches est rugueuse, et présente un aspect du type « peau de serpent ». Les ramifications sont très denses, les extrémités des rameaux sont souvent épineuses (NOUAIM et *al.*, 1991). Le feuillage est persistant. Toutefois, en cas de sécheresse sévère et prolongée, l'arbre peut perdre ses feuilles entièrement ou en partie (caractère d'adaptation assez poussé aux mauvaises conditions climatiques ou stationnelles telle que le déficit hydrique du substrat). Souvent réunies en fascicules, entières lancéolées, lancéolées-oblongues ou spatulées, atténuées ou plus ou moins nettement pétiolées, les feuilles sont vert sombre à la face supérieure, plus claires en dessous, glabres, avec une nervure médiane très nette et des nervures latérales très fines et ramifiées (M'HIRIT et *al.*, 1998).

L'arganier est une espèce monoïque, à fleurs hermaphrodites, les inflorescences se présentent en glomérules axillaires, composées chacune de 5 sépales pubescents succédant à 2 bractées. La corolle en cloche est formée de 5 pétales, arrondis, blancs ; les étamines (5) sont à filets courts et portent une grosse anthère mucronée ou obtus. L'ovaire pubescent et supère est surmonté d'un style court et conique, également ou dépassant les étamines (M'HIRIT, 1987).

La floraison de l'arganier a lieu généralement au printemps, voire en automne selon les conditions climatique.

La pollinisation anémophile à 80% et entomophile a 20% (THIERY, 1987).

Le fruit de l'arganier est une baie, de forme assez variable (ovale-arrondi, en fuseau court, ovale apiculé...), de couleur verte à jaune claire, et dont la taille va de l'olive à la noix. Il se compose d'un péricarpe charnu et d'un noyau central très dur.

Au centre du fruit se trouve une amande, qui est constituée d'un complexe de plusieurs graines concrescentes. Cette graine composée ne possède habituellement qu'un ou deux embryons ; elle est albuminée et gorgée d'huile (NOUAIM *et al.*, 1991).

L'enracinement de l'arganier est très développé, il peut être traçant lorsque les roches dures s'opposent à son extension, ce qui lui permet de profiter même des faibles quantités de pluie. Le tempérament de cette espèce fort ancienne est extrêmement robuste ; Il rejette abondamment de souches, et constitue un hérissos végétal dans le volume croit régulièrement, ce qui met les pousses centrales hors de portée de la dent des animaux (RIEDACKER *et al.*, 1990).

Le bois d'arganier est très compact, sans aubier, jaunâtre et lourd ; sa densité varie de 0.9 à 1. Il fournit un excellent charbon.

La longévité de l'arganier n'est pas connue avec précision. Toutefois, la résistance physiologique peu commune de l'espèce laisse croire que l'âge de l'arganier peut dépasser 200 à 250 ans voir plus après la coupe (M'HIRIT *et al.*, 1998).

2. Aire de répartition géographique de l'arganier

Au Maroc, l'arganeraie s'étend sur 828.500 ha (AYAD, 1989), seulement beaucoup d'auteurs s'accordent a pensé que de nombreux secteurs, notamment toute la partie méridionale autour de la province d'Agadir, présente une faible densité en arbres, les estimations font état de 500.000 ha (DEPONTEVES *et al.*, 1990 ; LEWALLE., 1991). (Figure n°01).

Toutefois l'arganier, sous forme d'arbrisseaux, couvre les marges les plus extrêmes de son aire de distribution plus précisément dans la partie occidentale du Sahara algérien, entre le jibel Ouarkiz et la hamada de Tindouf comprise entre 28° N et 8° W. La figure n°02 montre la localisation de l'arganeraie en Algérie (MORSLI, 1999).

3. Ecologie de l'arganier

3.1. Les conditions climatiques

L'arganier est une espèce thymoxérophyle, dont l'aire de répartition chevauche à la fois avec les bioclimats semi-aride, (dont les précipitations moyennes annuelles sont comprises entre 290 et 400 mm et la température moyenne annuelle la plus basse et le plus souvent supérieure à 7°C), et aride (qui occupe les deux tiers de l'arganeraie avec une précipitation moyenne oscillant entre 150 mm et 300 mm et la température moyenne du mois le plus froid entre 3°C et 7°C). En outre, l'arganier supporte convenablement les températures élevées et s'adapte aux périodes de sécheresse prolongées, grâce à sa faculté de défoliation (PELTIER, 1982).

Le paramètre clé de l'écologie de l'arganier, semble être lié à l'humidité de l'air, due aux fréquentes rosées matinales (spécialement en été), ou les brumes et brouillards pouvant se maintenir une grande partie de la journée, limitent ainsi son insolation et l'élévation de la température. Cette océanité semble réguler la répartition de l'arganier au sud du Maroc (NOUAIM et *al*, 1990).

En altitude, c'est le froid qui détermine la limite supérieure de l'arganier. Cette dernière se confond avec les basses neiges (EMBERGER, 1924 ; 1925), soit 900 m dans le haut Atlas (NOUAIM ET CHAUSSOD, 1993) et 600 m au Sud du Maroc (PELTIER, 1982).

3.2. Particularités édaphiques

L'arganier pousse sur tous les types de sols, y compris les sols salés (NOUAIM et *al*, 1991). On le retrouve sur les schistes, les roches calcaires et les alluvions.

Cependant, il semble exclure les sols à sable mobile (NOUAIM et CHAUSSOD, 1993).

Par ailleurs l'arganier semble supporter une large gamme de PH allant de 4.6 à 7.5 (NOUAIM et *al*, 1991).

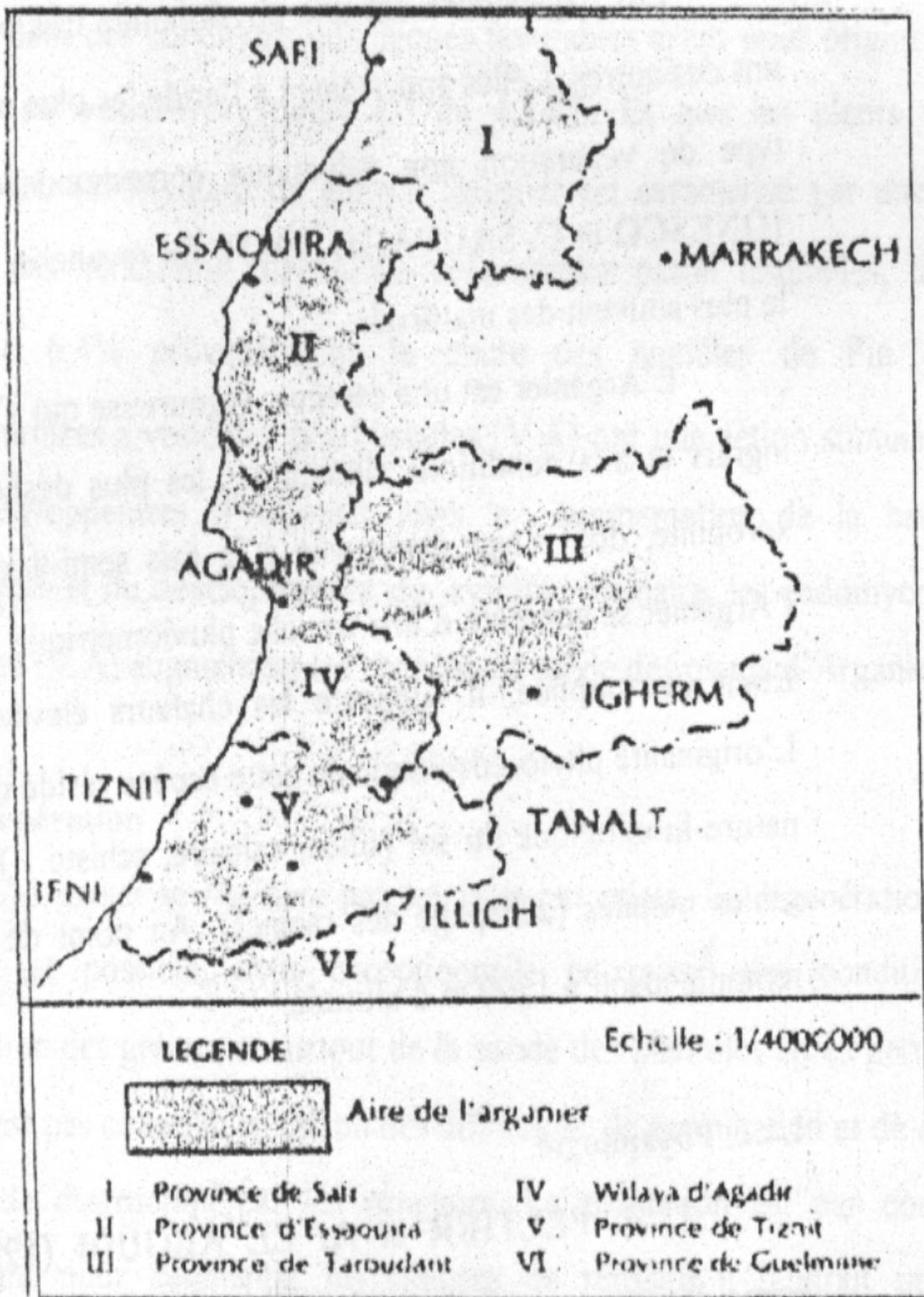


Figure 01 : L'aire de la répartition de l'arganier au Maroc

Source : BENARADJ (1999)

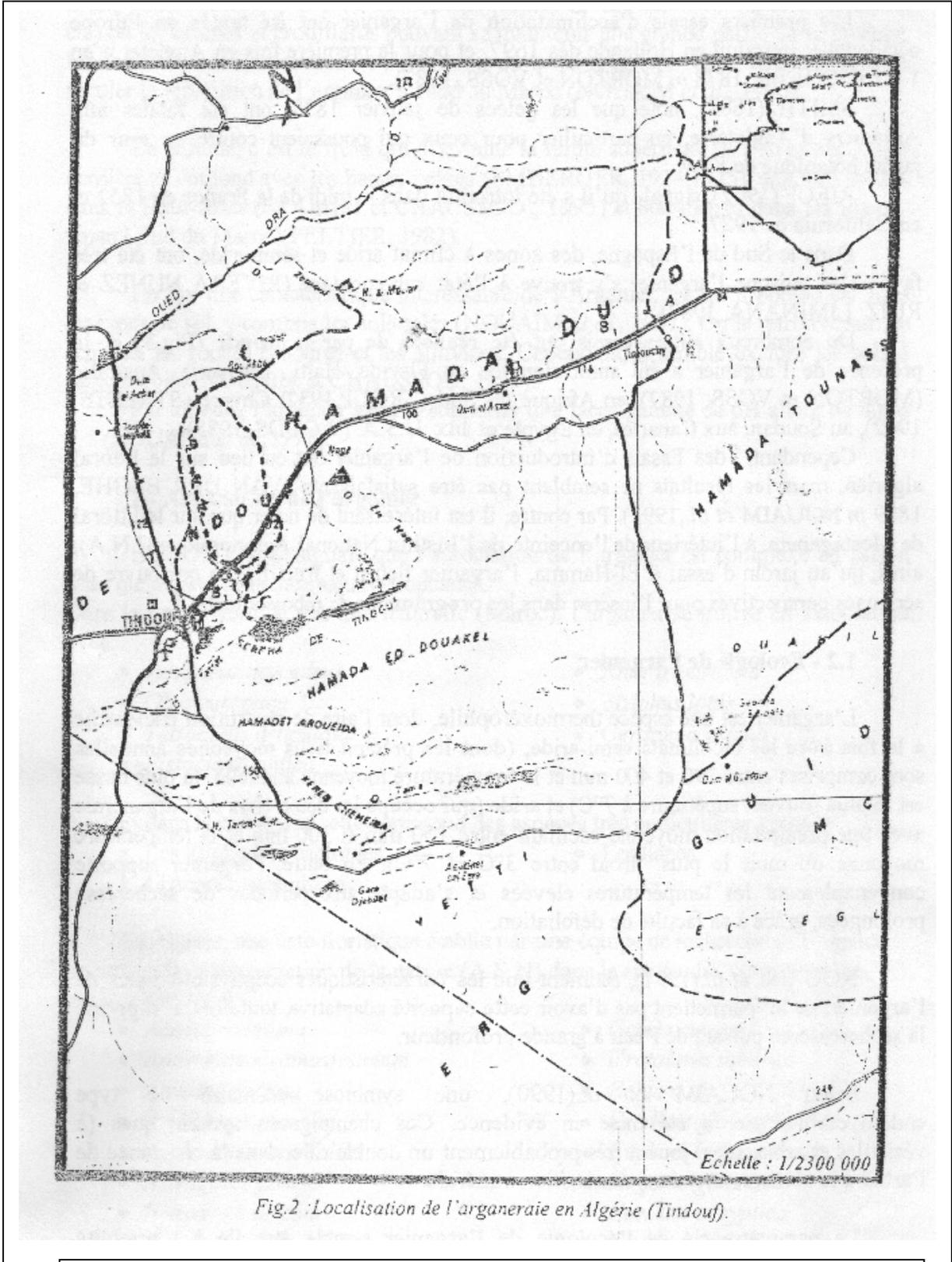


Fig.2 : Localisation de l'arganeraie en Algérie (Tindouf).

Figure 02 : Localisation de l'arganeraie en Algérie (Tindouf)

Source : MORSLI (1999)

3.3. Association de l'arganier

BOUDY (1952), signale que l'association de l'arganier est complexe en raison d'un mélange d'influence saharo-tropicale.

Au Maroc, l'arganier se trouve en association avec :

- * *Juniperus oxycedrus*
- * *Ziziphus lotus*
- * *Olea europaea*
- * *Ceratonia siliqua*
- * *Tetraclinis articulata*
- * Les Euphorbes cactoides
- * *Pistacia atlantica*
- * L'Acacia gummifère
- * *Rhus tripartitum*
- * Les lianes

En Algérie, une liste floristique établie par une équipe de recherche de l'Agence Nationale de la Conservation de la Nature (ANN) à Tindouf, comprend les espèces suivantes :

- * *Acacia radiana*
- * *Aristida plumose*
- * *Antirrhinum ramosissimum*
- * *Anvillea radiata*
- * *Asphodelus tenuifolius*
- * *Astragalus gombo*
- * *Brassica muricata*
- * *Bubonium graveolens*
- * *Cleome arabica*
- * *Colocynthis vulgaris*
- * *Ifloga spicata*
- * *Marrubium deserti*
- * *Moricandia arvensis*
- * *Ziziphus lotus*
- * *Panicum sp*
- * *Rumex vesicarium*
- * *Cotula cineria*
- * *Crotalaria saharae*
- * *Echium sp*
- * *Erodium glaucophyllum*
- * *Euphorbia guyoniana*
- * *Fagonia glutinosa*
- * *Farsetia aegyptica*
- * *Gymnocarpus decander*
- * *Heloxylon scoparium*
- * *Helianthemum lippi*
- * *Pergularia aegyptiaca*
- * *Pergularia tomentosa*
- * *Retama retam*
- * *Neurada procumbens*
- * *Rhus tripartitum*
- * *Salvia aegyptiaca*

3.4. Ecophysiologie de l'arganier

Les travaux récents sur l'écophysiologie de l'arganier sont dus à ELABOUDI (1990), et conduisent aux résultats suivants :

- * L'arganier a une résistance stomatique voisine de 200 s.m^{-1} , valeur habituelle chez les arbres, qui n'est ni particulièrement faible, comparativement aux arbres feuillus des régions tempérées ($\pm 50 \text{ s.m}^{-1}$), ni particulièrement élevée comparée aux conifères.
- * Les stomates s'ouvrent et se ferment principalement sous l'action de l'éclairement, caractère ordinaire des espèces végétales.
- * La transpiration diurne entraîne la chute du potentiel hydrique foliaire.
- * Le potentiel hydrique foliaire, fortement corrélé à la transpiration, peut atteindre -3.5 MPa en milieu de journée. L'arganier tolère un tel potentiel sans fermeture stomatique, En revanche, si l'on suspend l'alimentation en eau en coupant des rameaux, la fermeture des stomates est observée tandis que le potentiel hydrique foliaire tombe au-dessous de -3.5 MPa .
- * Le système racinaire de l'arganier est très mal connu, en dépit de son importance pour l'alimentation en eau et en éléments minéraux de l'arbre. On sait que l'arganier possède un système racinaire de type pivotant, pouvant descendre à de grandes profondeurs ; des chiffres de l'ordre de 30 mètres ont été avancés.

En outre, l'arbre possède un réseau dense de racines superficielles ayant une bonne capacité de renouvellement, des racines fines apparaissant après chaque épisode pluvieux. Enfin, ce n'est qu'en 1988 que les observations de NOUAIM et PERRIN ont mis en évidence une symbiose racinaire de type endomycorhizienne, ces derniers jouent probablement un rôle dans la résistance de l'arbre à la sécheresse et dans sa nutrition minérale (NOUAIM et *al.*, 1990).

En conséquence l'arganier n'est pas particulièrement économe en eau jusqu'au début de la saison sèche (M'HIRIT et *al.*, 1998).

4. L'arganier et la protection de l'environnement

L'arganier est l'une des espèces vigoureuses, admirablement adaptée au climat et au sol, conditionne l'existence des populations rurales ; sa disparition entraînerait la stérilisation de la zone et sa transformation en steppe désertique (NOUAIM et *al.*, 1990).

La fonction la plus simple et la plus classique est d'abord, la protection du sol par l'ombre portée des cimes denses des arbres dans ces régions subdésertiques, où l'ennemi principal de la végétation est la sécheresse et la dessiccation solaire. En effet, l'arganier peut être considéré comme une sorte de « machine élévatoire d'eau » : envoyant ses racines puissantes s'alimenter à grande profondeur, il restitue par le jeu de l'évaporation et de la condensation atmosphérique une partie de cette eau à la couche superficielle du sol, où elle peut être utilisée par la végétation (M'HIRIT, 1987 ; M'HIRIT et *al.*, 1998).

II. Germination des graines forestières

1. Introduction

De nombreuses espèces forestières endémiques subissent l'aridité de leurs milieux où il n'est pas rare que les périodes de sécheresse couvrent plusieurs années consécutives. Parmi ces espèces ; le cèdre de l'Atlas (EZZAHIRI et BELGHAZI, 2000) et l'arganier (BANI-AAMEUR et ALOUANI, 1999), Ils subissent les effets dévastateurs des coupes de bois de chauffe et du surpâturage en montagne.

Parallèlement à la destruction, la régénération naturelle des essences forestières et plus particulièrement l'arganier est absente à cause de la récolte excessive des fruits, du broutage par le bétail des rares plantules issues de la germination des noyaux restants (BOUDY, 1950), et à cause des conditions du milieu défavorables à la germination spontanée des noyaux (ZAHIDI et BANI-AAMEUR, 1997), et à l'établissement des plantules (M'HIRIT, 1989).

Les tentatives menées jusqu'à présent pour faire germer les semences des plantes endémiques ne résultent que du simple empirisme.

Deux approches ont été envisagées :

- La première reposant exclusivement sur la production de plants en pépinière ou le recours à l'ensemencement hydraulique.
- La seconde ayant consisté à faire varier les traitements préalables, température et humidité en conditions semi-contrôlées.

Quelle que soit l'approche considérée, les résultats positifs n'ont pas été expliqués et les échecs non résolus (M'HIRIT, 1998).

2. Germination des graines forestières

La sauvegarde de la diversité génétique constatée chez certains arbres forestiers et très particulièrement chez l'arganier (*Argania spinosa* L.Skeels) (MSANDA et al. 1994 ; FERRADOUS et al., 1994 ; ZHIDI et al., 1996), nécessite une multiplication des efforts pour assurer une meilleure propagation, et réduire l'ampleur de la régression quantitative et qualitative de l'arganier (EL YOUSSEFI, 1988). Cette régression est surtout conséquente à la destruction des arbres sans possibilité de les remplacer.

La diversité génétique de l'arbre ne peut être conservée que par la propagation par semis de noyaux de l'arganier (FERRADOUS, 1995). Dans la nature, la régénération spontanée reste très rare en raison des conditions difficiles du milieu (M'HIRIT, 1989), depuis la germination jusqu'au développement des plantules, telles conditions restent encore peu connues.

Ainsi, des tentatives d'optimisation des conditions de germination ont été parfois avancées. Des noyaux placés à une profondeur de huit centimètres ont germé mais n'ont pas levé. Placés en surface, ils n'ont pas germé. Alors que ceux plantés à deux centimètres ont germé et levé à 86% (ARIF, 1994). La germination et la levée des noyaux d'arganier nécessitent donc des conditions optimales d'humidité au niveau du sol à une profondeur suffisante. Cette profondeur n'est pas toujours assurée dans la nature à cause de la dégradation du sous bois, et du surpâturage intensif rendant ainsi le recouvrement par la litière très aléatoire.

BENSAID (1991) a montré que la température optimale de la germination d'*Acacia raddiana* est de 30 °C.

La germination des noyaux d'arganier n'a pas eu lieu à la température de 4°C (GUEDRA, 1981). Par contre, ils ont germés à des températures de 13°, 20° et 25°C.

Chez le cèdre la germination des graines est plus importante à une température de 4 °C et maintenu humide (EZZAHIRI et BELGHAZI, 2000).

En plus des conditions du milieu, la germination peut être conditionnée par les caractéristiques biologiques de la graine tels que le poids, la forme et la durée de stockage (ZAHIDI et BANI-AAMEUR, 1997). Chez l'arganier les noyaux de poids supérieur à 3,5g ont germé en une semaine à plus de 80%. Par contre, les noyaux de moins de 3,5g n'ont germé que plus tard, la capacité de germination étant de 68% (NOUAIM, 1994). La capacité de germination des noyaux lourds arrondis (3,5 à 2,9g) était plus élevée que celle des noyaux moins lourds arrondis (2,5g) ou fusiformes (2,8 à 1,5g) (LOUTFI, 1994).

En général, L'expérimentation était souvent réalisée avec des noyaux (graines) de l'année, sans préciser ni la date de récolte, ni les conditions (ambiantes) de stockage.

Les graines de cèdre, châtaignier et des noyaux d'arganier de deux ans ont montré des retards de germination, et des capacités très faibles au bout d'un intervalle de germination de quatre mois (NOUAIM, 1994 ; EWART 1908 in BAIYOU, 2000).

D'autres noyaux d'arganier âgés de deux ans ont germé après un temps de latence de cinq jours, et un intervalle de germination d'environ 26 jours (GUEDRA, 1981).

La coque des graines de plusieurs espèces forestières semble constituer une barrière, ce qui a poussé certains auteurs à expérimenter d'autres voies.

Pour favoriser la germination, les noyaux d'argan avant semis, sont trempés dans une solution acide (EL MAZZOUDI et ERRAFIA, 1977). Pour d'autres auteurs, la germination des noyaux d'argan ne nécessite pas de traitements chimiques préalables. Un simple pré - trempage des noyaux dans l'eau, technique utilisée actuellement dans les pépinières, est suffisant (NOUAIM, 1994). Par contre, le concassage du test favorise un contact rapide des amandes avec l'eau (LOUTFI, 1994).

CHABA et *al* (1991) qui a travaillé sur *Pistacia atlantica*, montre que la scarification présente un taux de germination maximum en moins d'une semaine,

alors, que les autres méthodes donnent un taux de germination 2 fois plus faibles pour un temps 2 à 4 fois plus long.

CAVANAGH (1980) et HANNA (1981) ont montré, que les légumineuses ont des téguments durs qui peuvent retarder la germination pendant des mois voir des années. Pour leur part KAUL et MANOHAR (1966) et KAO (1971) notent que l'inaptitude à la germination des Acacias serait donc d'origine tégumentaire, et peut être levée si le tégument est cassé ou ramolli : il y'a pénétration d'eau, ainsi la germination est facilitée (ROBBERTSE, 1973 et 1975).

L'utilisation des amandes au lieu des noyaux pour la production de plantules d'arganier, réduit le temps de latence de deux ou trois semaines, à trois jours seulement. L'intervalle de germination est réduit de quarante à douze jours. Ainsi, le concassage améliore la capacité de germination, qui peut atteindre 100%. (LOUTFI, 1994).

La pourriture a toujours accompagné la germination des noyaux et des amandes d'arganier (EL MAZZOUDI et ERRAFIA, 1977 ; NOUAIM, 1994 ; LOUTFI, 1994). Cette pourriture a contribué largement à la réduction du pourcentage de germination. Mais aucun de ces auteurs n'a identifié ni les agents pathogènes responsables de cette pourriture, ni le pourcentage de contamination. Actuellement, des noyaux de l'année ne sont pas toujours disponibles pour la production des plantules d'arganier. Ces rendements peuvent être très faible ou même nuls en année très sèche (M'HIRIT, 1989 ; RAHALI, 1989 ; LOUALI, 1994 ; FERRADOUS et *al.* 1997). Dans ce cas, l'utilisation des noyaux âgés s'impose.

Chapitre 2

Comportement des végétaux vis-à-vis d'une contrainte hydrique

1. Introduction

Pour que la plante ne soit pas pénalisée au cours de son cycle, il convient de positionner son parcours de façon à éviter le plus possible les facteurs limitants.

Parmi ces facteurs limitants, l'eau joue un rôle dominant sur les phénomènes de croissance et de développement.

Un stress hydrique peut limiter ainsi la croissance des végétaux, en modifiant le bilan entre la disponibilité et les besoins.

L'eau est un facteur important dans la fourniture des éléments minéraux à la plante, car la plus grande partie de l'hydrogène et de l'oxygène des constituants de la matière sèche provient de l'eau.

Selon KHAROUBI (1996), l'eau d'imbibition représente une quantité 4 à 15 fois supérieure à celle de l'eau nécessaire comme simple aliment, or, après son évaporation par transpiration, il faut qu'elle soit remplacée en permanence par l'eau du sol, absorbée par les racines, pour que le maintien du fonctionnement de la plante soit assuré.

Si, par contre, cette eau évaporée n'est pas remplacée, l'absorption ne peut plus satisfaire la demande de la transpiration (on parle alors d'une situation de déficit hydrique), et par conséquent, les processus physiologiques commencent à être affectés.

Les dégâts produits par le stress hydrique se manifestent par une chlorose, des phénomènes de sénescence (DEBAEKE et *al*, 1996), l'abscission des feuilles de la base et le flétrissement. Les feuilles nouvellement formées montrent une réduction de leur surface.

Un végétal, non adapté à vivre en conditions sèches, dispose d'un certain nombre de moyens pour contrôler son état hydrique.

Des expériences où seule une partie du système racinaire est soumise à une contrainte hydrique, ont permis de démontrer qu'un signal de nature chimique est véhiculé par le xylème jusqu'aux parties aériennes (SARDA et *al*, 1992). Il permet aux racines de réguler la conductance stomatique des feuilles.

An niveau cellulaire, il y'a intervention possible de l'osmorégulation. Au niveau des organes c'est avant tout les feuilles qui peuvent agir, soit en inclinant leur position de façon à diminuer leur surface exposée au soleil, soit en s'enroulant sur elles-mêmes (CRUIZIAT, 1991).

2. Transport de l'eau dans la plante

On distingue le transport à longue distance de l'eau, qui a lieu de la racine à la feuille, dans les éléments du xylème, des faisceaux conducteurs, et le transport à moyenne distance de l'eau, qui a lieu dans le cortex de la racine.

Le bilan de l'eau montre que les plantes ne retiennent et n'utilisent dans leurs cellules, qu'une petite fraction de la quantité étonnante d'eau qu'elles ont absorbée et transportée. Elles en évaporent la plus grande partie.

Ce phénomène est lié au fait que la partie végétative des plantes terrestres présente une extrême dispersion des valeurs du potentiel hydrique : allant d'un potentiel de l'eau faiblement négatif, pour la racine dans un sol gorgé d'eau, à un potentiel de l'eau fortement négatif, pour le feuillage dans l'air en général sec (KHAROUBI, 1996).

La plante rejette donc continuellement par son feuillage de l'eau dans l'atmosphère, rejet qu'elle doit compenser en absorbant de l'eau au niveau du sol.

Les cellules du mésophylle, par transpiration, perdent continuellement de l'eau en direction des espaces intercellulaire qui, lorsque les stomates sont ouverts, établissent la communication avec l'atmosphère.

La différence du potentiel hydrique entre l'air (-100 MPa pour 50% d'humidité relative) et les cellules (-0.1 à -1 MPa) est déterminante. C'est d'abord la paroi des cellules concernées qui est touchée par le phénomène : son potentiel hydrique baisse fortement et perturbe l'équilibre hydrique, un flux s'établit du cytoplasme et de la vacuole vers l'extérieur de la cellule (TARDIEU *et al.* 1990).

Cela fait baisser le potentiel osmotique, de sorte que la cellule montre finalement un potentiel hydrique fortement négatif, elle se procure alors de l'eau auprès de sa voisine, et ainsi de suite, jusqu'à ce que finalement la jonction se fasse dans la feuille avec l'extrémité d'un vaisseau (KHAROUBI, 1996).

3. Bilan hydrique

Indispensable à toute vie, l'eau est en poids, le constituant des végétaux (60 à 85 % environ du poids frais des plantes (CRUIZIAT, 1995). Elle joue de multiples rôles : transporteur, solvant, agent de réaction chimique, facteur de turgescence...

La transpiration permet aux plantes de perdre une partie de l'énergie qu'elles reçoivent du soleil et de supporter ainsi son rayonnement sans pour autant subir un échauffement excessif.

Chez les plantes, lorsque l'eau est bien humide, l'eau en provenance du sol transite par le végétal avant de rejoindre l'atmosphère. Sur 24 heures, 95% à 98% de l'eau qui rentre par les racines sort par les feuilles, la faible quantité de l'eau qui reste sert aux fonctions physiologiques et surtout à la croissance en volume des cellules (CRUIZIAT, 1995). Le même auteur ajoute que l'immense majorité des plantes cultivées peut dépérir assez rapidement si leur teneur en eau s'écarte de 20% à 30% de sa valeur optimale.

3.1. Le potentiel hydrique

Le potentiel hydrique représente un état d'équilibre entre l'état hydrique de la plante et celui du sol (TARDIEU et *al.*, 1990). Plusieurs pistes d'amélioration sont à envisager, qui passent toutes par l'utilisation d'une variable d'état strictement liés au fonctionnement hydrique de la plante : le potentiel hydrique foliaire. Il mesure l'état énergétique de l'eau dans un tissu ou un organe.

L'exemple d'une éponge imbibée d'eau peut donner une idée concrète de ce qu'est un potentiel hydrique. Une éponge saturée d'eau mise dans une bassine d'eau ne perdra ni ne prendra d'eau, son potentiel hydrique sera nul comme celui de la bassine. Si on veut extraire de l'eau de cette éponge, il faut exercer une certaine pression avec les mains. Cette pression devra être d'autant plus forte que l'éponge est moins humide, c'est à dire que son potentiel hydrique est plus négatif.

On peut comprendre, par cet exemple, qu'il existe constamment une relation entre le contenu en eau de l'éponge et son potentiel hydrique.

Selon KHAROUBI (1996), le potentiel hydrique correspond du point de vue énergétique au travail qu'il faudrait fournir à une unité de masse d'eau « liée » aux tissus d'une plante, pour l'amener à cet état de liaison à un état de référence, correspondant à de l'eau pure (on dit souvent « libre » par opposition à « liée ») à la même température et la même pression atmosphérique. Comme on adopte la valeur zéro pour ce potentiel de référence, tous les potentiels hydriques caractérisant « l'eau liée » sont négatifs puisqu'il faut fournir un travail pour amener cette eau à un potentiel hydrique nul.

La relation entre Ψ et μ s'écrit avec cette convention :

$$\Psi = (\mu - \mu_0) / V \text{ H}_2\text{O liquide.}$$

Avec :

Ψ : Potentiel hydrique.

μ : Potentiel chimique de l'eau dans les cellules.

μ_0 : Potentiel chimique de référence de l'eau.

V : Volume molaire partiel de l'eau.

Le potentiel hydrique s'exprime le plus souvent en bars (1 bar = 0.987 atmosphères) ou en mégapascal (1 MPa = 10 bars). Il indique la force développée par les cellules pour absorber l'eau de leur environnement.

Par définition, le potentiel hydrique de l'eau pure est nul, alors que celui des solutions est négatif. En provenance du sol, l'eau traverse la plante avant de rejoindre l'atmosphère et ce vers les plus faibles potentiels (KHAROUBI, 1996).

3.2. Contenu en eau

Toutes les réactions métaboliques se déroulent dans la phase aqueuse. L'eau participe aux transformations métaboliques.

Elle est aussi indispensable au bon fonctionnement des protéines. D'ailleurs les organismes vivants se distinguent par leur contenu en eau très élevé : il peut aller jusqu'à 90 % de la masse ou même davantage chez les plantes supérieures (RICHTER, 1993).

Le contenu en eau est facilement déterminable en tenant compte du poids frais après récolte, et du poids sec après mise à l'étuve à une température de 60°C (TURNER, 1981 in CHORFI, 1992).

Chez les plantes supérieures, l'eau est un moyen de transport : elle véhicule principalement les sels minéraux, d'une cellule à l'autre et des racines aux organes aériens.

4. Effets du déficit hydrique sur les plantes

Les plantes en général exigent des conditions environnementales optimales pour une croissance normale, mais elles sont souvent sujettes à des facteurs extrêmes de potentielle hydriques, température et salinité, en engendrant différents types de stress. (HOPKINS, 1999; BOUAOUINA *et al.*, 2000).

Toutefois, le stress biologique est un concept mécanique, définit comme étant une force appliquée sur un objet par unité de surface. En réponse à cette force externe, l'objet développe une force ou change de dimension. (JOHN, 1992 ; HOPKINS, 1999). En réponse au stress, le blé simule des changements significatifs que se soit sur le plan morphologique que métabolique (ARAUS *et al.*, 1986 ; DIB *et al.*, 1992 ; FLAVIA *et al.* , 1993 ; CASTRILLO *et al.*, 1995).

Le stress hydrique occupe toutefois une place particulière du fait de sa fréquence, et de la place que l'eau occupe dans les phénomènes métaboliques (TURNER, 1990 ; BALO *et al.*, 1995). De part son rôle dans la photosynthèse, le transport et l'accumulation, ainsi que dans la multiplication et le grandissement cellulaire, l'eau a un rôle essentiel dans la croissance et le développement des plantes (RASCIO *et al.* ,1990 ; BLAKE *et al.*, 1991; MEDRANO *et al.* , 1992; CABEZA *et al.* ,1995).

Les conséquences du stress hydrique au niveau cellulaire sont représentés sur la (Figure n° 03), d'après BRINIS (1995).

Chez le blé, l'organe qui subit l'effet du déficit hydrique en premier lieu est le limbe de la feuille. Il cesse sa croissance, s'enroule et, après anthèse, accélère sa sénescence si le stress dure. En réduisant la taille des feuilles et leur surface verte, le stress

hydrique diminue l'indice foliaire et la durée de vie de la feuille, et par voie de conséquence, la capacité photosynthétique (TURNER *et al.*, 1987).

De nombreuses autres réactions ont été observées au niveau métabolique (accumulation de solutés) ou au niveau de la balance hormonale. L'acide abscissique (ABA), qualifié « d'hormone de stress », est synthétisé rapidement et semble avoir un rôle important dans la réponse au stress, dans l'inhibition de la photosynthèse et le ralentissement de la croissance des feuilles. Le déficit hydrique peut également diminuer la pression de turgescence de la plante et par conséquent provoquer une perte d'eau du contenu cellulaire. Cette perte de l'état de turgescence peut engendrer des effets physiologiques très importants (GATE, 1995). Mais la question reste toujours posée, de savoir si ces nombreuses réactions au déficit hydrique ont un rôle effectif dans l'acquisition de la tolérance, ou bien s'ils ne font que marquer un état de stress. Pour pouvoir répondre à cette question, il est nécessaire d'étudier les différentes réponses des plantes à la sécheresse et les mécanismes d'adaptation développés par la plante.

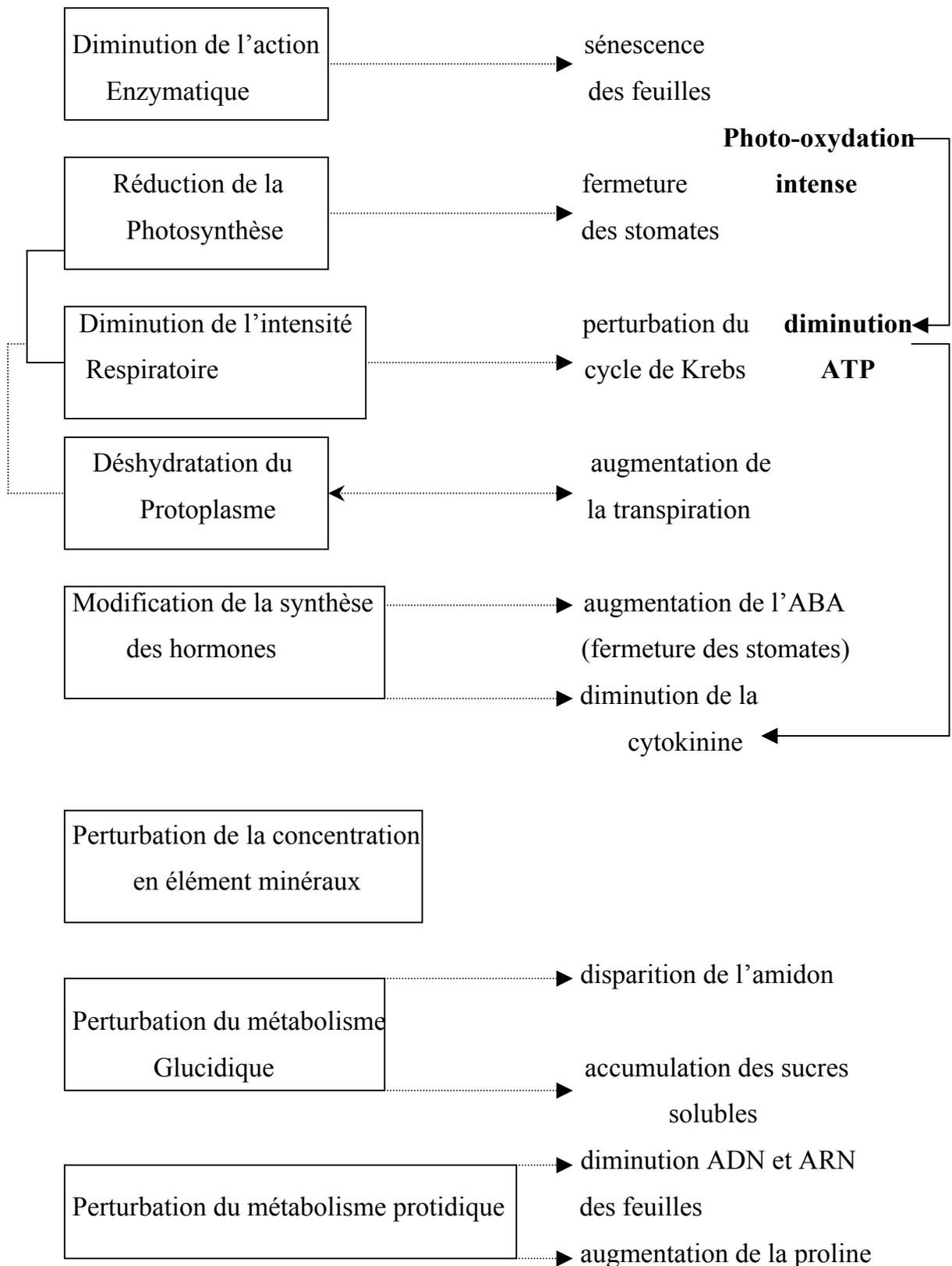


Figure 03 : Les effets du stress hydrique au niveau cellulaire (BRINIS, 1995)

5. Réponses des plantes à la sécheresse

En réponse au déficit hydrique (Figure n°04), une panoplie de stratégies ont été développées par différents génotypes et dépendent en particulier de la nature des pressions de sélections subies au cours de l'évolution (LEWICKI, 1993). Diverses classifications des mécanismes de résistances à la sécheresse ont été élaborées et trois grands types ont été décrits par TURNER *et al.* (1978) et TURNER *et al.* (1987).

5.1. Aptitude à échapper à la sécheresse

Les plantes de ce groupe ne supportent pas le manque d'eau et terminent leur cycle reproducteur avant la période de sécheresse. Ce sont les éphémérophytes, qui passent la saison sèche sous forme de graines (plantes annuelles), de bulbes ou de rhizomes (plantes pérennes).

5.2. Aptitude à résister à la sécheresse :

Deux mécanismes sont possibles. L'un correspond à des stratégies d'évitement des pertes d'eau et l'autre à des stratégies de tolérance de la déshydratation des tissus.

Dans le premier cas, les mécanismes mis en œuvre sont le plus souvent intégrés à l'échelle de la plante entière.

Dans le second, les mécanismes impliqués assurent le maintien de l'intégrité et du fonctionnement des structures cellulaires, dans des conditions hydriques déficitaires. Il s'agit alors de tolérance protoplasmique à la déshydratation.

Les stratégies d'évitement et de tolérance ne s'excluent pas au sein d'un même végétal. Le plus souvent, elles cohabitent (BEN NACEUR, 1994).

5.2.1. Mécanismes d'évitement de la déshydratation

L'évitement est défini comme la capacité d'une plante à supporter une sécheresse en évitant une déshydratation des tissus. La plante conserve un potentiel hydrique foliaire élevé, dont les principales manifestations et conséquences sont résumées dans la figure n°04. On peut citer *Halimium halimifolium* et *Helichrysum angustifolium* (MERINO *et al.*, 1976), quelques variétés de *Triticum aestivum* et des stolons de *Trifolium repens* (TURNER, 1990), qui résistent aux fortes sécheresses par une légère modification de leur potentiel hydrique. Par ce biais, ces plantes maintiennent une hydratation tissulaire suffisante, assurant une fonction métabolique normale, soit en réduisant les pertes, soit en augmentant l'absorption d'eau.

La réduction des pertes en eau passe par l'acquisition de dispositifs morphologiques ou anatomiques et par des modifications métaboliques qui permettent de limiter la transpiration et donc de maintenir un potentiel hydrique élevé dans le tissu pendant la contrainte. Les principales modalités de réduction des pertes d'eau sont décrites par LEVITT (1980), MONNEVEUX et NEMMAR (1986), DASSA-GIRARD (1987), BENNADJI (1989), GHARTI-CHHETRI et LALES (1990).

5.2.1.1. Limitation des pertes d'eau par régulation stomatique

Lorsqu'un déficit hydrique survient, la réduction de l'ouverture stomatique permet de préserver rapidement l'état hydrique de la plante, mais s'accompagne d'une réduction des échanges gazeux et, par voie de conséquence, de la photosynthèse.

Le degré de fermeture et d'ouverture des stomates varie avec les espèces végétales et peut être total ou partielle. Chez certaines espèces, dès que le déficit hydrique s'installe, un flétrissement des feuilles se manifeste. Chez d'autres, le flétrissement foliaire n'apparaît que dans des conditions extrêmes de sécheresse (GHARTI-CHHETRI et LALES, 1990). Le principe de fonctionnement des stomates repose essentiellement sur les variations du potentiel de turgescence dans les cellules de garde. Celles-ci sont déterminées par de nombreux facteurs dont certains sont liés à l'environnement et les autres à la plante elle-même. (BEN NACEUR, 1994).

Par exemple, l'obscurité entraîne généralement, la fermeture des stomates sauf chez les plantes à métabolisme photosynthétique du type CAM, qui ouvrent leurs stomates la nuit et les ferment le jour. Il s'agit d'une adaptation de ces plantes aux conditions d'aridité.

Les réponses stomatiques au stimulus lumineux varient selon l'espèce, le stade de développement de la feuille et des conditions de culture.

Le teneur en CO₂, la température, la photopériode et l'humidité relative de l'air sont des facteurs tout aussi importants que le déficit hydrique et la lumière, qui influencent, eux aussi, le fonctionnement stomatique.

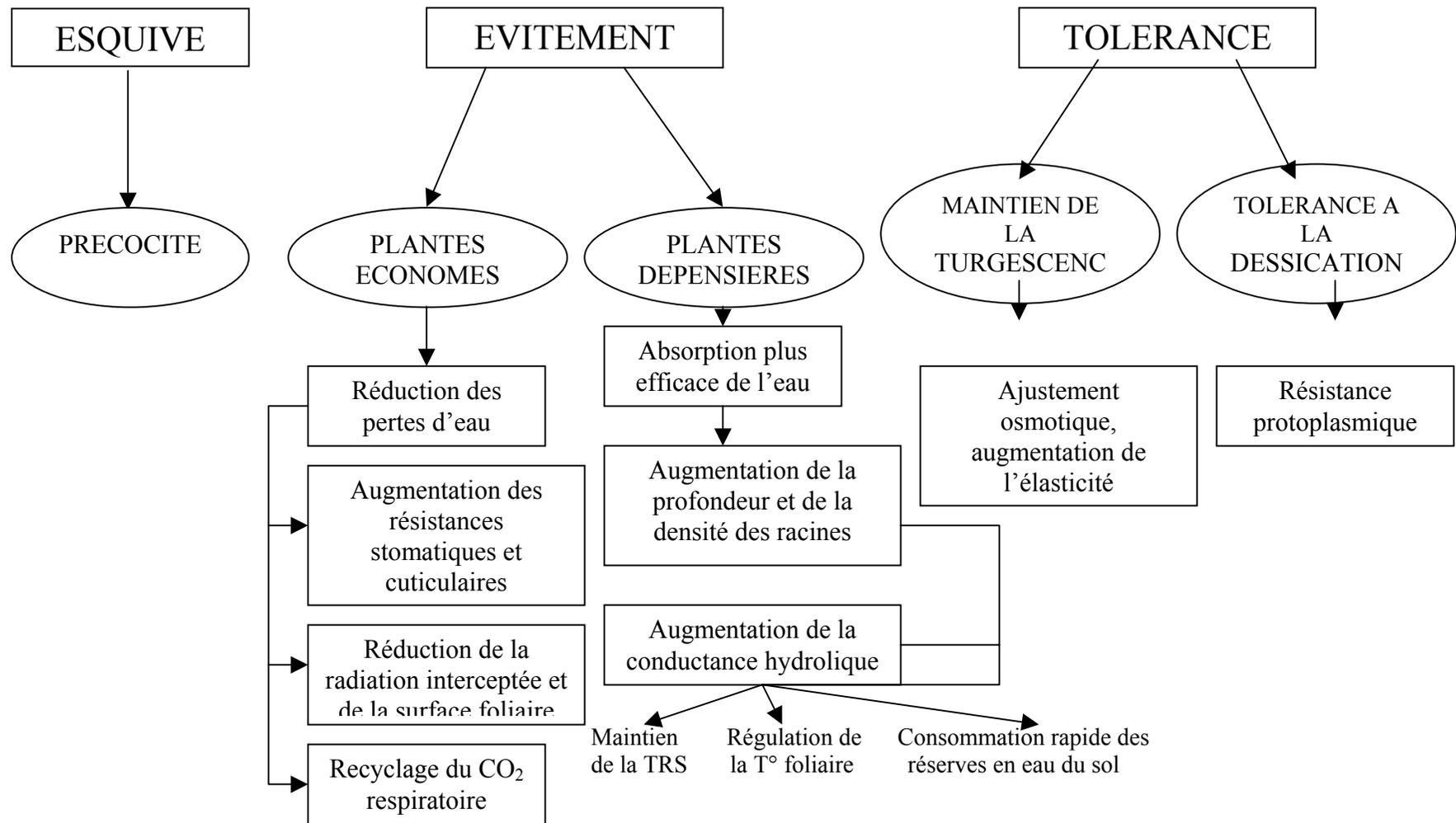


Figure n° 04 : Mécanismes de résistance des plantes à la sécheresse (NOURI, 2002)

D'autre part, divers auteurs attribuent le mécanisme de fermeture des stomates à un contrôle hormonal (acide abscissique et cytokinine) (JOHNSON-FLANAGAN et *al.* 1992 ; OBER et SETTER, 1990 et 1992 ; RIBAUT et PILET, 1991 ; TRADIEU et DAVIES, 1992 ; TARDIEU et *al.* 1990), à une accumulation ionique (K^+ , H^+ , Cl^- , malate...) (ALARCON et *al.* 1993), ou à l'effet des radiations monochromatiques bleus et rouges (LAFFRAY et LOUGUET, 1986). Cette dernière hypothèse est reprise par PETERSON et *al.* (1991).

Le comportement écophysologique de l'arganier par rapport à l'eau n'a pas été étudié jusqu'à présent, contrairement à celui d'arbres et arbustes méditerranéens et désertiques. (RIEDACKER et *al.*, 1990).

Parmi ceux-ci, beaucoup montrent, au cours de l'avancement de la saison sèche, une chute de leur potentiel hydrique de base, liée à l'assèchement du sol ; en même temps la conductance stomatique maximale diminue, ce qui limite la transpiration malgré la forte demande évaporative : en conséquence la transpiration est souvent plus faible en été qu'au printemps (GIGON, 1979 ; ROBERTS et *al.*, 1981 ; LOSCH et *al.*, 1982 ; TORRECILLAS et *al.*, 1988a, 1988b ; WARTINGER et *al.*, 1990).

Les mesures de transpiration faites sur l'arganier en début et en cours de la saison sèche ont donné des valeurs maximales de $200 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ et $120 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivement : L'arganier n'est donc pas particulièrement économe d'eau (EL ABOUDI et *al.*, 1991).

Chez des arbres forestiers tempérés une valeur de l'écart journalier des potentiels foliaires inférieure à -0.4 MPa dénote le défaut d'ouverture stomatique (AUSSENAC et GRANIER, 1978).

Actuellement, aucune théorie ne permet de rendre compte de toutes les influences des facteurs écologiques et endogènes à la plante.

5.2.1.2. Limitation des pertes d'eau par à la présence de cires épicuticulaires sur les feuilles

La cuticule est une mince membrane lipidique extracellulaire, plus ou moins imperméables, qui recouvre les parties aériennes non subérisées des plantes. Sa principale fonction est d'intervenir comme barrière aux pertes d'eau des cellules végétales vers

l'atmosphère, sans empêcher cependant le flétrissement des plantes sous conditions sévères de stress (SCHÖNHERR, 1976).

La transpiration cuticulaire est de loin moins importante que celle des stomates (1/10). Chez un même genre, la plus grande résistance à la sécheresse est imputable à une plus faible transpiration cuticulaire (BEN NACEUR, 1994).

A titre d'exemple, la supériorité de résistance à la sécheresse du *Pinus halepensis* sur *Pinus pinea* (OPPENHEIMER et SHOMER-ILAN, 1963), et celle du *Quercus ilex* sur *Quercus pubescens* (LARCHER, 1960) sont dues à une plus faible transpiration cuticulaire des premiers par rapport aux seconds.

De même, la différence d'épaisseur de la cuticule engendre une transpiration 85 fois plus grande chez *Impatiens noli-tangere* (hygrophyte) que chez *Pinus silvestris* (Xérophyte). (SCHÖNHERR, 1976).

L'augmentation de l'épaisseur de la cuticule diminue la transpiration (FISHER et TURNER, 1978 ; HENCHI, 1987), mais ne constitue pas le seul facteur de régulation de la perméabilité cuticulaire. L'âge de l'organe et les facteurs écologiques interviennent aussi.

5.2.1.3. Limitation des pertes d'eau par réduction de la surface transpirante

Le ralentissement de la croissance tissulaire, l'accélération de la sénescence des feuilles âgées et la chute des feuilles sont souvent observés chez les espèces végétales soumises à la sécheresse (KRAMER, 1983 ; IRIGOYEN et *al.*, 1992). Dans la mesure où ils réduisent les surfaces transpirantes, ces phénomènes sont des mécanismes d'évitement (KRAMER, 1983). Ils ont été observés chez le maïs, le sorgho, l'olivier et chez plusieurs autres espèces des régions arides.

RIEDACKER et *al* (1990), montrent qu'en période de forte sécheresse, l'arganier perd complètement son feuillage ; cet état peut durer quelques années. Les feuilles réapparaissent peu après le retour des pluies.

Le déficit hydrique provoque également un changement de l'orientation des feuilles, ce qui limite l'énergie lumineuse captée et donc diminue la transpiration. Ce phénomène est rapporté par MEISNER et KARNOK (1992), qui ont observé un repli des feuilles de *Arachis hypogaea* soumises à la sécheresse, réduisant ainsi l'interception directe des radiations lumineuses et les pertes d'eau par transpiration en plus de la limitation de la température foliaire dans le mésophylle.

En outre, chez les graminées, O'TOOLE et CRUZE (1980), on montré que l'enroulement des feuilles de riz permet la réduction de la surface transpirante et le maintien d'un potentiel hydrique adéquat.

Ces phénomènes contribuent tous à limiter les pertes en eau. Certains d'entre eux pourraient donc présenter un caractère adaptatif à l'évitement de la déshydratation.

5.2.1.4. Limitation des pertes d'eau par réduction ou adaptation de la partie aérienne

La recherche concernant les mécanismes d'adaptation des plantes au déficit hydrique est d'une importance primordiale. Les mécanismes de résistance à la sécheresse sont très complexes ; ils impliquent des facteurs morphologiques, physiologiques et biochimiques à différents niveaux d'organisation de la plante.

Cependant, l'adaptation de la partie aérienne (hauteur de la tige, nombre des feuilles, croissance radiale et biomasse aérienne) varie selon l'espèce et l'intensité du stress hydrique subi.

Ainsi, l'application d'un stress hydrique sévère (potentiel hydrique de -1 à -1.6 MPa) réduit la croissance en hauteur, chez *Pinus caribaea* et *Pinus occarpa* (TESHA, 1971), chez *Quercus robur* et *Fagus sylvatica* (VANHEES, 1997). Et en biomasse totale chez *Quercus stellata*, *Acer saccharum* et *Juglans nigra* (PALLARDY et RHOADS, 1993), chez *Quercus robur* et *Fagus sylvatica* (VAN HEES, 1997). Un assèchement édaphique modéré ou sévère provoque également une réduction de la matière sèche comme chez le cyprès jaune (ARNOTT et *al.*, 1993) et une décroissance en hauteur chez *Pinus occarpa* (TESHA, 1971).

HAROUNI et al (1995), mentionnent une réduction au niveau de la production des feuilles des jeunes plantules d'arganier transplantées sous des régimes hydriques différents. Ces résultats sont en accord avec ceux de TAZI et *al.* (2003) sur la diminution de la croissance de la partie aérienne et qui est accompagnée d'une réduction au niveau du nombre des feuilles.

Pour AUSSENAC et LEVY (1983), qui ont travaillé sur le *Quercus pedunculata* et *Fraxinus excelsior*, montrent l'arrêt de la croissance en hauteur à un niveau de stress hydrique relativement faible : -11 bars pour les deux espèces, si on le compare à d'autres

espèces ; AUSSENAC et FINKELSTEIN (1983) trouvent en effet -21 bars pour le cèdre de l'Atlas.

Par ailleurs, il est connu que la croissance est liée aux composantes de la production et du rendement.

Ainsi, TAZI et *al.* (2003) qui a travaillé sur l'arganier montre que les concentrations élevées du polyéthylène glycol utilisé comme un milieu de culture entraînent une diminution du poids sec des parties aériennes et racinaire, il semble que la partie aérienne soit plus touchée par l'effet de PEG que la partie racinaire. En effet, chez les *Citrus*, les cultivars les plus résistants aux stress sont ceux qui limitent le plus efficacement possible l'accumulation des sels dans leurs feuilles (GREIVE et WALKER, 1983 ; WALKER et DOUGLAS, 1983).

5.2.1.5. Limitation des pertes d'eau par extension ou par adaptation racinaire

Le système de la plupart des espèces végétales présente une grande sensibilité au facteur hydrique. Dans la marge d'eau utile, entre la capacité de rétention et le point de flétrissement permanent, la plante puise ses besoins en eau.

Au fur et à mesure de l'épuisement de cette eau, le sol se dessèche et un gradient de potentiel hydrique s'établit créant ainsi un état de stress autour des racines. Divers réactions à cette situation sont rapportées. Dans certains cas, la plante couvre ces fines racines d'une pellicule relativement imperméable à l'eau, ce qui réduit les pertes d'eau des racines vers le sol plus sec. Chez d'autres espèces, elle réduit le flux hydrique des racines vers les feuilles en opposant une résistance élevée à ce passage (TURNER, 1990) ou supprime complètement ces fines racines.

VARTANIAN (1973) démontre chez *Sinapis alba* une lignification du système racinaire, avec formation d'ébauches racinaires renflées (tubérisation), contient des organes de survie assurant à la plante une vie ralentie en attendant que des conditions redeviennent favorables.

CIAMPOROVA et LUXOVA (1976), FRASER et *al.* (1990) mentionnent également un arrêt de division cellulaire et d'élongation racinaire conduisant à une sorte de tubérisation chez *Zea mays* soumis à un déficit hydrique.

Pour MEISNER et KARNOK (1992) la réduction du système racinaire de *Arachis hypogaea* ne se fait sentir que si la sécheresse survient au stade jeune. Au delà

de ce stade, cette plante réagit à la sécheresse par un développement de son système racinaire en profondeur, évitant ainsi les séquelles du déficit hydrique en surface.

Les travaux de TAZI *et al.* (2003), ont montré une longueur très importante de la racine principale par rapport à l'axe de la tige chez des jeunes plants d'arganier cultivés *in vitro* en utilisant différentes concentrations de PEG.

De même, les travaux de ALBOUCHI *et al.* (2003) ; montrent une réduction en hauteur et biomasse sèche totale et une allocation de biomasse vers les racines, au détriment des parties aériennes des jeunes plants de *Casuarina glauca* soumises à des stress hydriques sévères et modérés.

L'extension du système racinaire, en réponse à l'application d'une contrainte hydrique, a été également observée par plusieurs auteurs (PASSIOURA, 1982 ; KHALDOUN *et al.* 1990). Cette extension contribue à l'absorption de l'humidité des couches les plus profondes du sol et assure à la plante une transpiration et des échanges gazeux peu affectés et donc une photosynthèse et une croissance peu modifiée.

5.2.2. Mécanismes de tolérance à la déshydratation

5.2.2.1. La tolérance à la déshydratation par ajustement osmotique

Il faut remarquer, avant tout, que l'ajustement osmotique est considéré comme un mécanisme de tolérance par certains auteurs et comme un mécanisme d'évitement par d'autres (BEN NACEUR, 1994).

L'ajustement osmotique permet une protection des membranes et des systèmes enzymatiques (BELHASSEN *et al.*, 1995) en particulier au niveau des organes jeunes. En condition de stress hydrique, il induit au niveau de la plante une baisse du potentiel osmotique par augmentation de la concentration des solutés intracellulaires d'une manière active (TURNER *et al.*, 1978 ; 1987 ; BLUM, 1989 ; GNANASIRI *et al.*, 1992 ; GALAUD *et al.* ; 1995 ; GALIBA *et al.* 1995). Il aide dans le maintien de la turgescence cellulaire, qui est à la base de la préservation de plusieurs fonctions physiologiques, car elle permet d'empêcher la fermeture des stomates, donc de maintenir la photosynthèse, la transpiration, l'assimilation du carbone et l'élongation cellulaire ; dont la turgescence est la force motrice (BAMOUNE., 1997).

Par ailleurs, l'ajustement osmotique est un phénomène commun aux différents organismes cellulaires (MARIGO et PELTIER, 1996 ; ZHANG *et al.*, 1999), il a été reporté chez différentes espèces végétales : chez certains arbres forestiers tel que l'olivier (CHARTZOULAKIS, 1999), chez certaines arbres fruitiers tels que la vigne (RODRIGUEZ *et al.*, 1993), le pommier

(WANG *et al.*, 1995) ; chez certaines légumineuses, tel que le soja (OBATON, 1995) ; chez les oléagineux tel que le tournesol (KORELL *et al.*, 1995 ; NOURI, 2003) et chez un bon nombre de céréales : le blé (ASHIMA et BERKOWITZ, 1987 ; MORGAN, 1980 ; MUNNS et WEIR, 1981 ; JHONSON *et al.*, 1988 ; MERAH *et al.*, 1995 ; SABOUR *et al.*, 1995 ; NOURI, 2002) ; chez l'orge (BLUM, 1989 ; LEWICKI, 1993). De plus, il peut intervenir à tous les stades de développement.

Cependant, la capacité d'ajustement osmotique varie d'un végétal à un autre, et au sein du même végétal (chez les génotypes de blé) (NOURI, 2002) ; comme cela a été reporté chez l'olivier (*Olea europea*) sous stress (CHARTZOULAKIS, 1999). De même ; un ajustement osmotique actif a put être reporter dans les racines d'arbres de cerisier ayant subit un stress hydrique, (WANG *et al.*, 1995). La figure n°05 montre certaines conséquences de l'ajustement osmotique sur la plante.

La capacité d'ajustement osmotique d'un végétal, est liée à sa capacité à accumuler au niveau symplasmique et de manière active certains solutés tels que les sucres solubles, (KORICHI, 1994). Plusieurs types de molécules peuvent assurer l'ajustement osmotique, en cas de sécheresse. Les sucres et les acides aminés sont les composants majeurs de cet ajustement dans les feuilles de nombreuses espèces végétales (MORGAN, 1984 ; FLORES et GALSTON, 1984 a et b ; GOOD et ZAPLACHINSKI, 1994).

A- Accumulation de la proline sous stress

Au niveau cellulaire, la tolérance des plantes au stress hydrique peut s'exprimer par l'accumulation d'osmolytes, (VAN RENSBURG *et al.*, 1995). La plupart de ces osmolytes sont des composants azotés, ce qui traduit l'importance du métabolisme azoté sous conditions stressantes (BERGMANN *et al.*, 1995).

Ainsi, l'augmentation de la concentration des acides aminés, en particulier la proline, a été observée chez plusieurs espèces de plantes soumises à une contrainte hydrique, (DIOFASI *et al.*, 1995 ; OBATON *et al.*, 1995 ; RAMANJULU *et* SUDHAKAR, 1997). Cette augmentation induit le maintien d'une pression osmotique interne élevée. En effet la proline semble jouer un rôle important dans la réponse des plantes à la sécheresse : son accumulation rapide lors du stress hydrique a été mise en évidence chez de nombreuses plantes, particulièrement chez l'orge (LEWIN *et al.* , 1978 ; STEWART, 1978) ; chez l'eucalyptus (CHUNYANG., 2003), chez les blés

durs (DIB *et al.* 1992) et les blés tendre. (TAN, 1982 ; RIAZI *et al.*, 1985 ; MONNEVEUX et NEMMAR , 1986).

En suivant l'évolution des teneurs foliaires en proline au cours du cycle du blé tendre, MONNEVEUX et NEMMAR (1986) ont confirmé que la dynamique d'accumulation était indépendante du stade de développement et au contraire, très étroitement liée à la pluviométrie ; ce qui montre la prépondérance de l'état hydrique du sol dans le phénomène d'accumulation de la proline.

De plus d'autres facteurs influent sur l'accumulation de la proline tels que : l'inhibition de l'oxydation due à un effet mitochondrial, et à la réduction du taux de translocation de l'acide aminé à travers le phloème, (CARCELLER, 1995). La proline peut intervenir en régulant par l'augmentation de sa concentration la pression osmotique interne, mais aussi en inhibant les mécanismes d'auxésis (SAMAI, 1991). D'autres auteurs, proposent qu'elle constitue un stock d'azote utilisable par la plante postérieurement à la période de souffrance hydrique. (DIB *et al.* 1992)

Additionnellement, la synthèse de la proline peut être incluse dans la régulation du PH cytoplasmique, (BELLINGER et LARHER., 1987). Par conséquent, elle aide dans la stabilisation des protéines membranaires et des protéines libres, ceci suggère qu'elle a un rôle osmoprotecteur, du fait qu'elle est le plus accumulée dans les plastides, les mitochondries et le cytosol, mais non dans les vacuoles ; ceci suggère que les chloroplastes et les mitochondries importent la proline, et la vacuole a une activité exportatrice du moment que la concentration de la proline est faible à son niveau par rapport au cytosol au court du stress.

Il est à noter que la synthèse des protéines est étroitement liée au métabolisme des sucres et la respiration à partir de l' α -cétoglutarate intermédiaire du cycle de Krebs qui donne le squelette carboné pour la synthèse de la proline. Cependant, la synthèse des protéines, associée avec le catabolisme des sucres, pourrait jouer un rôle majeur dans la mobilisation de l'énergie métabolique requise durant le stress pour une compartimentation ionique et synthèse des osmolytes.

B- Accumulation des sucres solubles sous stress

Le saccharose et l'amidon sont les premiers glucides stables, issus des processus photosynthétiques du cycle de Calvin et de la voie du glycolate. L'amidon s'accumule

dans le chloroplaste, tandis que le saccharose synthétisé dans le cytosol est stocké dans la vacuole ou transféré vers les organes puits (NOURI, 2002). L'amidon des tissus chlorophylliens a fait l'objet de nombreux travaux, (HAWKER *et al.*, 1991).

Lors d'un déficit hydrique, l'un de ses effets majeurs, s'est qu'il affecte le métabolisme des hydrates de carbone, (ILDIKO et GALIBA, 1995); avec une accumulation des sucres et un bon nombre d'autres composés organiques, les changements dans le contenu des carbohydrates sont particulièrement importants vu leur relation directe avec plusieurs processus physiologiques tels que : la photosynthèse, translocation et respiration.

Depuis longtemps, il est connu que le taux des sucres augmente considérablement chez des plantes soumises aux différents types de stress ; en effet, cela a été vérifié par CHUNYANG., (2003) chez des arbres adultes d'eucalyptus sous différents stress hydriques, par KAMELI et LÖSEL (1995 a et b) chez le blé suite à un déficit hydrique ; et par NOIRAUD *et al.* , (2000) chez le céleri sous stress salin. Les principaux sucres solubles accumulés sous stress sont : le glucose, fructose et le saccharose (HARE *et al.*, 1998), et ces derniers semblent jouer un rôle très important dans le maintien d'une pression de turgescence qui est à la base des différents processus contrôlant la vie d'une plante.

Par ailleurs il a été observé que sous stress hydrique, les réserves amyliques sont progressivement utilisées suite à leur conversion rapide en saccharose, qui pourrait être associée à une inhibition de la synthèse de l'amidon (GEIGENBERGER *et al.* , 1997) ; donc le stress altère la compartimentation en faveur de la synthèse du saccharose, qui est attribuée d'une manière exclusive à l'activation de la Saccharose Phosphate Synthase (SPS), par une phosphorylation réversible des protéines (KIM *et al.*, 2000; MASTRANGELO *et al.*, 2000); et ceux ci suggèrent le rôle osmotique joué par le saccharose et les autres monosaccharides dans la baisse du potentiel osmotique et par voie de conséquence dans l'ajustement osmotique, chez les différentes plantes et donc leur confèrent une tolérance vis à vis du stress.

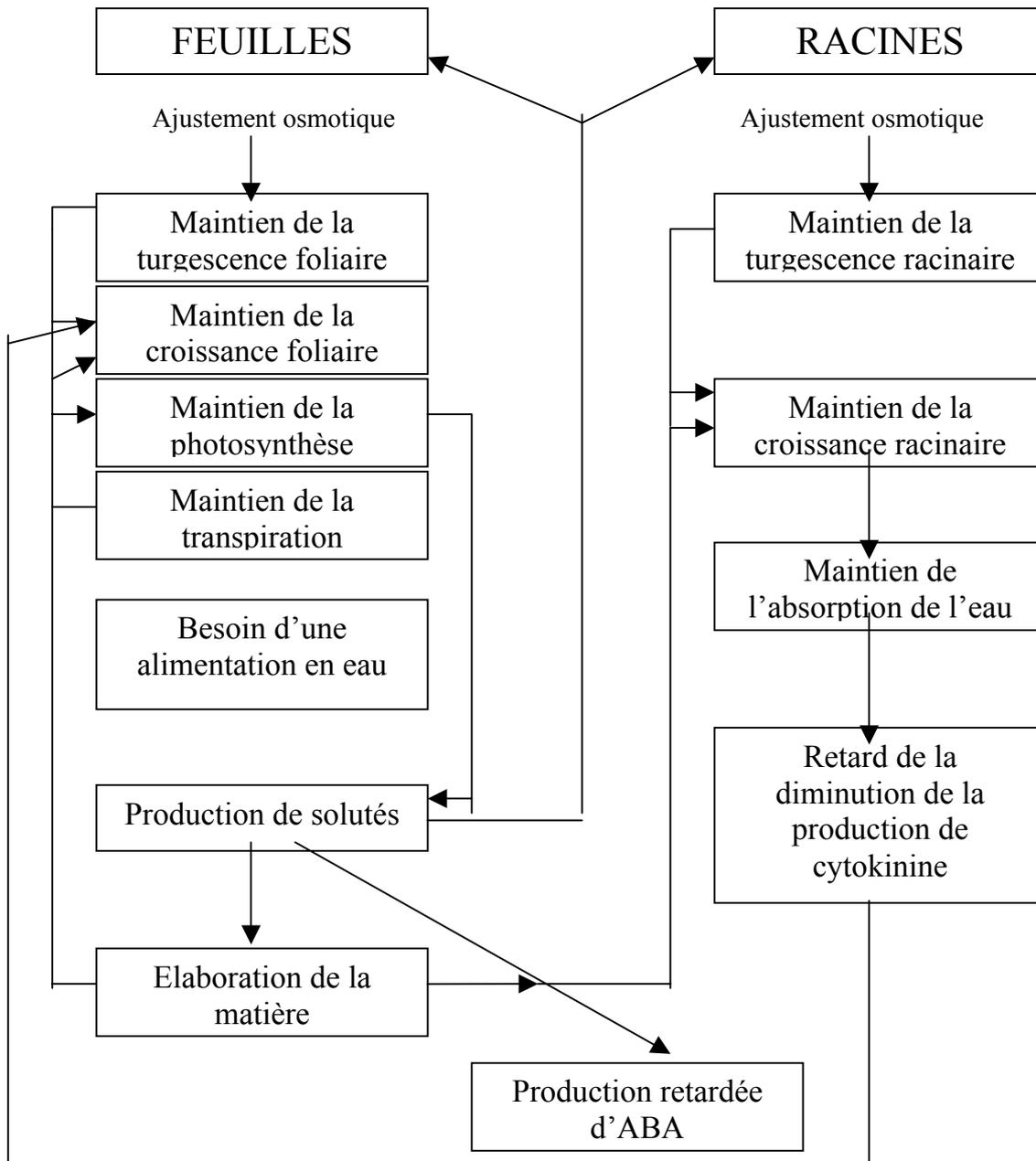


Figure n° 05 : Conséquences possibles de l'ajustement osmotique sur les feuilles et les racines (YKHLEF, 2001)

5.2.2.2. La tolérance à la déshydratation par réduction des besoins nutritionnels

La contrainte hydrique réduit la disponibilité des éléments nutritifs dans le sol et affecte les processus photosynthétiques à savoir la synthèse, l'accumulation et le transfert des assimilats.

La réduction de l'activité photosynthétique peut être causée par des facteurs stomatiques (fermeture des stomates), des facteurs non stomatiques (diffusion du CO₂ vers les sites de réduction, inactivation des enzymes de l'incorporation du CO₂...) et des facteurs liés à la redistribution des néo-assimilats (BEN NACEUR, 1994).

Certaines plantes possèdent un mécanisme plus tolérant que d'autres au déficit alimentaire. Cela pourrait être une des causes du succès des plantes succulentes sous conditions extrêmes de déshydratation.

En raison de leur teneur en matière sèche et de leur métabolisme réduit, leurs besoins en carbohydrates est faible (LEVITT, 1980). Elles peuvent donc tolérer la vitesse de la photosynthèse qui peut être fatale pour les plantes à métabolisme plus actif.

La tolérance au déficit nutritionnel est rapportée par JORDAN et NOBEL (1984) qui, travaillant sur *Agave deserti* et *Ferocactus acanthodes*, notent l'aptitude de ces deux espèces à supporter un déficit nutritionnel prolongé.

ALBOUCHI *et al.* (2003) constate une réduction de la biomasse sèche totale et une allocation de biomasse vers les racines des jeunes plants de *Casuarina*, suite à un stress hydrique.

5.2.2.3. La tolérance à la déshydratation par maintien de l'intégrité des structures membranaires (résistance protoplasmique)

De nombreuses études ont montré le rôle des membranes cellulaires dans la résistance des végétaux à la sécheresse (VIEIRA DA SILVA, 1976 ; PHAMA THI *et al.* 1985).

Dans le cas de certaines espèces sensibles à la déshydratation, l'organisation générale de la cellule peut être affecté, dans la mesure où la sécheresse conduit à une perte de la compartimentation, et à une destruction de certains organites cellulaires. Le tonoplaste se scinde en petites vacuoles, les crêtes mitochondriales se dégradent et les chloroplastes perdent leur organisation moléculaire (VIEIRA DA SILVA, 1976). Ces modifications ultrastructurales pourraient perturber les processus primaires de la photosynthèse et altérer les principaux composants membranaires.

Ces altérations résultent des réactions chimiques, enzymatiques et des destructions mécaniques par plasmolyse.

En condition de stress hydrique, l'activité de plusieurs enzymes s'intensifie. C'est le cas de l'invertase, des amylases, de la ribonucléase des phosphatase acides et des lipases alcalines (VIEIRA DA SILVA, 1968). Ce phénomène pourrait être à l'origine de la perméabilité des différentes membranes cellulaires et de la perte d'électrolytes du milieu intra vers le milieu extra-cellulaire.

En ce qui concerne les lipides foliaires et plus précisément les lipides membranes chloroplastiques, de nombreux travaux ont montré que la teneurs diminuent et que leur composition est modifiée (PHAM THI et *al.*, 1985).

La dégradation des lipides membranaires, tout comme celle des protéines, perturbe fortement le fonctionnement cellulaire et provoque une réduction de la perméabilité sélective (VIEIRA DA SILVA, 1976), ce qui influence les échanges moléculaires intra et inter-cellulaires et le transport d'électrons.

Etant donné l'importance des structures membranaires dans l'organisation et le fonctionnement cellulaires et leur implication directe dans les perturbations physiologiques survenant à la suite d'une contrainte hydrique, une plante tolérante à la déshydratation peut être décrite comme une plante ayant une plus grande stabilité des structures membranaires (DASSA-GIRARD, 1987).

La tolérance cellulaire à la déshydratation implique que les attaques chimiques et enzymatiques dirigées contre les systèmes membranaires soient peu efficaces et/ou que les composants (lipides et protéines) soient peu sensibles à ces attaques du fait de leur composition ou encore qu'ils soient efficacement protégés contre les dégradations (BEN NACEUR, 1994).

La mesure du degré d'intégrité des structures membranaires en conditions de stress hydrique équivaut à la mesure du degré de tolérance cellulaire (BLUM, 1989).

Etant donné l'importance de ce paramètre dans l'évaluation du degré de tolérance des espèces ou des variétés à des conditions de stress hydrique, nous l'avons amplement étudié, dans notre travail.

5.2.2.4. Efficacité de l'utilisation de l'eau

L'efficacité de l'utilisation de l'eau ou EUE est un important caractère de tolérance à la sécheresse. Ce caractère est défini de manière intégrative comme la capacité de la plante à produire une quantité importante de biomasse en présence d'une quantité d'eau limitée. Sa mesure est non seulement destructive mais aussi très longue, onéreuse et difficile à effectuer sur un grand nombre de génotypes (KARA, 2001). Ce caractère a été jusqu'ici peu utilisé dans les programmes de sélection. La mesure directe

de l'EUE en pot ou en plein champ est un travail intensif et laborieux, ne permettant pas des estimations sur de larges effectifs.

De plus, les données sur les variations génétiques de l'EUE sont insuffisantes (MAYLAND *et al.*, 1993 ; FRANK *et al.*, 1997).

MATERIEL ET METHODES

1. Matériel végétal et condition de culture

Des graines mûres d'*Argania spinosa* ont été récoltées sur des arbres adultes à Tindouf (Oued El maa) en Juin 2003, conservées à l'abri de l'humidité dans un sachet en papier.

Deux expérimentations ont été menées : l'une à l'UCD de Batna sous un abri vitré et aérée (T°: 20 - 25°C). L'autre dans la pépinière de M'doukel.

2. Méthodologie

2.1. Expérimentation 01(site M'doukel)

2.1.1. Présentation du site

La pépinière de M'doukel se situe dans la daïra de Barika (wilaya de Batna), sa surface totale est de 9 ha, elle se trouve :

- Dans l'étage bioclimatique aride.
- Des précipitations de l'ordre de 200 mm/an.
- Des températures maximales de 47°C (Août) et des températures minimales de 00°C (Décembre).
- Gelées : 10 jours/an (Décembre – Janvier).
- Vents dominants :
 - Sud Ouest : Siroco (Juin à Août) avec ensablement.
 - Nord et Sud : Automne.

A. Le semis direct (pleine terre) et en sachet de polyéthylène

Une même méthodologie a été suivie, soit pour les graines semées en pleine terre ou celles en sachet de polyéthylène, dans la pépinière de M'doukel (Annexe n°01) :

- Quantité de graines semées : 127 graines.
- Poids des graines : 2.9g – 3.5g.
- Les graines sont scarifiées et subissent un trempage dans l'eau de robinet pendant 24h.
- L'arrosage se fait chaque 48h.

Le taux de germination a été relevé.

Les jeunes plants obtenus en sachets de polyéthylène, sont arrosés 2 fois/semaine pendant 3 mois.

En raison de l'évolution au cours du temps de la biomasse des plants, la fréquence d'irrigation a été réajustée tous les mois pendant 9 mois de février à octobre en

pleine période de croissance végétative. Au cours de cette période plusieurs paramètres morphologiques ont été mesurés (voir ci-dessous).

2.2. Expérimentation 02 (essai sous abri)

Au laboratoire les graines ayant subi deux traitements différents ; graines scarifiées ou non, sont trempées dans l'eau de robinet pendant 24 h (Annexe n°01).

Ces mêmes graines ont été placées dans des godets de 7.5 cm de diamètre et 8.5 cm de profondeur, dans la sciure du bois à l'étuve à 25°C et à 30°C, pendant une durée de 4 semaines, suite à laquelle le taux de germination a été relevé (Annexe n°01).

Les plantules sont transplantées en suite dans des pots de 5Kg (21 cm de diamètre et 21cm de profondeur), à raison d'un plant / pot (Annexe n°1).

Le substrat de culture utilisé est celui de la pépinière de M'doukel, tamisé à 2 mm. Les analyses du substrat ont été réalisées selon la méthode internationale d'analyse du sol (AUBERT, 1978) (Tableau n°01).

Les pots ont été placés sous un abri vitré et aéré, sur un support de briques pour éviter l'infiltration de l'eau du sol ; ils ont été irrigués régulièrement pendant 3 mois, et répartis en 6 lots ;

- Le lot 01 : témoin (T) a été maintenu à 75% de la capacité au champ.
- Le lot 02 : (S1) a été maintenu à 50 % de la capacité au champ.
- Le lot 03 : (S2) a été maintenu à 40 % de la capacité au champ.
- Le lot 04 : (S3) a été maintenu à 30 % de la capacité au champ.
- Le lot 05 : (S4) a été maintenu à 20 % de la capacité au champ.
- Le lot 06 : (S5) a été maintenu à 10 % de la capacité au champ.

Pour fixer ces niveaux de stress (75%, 50%, 40%, 30%, 20% et 10%) par rapport à la capacité au champ du pot, nous avons pesé des pots contenant 5Kg de substrat sec utilisé dans l'expérimentation (P1 = 5Kg de sol sec), en suite nous avons irrigué ces derniers jusqu'à saturation, tout en couvrant les pots par un plastique noir, pour éviter l'évaporation de l'eau. En laisse les pots pendant 48h pour le ressuyage. En suite on va peser à nouveau les pots P2 (poids à saturation).

La différence entre P2 et P1 est la quantité d'eau que le sol a pu garder à 100% de la capacité au champ.

En raison de l'évolution au cours du temps de la biomasse des plants, la quantité d'eau restituée à chaque pot et la fréquence d'irrigation ont été réajustées chaque semaine pendant 6 mois, de février à Juillet en pleine période de croissance végétative.

Tableau n°01 : Analyse physico-chimique du substrat

Paramètres analysés	Quantité
1- Granulométrie (%) :	
Argile :	12.51
Limons fins :	0.98
Limons grossiers :	11.73
Sable fin :	52.24
Sable grossier :	22.54
2- pH	9.24
3- CE (m mohs / cm)	0.16
4- CEC (meq / 100 g)	24
5- Calcaire total (%)	7.27
6- Calcaire actif (%)	3.60
7- Carbone organique (%)	0.78
8- Matière organique (%)	1.91
9- Phosphore (%)	102.28
10- NH ₄ (%)	0.028
NH ₃ (%)	0.021

2.3. Paramètres mesurés

A M'doukel, Les mesures effectuées sur les paramètres morphologiques, ont été réalisées chaque mois, pendant une année. Par ailleurs, les mesures sur les paramètres morfo - physiologiques des jeunes plants de l'abri ont été réalisées à la fin de la période expérimentale.

A. Paramètres morphologiques

Les paramètres morphologiques ont été évalués de la même façon au site M'doukel ainsi que sous serre, exception faite concernant le nombre des répétitions (10 répétitions/traitement à M'doukel et 3 répétitions/traitement sous l'abri vitré) et pour la variable biomasse qui a été réalisée que pour les jeunes plants de l'abri. Par ailleurs :

- Les longueurs de la racicule ont été mesurées tous les trois mois, à l'aide d'une réglette graduée au millimètre.
- La croissance en hauteur a été mesurée chaque mois, à l'aide d'une réglette graduée au millimètres.
- Le diamètre au collet a été mesuré chaque mois, à l'aide du pied à coulisse.
- Le nombre de feuilles a été compté chaque mois pour chaque plantule.
- La biomasse totale et celle des parties aérienne et racinaire, sont déterminées par des pesées. La biomasse sèche des jeunes plants d'arganier est obtenue par le séchage dans l'étuve à 80°C jusqu'à l'atteinte d'un poids constant.

B. Paramètres physiologiques

1. Mesure du contenu relatif en eau (CRE)

Plusieurs paramètres permettent de quantifier l'état hydrique des plantes soumises à un déficit hydrique. Parmi ses paramètres, citons le pourcentage d'hydratation, le contenu relatif en eau, le pourcentage d'imbibition ...

Malgré les difficultés inhérentes aux opérations de pesée de l'organe étudié et à la variation des poids frais et sec, nous avons choisi d'étudier le contenu relatif en eau. Il exprime la quantité d'eau présente en % de la quantité mesurée à saturation et il permet une évaluation physiologique de l'état hydrique du végétal au même titre que le potentiel hydrique.

Il est le paramètre le plus communément employé à ce jour.

Son estimation se fait suivant la formule :

$$\text{CRE} = (\text{PF} - \text{PS}) \cdot 100 / (\text{P Sat} - \text{PS})$$

(BENNACEUR, 1994)

PF = poids frais

PSat = poids à la saturation

PS = poids sec

Le poids frais est déterminé par pesée de la feuille immédiatement après son prélèvement. Le poids à la saturation est obtenu en plaçant la feuille dans l'eau

distillée pendant 24h. Le poids sec est obtenu en plaçant la feuille à l'étuve à 80°C pendant 24 h.

2. Mesure du pourcentage d'intégrité cellulaire (PIC)

L'intégrité membranaire a été évaluée par conductimétrie suivant la méthode décrite par DEXTER (1956), est améliorée par SULLIVAN (1981). Elle est utilisée par BLUM et EBERCON (1981), BEN SALEM et VIERA DA SILVA (1991). Elle consiste en une mesure de la libération d'électrolytes suite à la destruction partielle des membranes cytoplasmiques.

Les prélèvements de trente disques foliaires par traitement, et par répétition, sont effectués à l'aide d'un emporte pièce de 5 mm de diamètre. Les échantillons sont lavés à l'eau distillée puis trempés dans 50 ml d'eau pendant 4h à 25°C. Au cours de ce trempage des électrolytes cellulaires passent dans l'eau, c'est la conductivité libre (CL) exprimée en $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Les disques foliaires sont ensuite soumis à l'autoclave pendant 20 min à 121°C. Le tissu foliaire est détruit. En laissant refroidir jusqu'à atteindre 25°C. La deuxième mesure correspond à la conductivité total (CT).

Le pourcentage d'intégrité membranaire est déterminé par la formule :

$$\text{PI} = (1 - \text{CL} / \text{CT}). 100 \quad \text{Où :}$$

PI : pourcentage d'intégrité ;

CL : conductivité libre ;

CT : conductivité total.

3. Détermination de l'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE)

Les variations génétiques de l'efficacité de l'utilisation de l'eau par les plantes existent entre les différentes espèces et à l'intérieur de la même espèce (ANDRE et DU CLOUX, 1993). L'efficacité de l'utilisation de l'eau chez la majorité des plantes cultivées, peut être définie comme étant le rendement à la récolte par unité d'eau consommée. L'EUE a aussi été définie au niveau de la feuille comme étant le rapport entre la photosynthèse nette (assimilation nette du CO_2) par unité d'eau transpirée (Pn / Trs).

Selon HELLIKER et MARTIN (1997) et YKHLEF (2001), l'EUE peut être

définie comme étant le rapport de la matière sèche totale produite par unité d'eau utilisée et c'est la méthode que nous avons utilisé dans notre expérimentation.

$$\text{EUE} = (\text{MS} / \text{H}_2\text{O cons}). 100$$

MS : Matière sèche totale en mg

H₂O cons : Unité d'eau utilisée en mg

4. Mesure de la transpiration

La feuille prélevée à la mi-journée (heure où la transpiration est maximale), est pesée (poids frais de la feuille : P1). Ce même échantillon est utilisé pour le calcul de la surface foliaire.

Dans notre cas la feuille est assimilée à une ellipse.

Par ailleurs la surface est calculée selon la formule suivante :

$$S = 3,14. (a . b / 4)$$

(BOUDERSA, 1998)

Avec a : Longueur de la feuille.

b : Largeur de la feuille.

En suite, la feuille est laissée à l'air libre pendant 1h de temps, suite à laquelle le poids après perte d'eau est évalué (P2).

De ce fait le calcul de la transpiration est réalisé par la formule suivante :

$$\text{Trs} = (\text{P1} - \text{P2}). \text{S}^{-2}. \text{T}^{-1}$$

Trs : Transpiration (mg .H₂O . surface⁻². temps⁻¹).

P1 : Poids frais de la feuille.

P2 : Poids après la perte d'eau.

S⁻² : unité de surface foliaire (cm²).

T⁻¹ : unité de temps (seconde).

5. Dosage de la proline

La méthode suivie est celle de TROLL et LINDSLEY (1955), simplifiée et mise au point par DREIER et GORING (1974).

Elle consiste à prendre 100 mg de matériel végétal (1/3 médian de la feuille).

Puis à ajouter 2 ml de méthanol à 40 % le tout est chauffé à 85°C dans un bain-marie pendant 60mn.

Après refroidissement, on prélève 1 ml d'extrait auquel il faut ajouter :

- 1 ml d'acide acétique (CH_3COOH).
- 25mg de ninhydrine ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_4$).
- 1ml de mélange contenant :
 - 120ml d'eau distillée.
 - 300ml d'acide acétique.
 - 80ml d'acide orthophosphorique (H_3PO_4 , $d = 1.7$).

Le mélange est porté à ébullition durant 30mn, la solution vire au rouge, après refroidissement, 5 ml de toluène sont rajoutés à la solution qui est agitée, deux phases se séparent (une phase supérieure est une phase inférieure).

Après avoir éliminer la phase inférieure, la phase supérieure est récupérée est déshydratée par l'ajout d'une spatule de sulfate de sodium Na_2SO_4 anhydre.

On détermine la densité optique à (528nm).

Les valeurs obtenues sont converties en teneur de proline à partir de la courbe étalon dont la relation est la suivante :

$$Y = 0,1043 x$$

6. Dosage des sucres solubles

Les sucres solubles totaux (saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthylés et les polysaccharides) sont dosés par la méthode DUBOIS *et al* (1956).

Elle consiste à prendre 100 mg de matériel végétal (1/3 médian de la feuille), dans des tubes à essai, on ajoute 03 ml d'éthanol à 80% pour faire l'extraction des sucres, puis on laisse à température ambiante pendant 48 heures. Au moment du dosage les tubes sont placés dans l'étuve à 80°C pour faire évaporer l'alcool. Dans chaque tube on ajoute 20 ml d'eau distillée à l'extrait (solution à analyser).

Dans des tubes en verre propres, on met 2 ml de la solution à analyser, on ajoute 1 ml de phénol à 5 % (le phénol est dilué dans de l'eau distillée) ; on ajoute rapidement 5 ml d'acide sulfurique concentré 96% (d = 1,86) tout en évitant de verser de l'acide contre les parois du tube.

On obtient, une solution jaune orange à la surface, on passe au vortex pour homogénéiser la couleur de la solution. On laisse les tubes pendant 10mn et on les place au bain-marie pour 10 à 20mn à une température de 30°C.

Remarque : La couleur de la réaction est stable pendant plusieurs heures.

Les valeurs obtenues sont reportées sur la gamme étalon.

$$Y = 4,3918 x - 0,1946$$

7. Evaluation indirecte de l'aptitude à l'osmorégulation

Vu l'importance de mesure du potentiel osmotique à hydratation maximale (π_{100}), pour une évaluation directe de l'ajustement osmotique, ce dernier peut être estimé d'une façon indirecte par le biais du dosage des sucres solubles.

Sachant que les sucres solubles accumulés au sein de la cellule végétale peuvent être une conséquence de deux phénomènes :

- D'une part, de l'effet de la déshydratation cellulaire suite à une perte d'eau engendrée par la contrainte hydrique (accumulation passive).
- D'autre part, par l'accumulation active suite aux modifications des voies métaboliques induites par cette même contrainte qui amène à l'installation d'un mécanisme de tolérance à savoir l'ajustement osmotique.

De ce fait, la part réelle de l'implication des sucres solubles dans le phénomène d'osmorégulation avec l'élimination des effets qui pourraient être dus à la perte en eau, peut être calculée comme suit :

$$\text{CSSAA (str)} = \text{CSS (str)} \cdot \text{CRE (str)} / \text{CRE arbitraire (80\%)} \\ (\text{WANG., 1995 ; ZHANG., 1999})$$

Où :

CSSAA (str): concentration des sucres solubles accumulés activement chez les échantillons stressés.

CSS (str) : concentration des sucres solubles chez les échantillons stressés.

CRE (str) : contenu relatif en eau.

Sachant que :

$$\text{CSS (str)} - \text{CSSAA (str)} = \text{CSSAP}$$

Où :

CSSAA : fait référence à l'accumulation des sucres solubles par ajustement osmotique actif.

CSSAP : fait référence à l'accumulation des sucres solubles par ajustement osmotique passif.

8. Analyse statistique

Tous les essais ont été répétés au moins trois fois, concernant les mesures des paramètres morfo – physiologiques en relation avec la résistance au stress hydrique, et au moins dix fois, concernant les paramètres morphologiques en relation avec l'essai d'introduction de l'arganier à M'doukel. Les résultats, présentés sous forme de courbes ou d'histogrammes, rejoignent le plus souvent des valeurs moyennes encadrées par leurs écart-types, ces derniers ont été réalisés par le logiciel Excel. Dans les cas des tableaux, les résultats sont soumis à l'analyse de la variance à un ou deux facteurs fixes et les moyennes sont comparées selon la méthode de Newman et Keuls, basée sur la plus petite amplitude significative, en s'aidant du logiciel STAT - ITCF. De même, des corrélations ont été établies entre les différentes variables analysées à l'aide du logiciel STAT – ITCF.

RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre 1

Observations et mesures des taux de germination des graines d'arganier à M'doukel et au laboratoire

1. Observations

A M'doukel, le semis direct des graines nous a permis d'obtenir 8% de germination, par contre en sachet de polyéthylène le taux de germination a été un peu élevé de l'ordre de 12 % (figure n°06).

Au laboratoire, à 25°C, la germination des graines non scarifiées a commencé 12 jours après la date de mise en germination ; le taux de germination été de 2 %. Le meilleur résultat a été observé chez les graines scarifiées ; le taux de germination est de 28%, avec un délai de germination de 7 jours (figure n°07).

A 30°C, on remarque que le déclenchement de la germination est dans une période réduite de 2 jours pour les graines scarifiées, avec un taux de germination de 45%. Par contre pour les graines non scarifiées le taux de germination est de 5% avec un délai de germination de 6 jours (Annexe n°02).

2. Discussion

Le semis direct des graines scarifiées nous a permis d'obtenir 8% de germination, par contre en sachet de polyéthylène le taux de germination été un peu élevé de l'ordre de 12%. On peut utiliser cette méthode (scarification mécanique) qui à comme même l'avantage de présenter un taux de germination maximum.

Contrairement a AITRADI (1979), qui a travaillé sur le pistachier de l'Atlas et qui montre que la scarification mécanique des graines est une opération peu pratique.

Mais d'autres auteurs tels que BENSAID (1991), confirme que les graines d'acacia ne peuvent germer que si l'inhibition qui les caractérise est élevée.

Dans la nature, l'action mécanique des sables ou des graviers transportés par les vents ou l'eau ont une action non négligeable sur les téguments des graines (OPPENHEIMER, 1961).

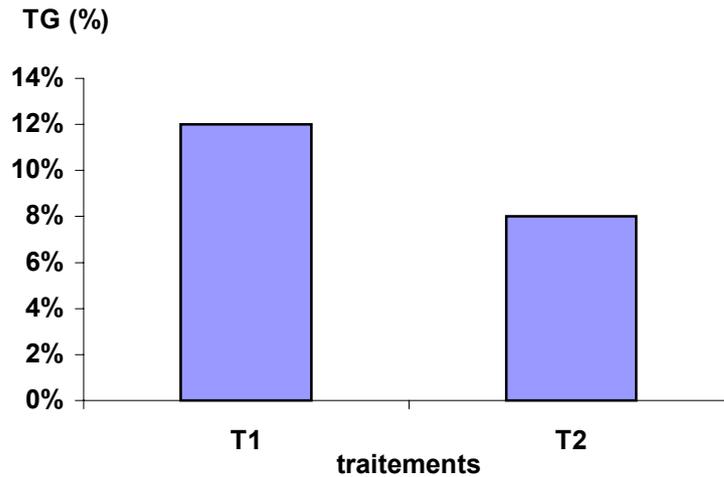


Figure n°06 : Taux de germination des graines d'arganier par traitement (M'doukel)

T1 : Semis dans le sachet de polyéthylène
 T2 : Semis direct en pleine terre

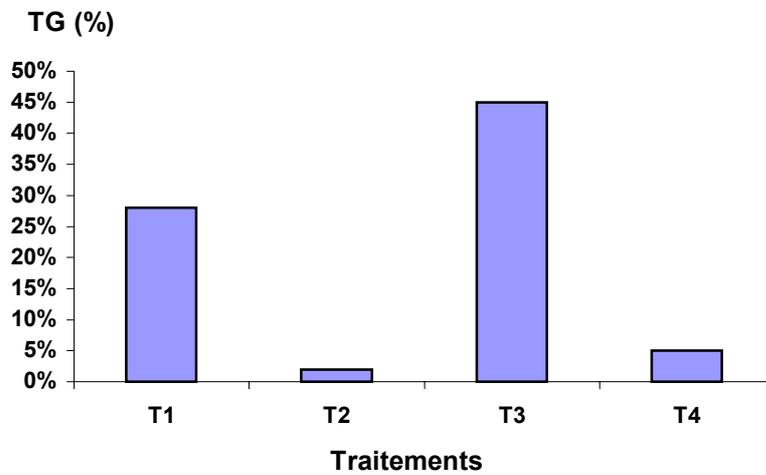


Figure n°07 : Taux de germination des graines d'arganier par catégorie et par traitement (laboratoire)

T1 : les graines scarifiées et mises à l'étuve à 25°C
 T2 : les graines non scarifiées et mises à l'étuve à 25°C
 T3 : les graines scarifiées et mises à l'étuve à 30°C
 T4 : les graines non scarifiées et mises à l'étuve à 30°C

Par ailleurs, l'air enfermé dans les vaisseaux du rafais sous la cuticule et l'épiderme, sous l'effet du réchauffement, est responsable du craquellement des graines. Le rôle de la microflore et la microphorie n'est pas négligeable, en dégradant les cuticules des graines, facilitent leurs scarification, comme l'ont observé PREECE, (1971) et MONTASIR et ABDERRAHMAN, (1951).

Nos résultats montrent qu'il n'y a pas une différence entre le taux de germination dans le sachet de polyéthylène et en plein champ. Les mêmes expériences réalisées sur des graines de pistachier de l'Atlas (AITRADI 1979 ; CHABA et *al.*, 1991), montrent que le sachet de polyéthylène n'a aucun effet sur la levée et la croissance initial des plants pendant les premiers mois.

Concernant le faible taux de germination à M'doukal, (semis direct et en sachet de polyéthylène) peut être est due, d'une part à l'effet combiné de la non viabilité et de la dormance des semences, et d'autres part à la fonte de semis en pré -émergence et en post-émergence.

Même résultats obtenus par ALOUANI et BANI-AAMEUR (1998), montrent que les plantules d'arganier produites en pépinières au MAROC par semis en mottes de noyaux entiers sont hétérogènes, et le taux de levée 3 mois après semis ne dépasse pas 17,6%. Les mêmes auteurs avec ZAHIDI et BANI-AAMEUR (1998) attribuent cette fonte de semis principalement au *Fusarium sp.*

Concernant les taux de germination obtenus au laboratoire, d'après les résultats nous constatons que la température influe sur la germination, on note aussi que plus la température est élevée, plus le déclenchement de la germination dans une période réduite et très importante.

A titre d'exemple, à la température de 30°C, la germination débute après le deuxième jour pour les graines scarifiées, avec un taux de germination de 45%, par contre à 25°C ; le début de germination des graines scarifiées est observée vers le septième jour, avec un taux de germination de 28%, des résultats similaires ont été obtenus par (BENARADJ, 1999 ; BAIYOU, 2000), qui ont travaillé sur la germination des graines de l'arganier.

Dans les deux essais (température 25°C et 30°C), les noyaux scarifiés ont germé dix fois plus que les noyaux entiers à la température de 30°C, et presque sept fois plus que les noyaux entiers à la température de 25°C.

Les mêmes expériences faites par BANI-AAMEUR et ALOUANI (1999), montrent que les noyaux d'arganier scarifiés ont germé deux fois plus que les noyaux

entiers, qui étaient deux fois plus dormant. (EL MAZZOUDI et ERRAFIA, 1977 ; LOUTFI, 1994 ; NOUIM et CHAUSSOD, 1995 ; ZAHIDI et BANI-AAMEUR, 1997).

Ainsi, on peut expliquer cette différence dans les taux de germination entre les graines entières et scarifiées, par la coque du noyau d'arganier qui protège les amandes, mais elle induit une dormance de type tégumentaire. Celle-ci peut être rompue par simple scarification mécanique sans risque pour la viabilité de l'embryon. Cette scarification facilite l'imbibition de l'embryon, et le déclenchement du processus physiologique de la germination. Cette explication est fort similaire à celle décrite par BERRIE (1985) et HARTMANN *et al* (1990).

La dormance embryonnaire, qui se manifeste même quand les conditions d'imbibitions sont favorables à la germination, a aussi pu être dépassée par le traitement à l'acide gibbérellique combiné par un stockage au froid. (BRADBEER, 1988 ; HARTMANN *et al*, 1990 ; TRAN et CAVANAGH, 1984).

On remarque aussi, que le faible taux de germination des graines (45 %) est due peut être à la qualité des graines, les conditions de stockage et le génotype de l'arbre.

Nos résultats sont en accord avec ceux de BENI-AAMEUR et ALOUANI (1999), FERRDOUS *et al*. (1996) et ceux de BENI-AAMEUR *et al*. (1998), qui affirment que la maturation et la chute physiologique des fruits de l'arganier, en réponse aux conditions climatiques défavorables sont variables selon le génotype de l'arbre.

Ainsi, (MOKHTARI, 2002) qui a travaillé sur la germination des graines d'arganier, a montré que le pouvoir germinatif des graines varie selon leurs dates de récolte et selon le type d'arbre.

On distingue chez l'arganier, des arbres produisant des fruits noués une fois par année en Mars (les arganiers précoces), ou en Juin (arganiers tardifs), et des arbres produisant des fruits précoces, et des fruits tardifs sur le même pied (BANI - AAMEUR *et al*, 1998). Par conséquent, les fruits ramassés sous la frondaison de l'arbre auraient séjourné pendant une période plus au moins longue, dans des conditions défavorables à la conservation des semences, selon qu'il s'agisse d'un arbre précoce ou d'un arbre tardif.

Chapitre 2

Observations et mesures des paramètres physiologiques en relation avec la résistance au stress hydrique

De fait que les mesures physiologiques ont été réalisées en fin de période de stress hydrique, pour les différents traitements réalisés, l'analyse statistique a été réalisée pour toutes les variables morpho - physiologiques en fin de la période de la contrainte hydrique (après 6 mois).

Dans leurs globalité, les niveaux de stress hydrique aux quels été soumis les jeunes plants d'arganier, ont un effet très hautement significatif pour $P \leq 0.0001$, sur la quasi-totalité des traits physiologiques étudiés, suite à une analyse de la variance à un facteur fixe (Annexe n°03).

1. Observations

1.1. Effet de la contrainte hydrique sur la variation du contenu relatif en eau (CRE)

Le contenu relatif en eau diminue au fur et à mesure que le déficit s'accroît (figure n°08). Les contenus en eau les plus élevés sont notés chez les lots ayant 75% de la capacité au champ, avec une valeur maximale de l'ordre de 85,82 %. Par opposition, le CRE le plus faible est enregistré pour la capacité au champ la plus faible, donc pour le niveau de stress hydrique le plus sévère (10%), et qui été de l'ordre de 59,05 %, suivie du lot ayant 20% de la capacité au champ avec un CRE égale à 76,57%. Les valeurs moyennes sont relevées chez les lots (30%, 40% et 50%) de la capacité au champ allant de 79,20% à 80,49% (Annexe n°04).

Ces résultats sont vérifiés par le biais du test de Newman et Keuls au seuil de 5 %, qui effectivement nous isole 4 groupes (Tableau n°02).

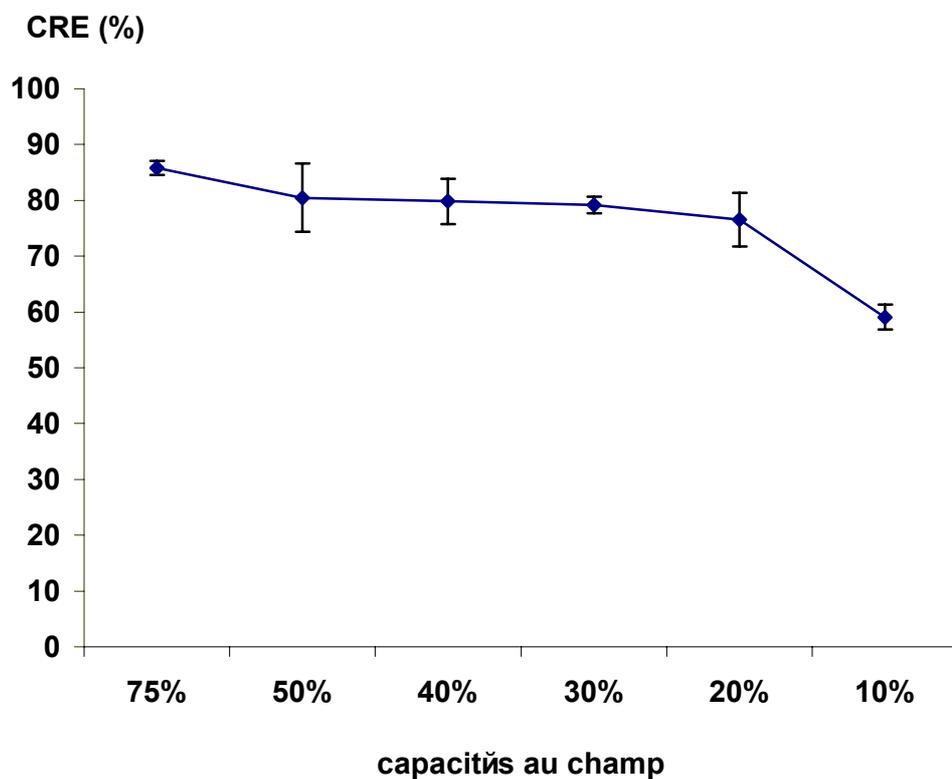


Figure n°08 : Variation du contenu relatif en eau des jeunes plants d'arganier âgés de 9 mois soumis à différents niveaux de stress hydrique

1.2. Effet de la contrainte hydrique sur l'accumulation des sucres solubles

La contrainte hydrique dans sa globalité a induit une augmentation des teneurs en sucres solubles, sur les jeunes plants testés (figure n°09). En effet, au fur et à mesure que le stress hydrique devient sévère, les jeunes plants enregistrent des teneurs de sucre très élevées. De ce fait, les teneurs les plus élevées sont enregistrées pour les capacités au champ 10% et 20%, avec des valeurs respectivement de l'ordre de 62,63 mg/g MF et 34,23 mg/g MF. Par contre les valeurs les plus faibles sont relevées pour le lot témoin (75%), avec des valeurs de 7,67 mg/g MF. Des valeurs moyennes sont relevées pour les jeunes plants évoluant sur des pots ayant des capacités au champ de l'ordre de 50%, 40% et 30%, allant respectivement de 13,7 mg/g MF à 19,8 mg/g MF (Annexe n°04).

Les comparaisons de moyennes réalisées par le biais du test de Newman et Keuls au seuil de 5 %, nous isolent 5 groupes distincts, où effectivement on note que les lots 10% et 20% sont affectés respectivement au groupe (A) et (B) enregistrant des maximales, contrairement au lot témoin (75 %), qui est affecté au dernier groupe (D), enregistrant les valeurs les plus faibles (Tableau n°02).

1.3. Effet de la contrainte hydrique sur la variation des teneurs en proline

Les niveaux de stress hydrique appliqués ont induit une augmentation notable des teneurs en proline dans les feuilles des jeunes plants d'arganier testés (figure n°10). En effet, plus le niveau de la contrainte hydrique appliquée augmente, plus les teneurs en proline deviennent plus marquées.

On constate que les teneurs les plus élevées sont enregistrées chez les lots 20% et 10%, avec des valeurs respectivement de l'ordre de $30,44 \cdot 10^{-3}$ mg/g MF et $42,48 \cdot 10^{-3}$ mg/g MF.

Des valeurs moyennes sont relevées chez les plantes évoluant dans des pots ayant une capacité au champ de 50%, 40%, 75% et 30%, avec des valeurs allant de $(15,95 \cdot 10^{-3})$ à $21,24 \cdot 10^{-3}$ mg/g MF (Annexe n°04).

Ces résultats sont confrontés, par la comparaison des moyennes réalisées par le test de Newman et Keuls à 5 %, qui nous dégage 3 groupes distincts, où on note

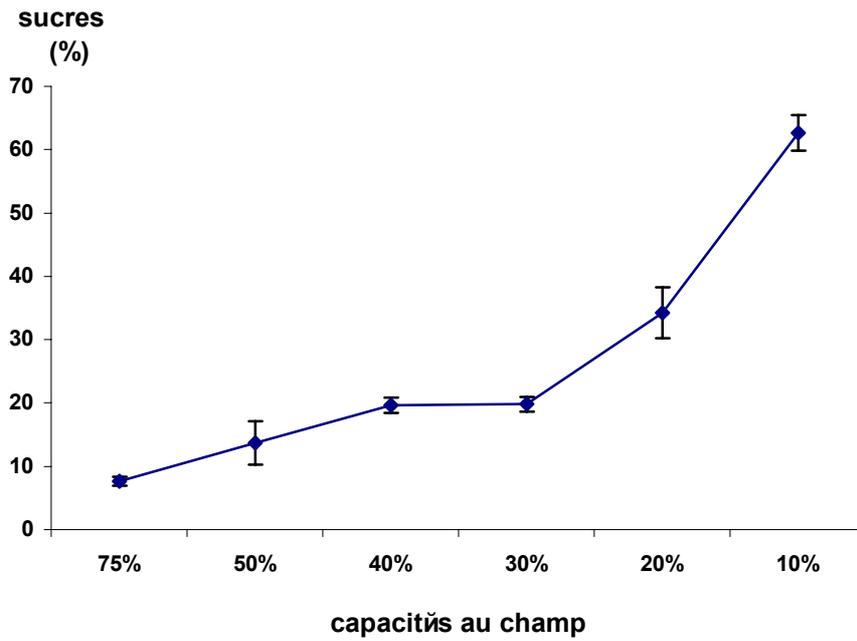


Figure n°09 : Taux d'accumulation des sucres solubles dans les feuilles des Jeunes plants d'arganier âgés de 9 mois soumis à différents niveaux de stress hydrique

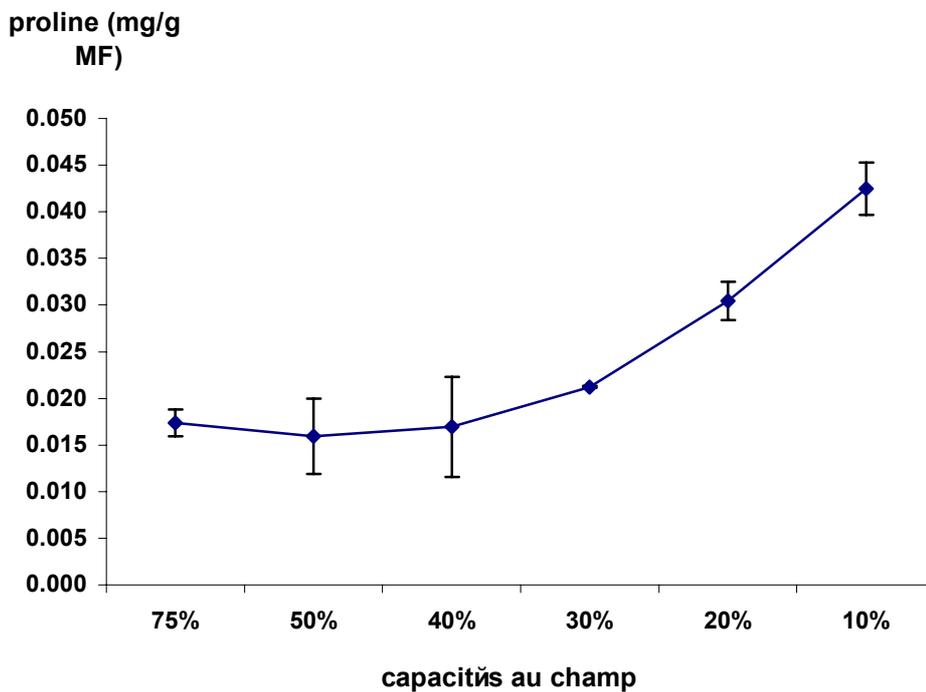


Figure n°10 : Variation de l'accumulation de la proline dans les feuilles des jeunes plants d'arganier âgés de 9 mois soumis à différents niveaux de stress hydrique

l'affectation du lot 10% en groupe (A) et les lots 50%, 40%, 30% et 75% au dernier groupe (C) ; enregistrent les plus faibles teneurs (Tableau n°02).

1.4. Effet de la contrainte hydrique sur la variation du pourcentage d'intégrité cellulaire (P.I.C)

Le pourcentage d'intégrité cellulaire diminue au fur et à mesure que le déficit hydrique s'accroît (figure n°11). En effet, les pourcentages les plus élevés sont notés chez les jeunes plants cultivés sur des pots à capacités au champ 75% (témoin) et 50%, avec des valeurs respectives de 83,08% à 83,39%, contrairement aux jeunes plants évoluant dans des pots ayant des capacités au champ plus faibles (stress hydrique très sévère), 20% et 10%, avec des valeurs respectivement de l'ordre de 63,24% à 31,35%, où on relève des P.I.C très faibles (Annexe n°04).

Ces résultats trouvent leur confirmation dans le test de Newman et Keuls à 5%, qui révèle des différences significatives pour cette variable, pour les différents niveaux de stress hydrique en isolant 4 groupes distincts, où effectivement les valeurs de P.I.C les plus élevées, sont enregistrées chez les lots ayant des capacités au champ de 75% et 50%, qui ont été affectés aux groupes (A).

Par opposition, aux lots qui ayant des capacités au champ de 20% et 10% qui sont affectés aux deux derniers groupes respectivement (C et D) (Tableau n°02).

1.5. Effet de la contrainte hydrique sur la variation de la transpiration

La figure n°12, montre que plus le niveau de stress hydrique devient sévère, plus la transpiration devient faible jusqu'à s'annuler pour des stress très élevés (10%). Par ailleurs, une transpiration maximale est relevée au niveau des lots de 50%, 75%, 40% et 30% allant de 4,26 jusqu'à 3,04 mg H₂O. S⁻¹.cm⁻².

Par opposition, avec les jeunes plants cultivés sur des pots ayant des capacités au champ de 20% et 10%, où on note que cette dernière s'abaisse significativement au niveau des jeunes plants cultivés dans des pots à capacités au champ 20% en accusant une transpiration de l'ordre de $1,29 \cdot 10^{-4}$ mg. H₂O. S⁻¹.cm⁻²,

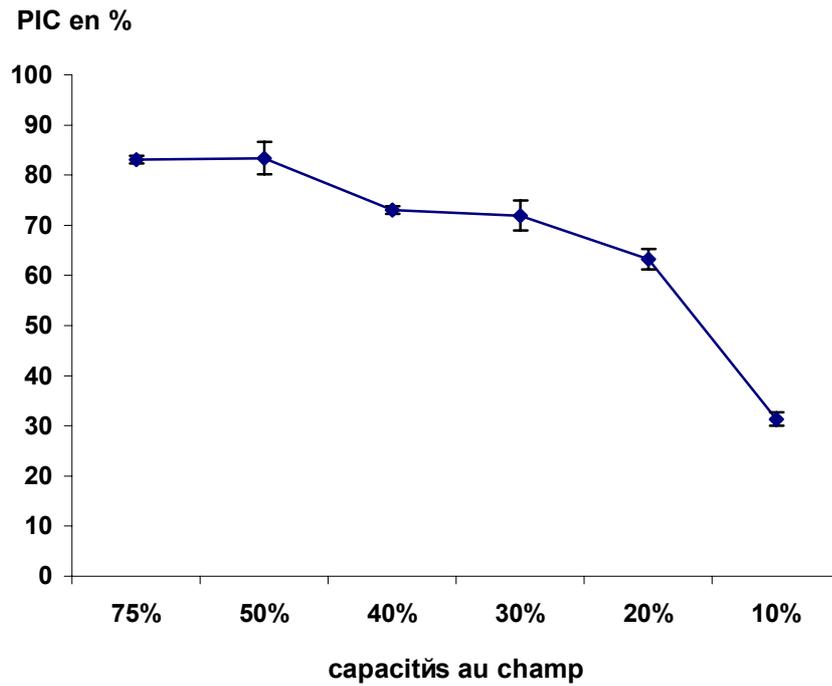


Figure n°11 : Variation de l'intégrité des structures membranaires des jeunes plants d'arganier âgés de 9 mois soumis à différents niveaux de stress hydrique

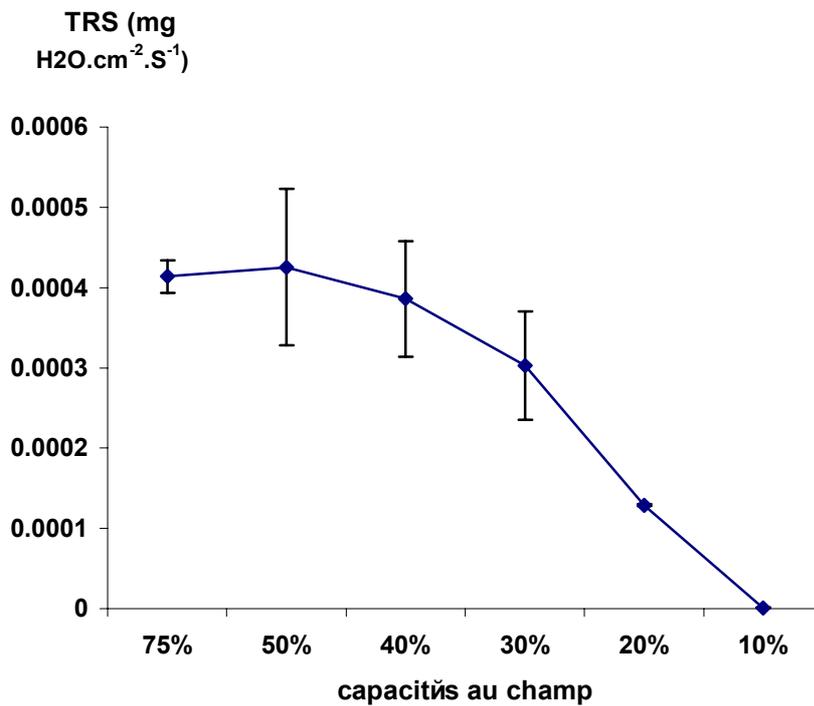


Figure n°12 : Variation de la transpiration produite chez les jeunes plants d'arganier âgés de 9 mois soumis à différents niveaux de stress hydrique

pour s'annuler chez les jeunes plants cultivés sur des pots à très faible capacité au champ (10 %) (Annexe n°04).

En effet le test de Newman et Keuls au seuil de 5%, fait ressortir 2 groupes différents, où on note que le maximum de l'activité transpirante est relevée au niveau des jeunes plants cultivés dans les lots ayant les capacités au champ 75%, 50%, 40% et 30%, en les affectant au groupe (A), et le maximum est relevé pour les capacités au champ de l'ordre de 20% et 10% qui ont été affectés au deuxième groupe (B) (Tableau n°02).

1.6. Effet de la contrainte hydrique sur la variation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE)

Les modifications enregistrées sur l'EUE des jeunes plants sont assez variables, suivant le niveau de stress hydrique considéré (figure n°13). En effet les jeunes plants d'arganier cultivés dans des pots à capacité au champ de 40% et 30% accusent les EUE les plus élevées (0,18%). Par opposition au lot de pot ayant des capacités au champ de l'ordre de 10% (stress très sévère), les jeunes plants semblent avoir perdu leur aptitude à valoriser l'eau, donc à mieux le consommer et ce en enregistrant l'EUE la plus faible (0,09%), de moitié de celle des lots à stress modéré (40% et 30%), en suite viennent les lots de pots ayant des capacités au champ de 75%, 20% et 50%, avec des valeurs moyennes allant de 0,10% à 0,11% (Annexe n°04).

Le test de Newman et Keuls au seuil de 5%, va dans le même sens des résultats qu'on vient de présenter, où on relève le dégagement de deux groupes distincts (A et B) (Tableau n°02).

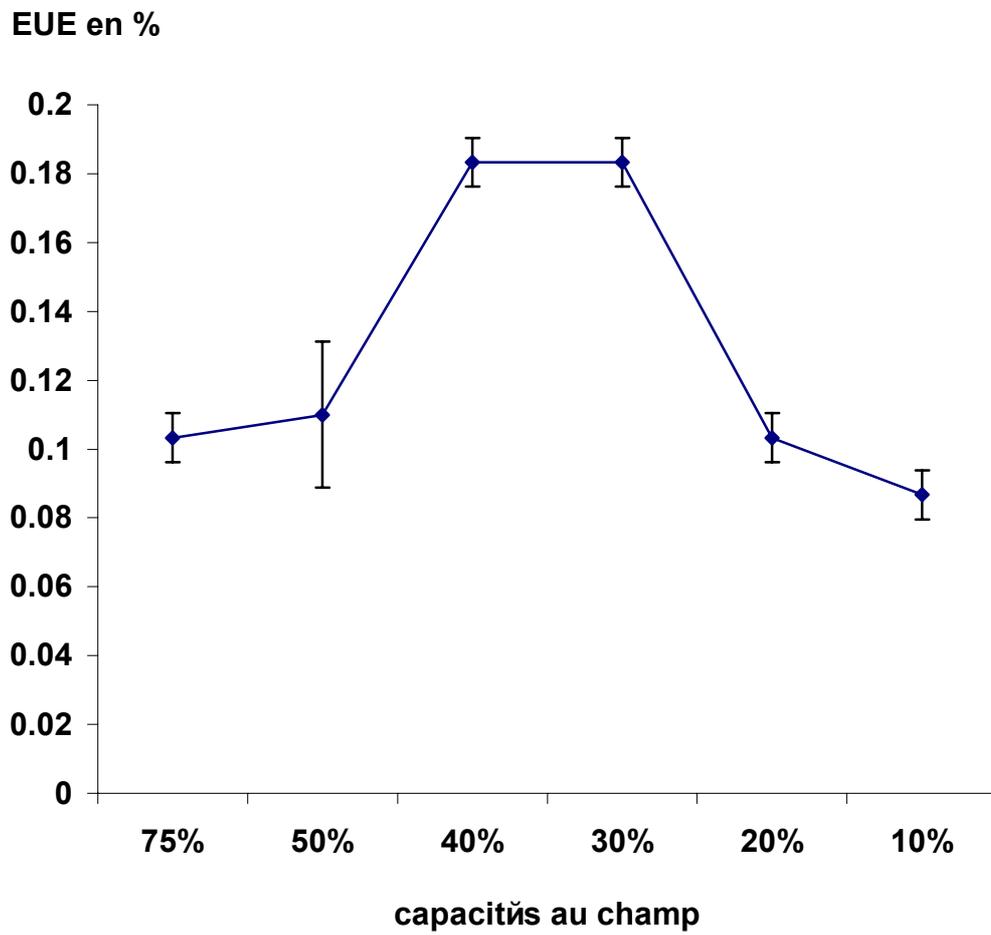


Figure n°13 : Variation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau chez les jeunes plants d'arganier âgés de 9 mois soumis à différents niveaux de stress hydrique

2. Discussion

L'analyse du contenu relatif en eau (CRE), permet de décrire d'une manière globale le statut hydrique en réponse au stress hydrique, et d'évaluer l'aptitude à réaliser une bonne osmorégulation, et maintenir une turgescence cellulaire (EL JAAFARI, 2000).

Lors de notre travail, les niveaux de stress hydrique appliqués ont induit une baisse dans le contenu relatif en eau des jeunes plants testés. Un comportement semblable a été observé chez un bon nombre de plantes : l'orge et la fétuque (BENNACEUR, 1994), le blé (EL JAAFARI, 1993 ; YKHLEF, 2001; NOURI, 2002), et chez de nombreux ligneux tel que *Casuarina glauca* (ALBOUCHI et al., 2003).

Plus l'intensité du stress hydrique s'accroît plus le CRE s'abaisse, tout en gardant des valeurs relativement élevées en comparaison au témoin (75%), pour atteindre des valeurs minimales pour les niveaux de stress hydrique les plus sévères (20% et 10%). Cet abaissement serait dû au phénomène de déshydratation, donc à une perte en eau touchant les cellules des jeunes plants. L'une des conséquences majeures de cette déshydratation cellulaire est l'accumulation passive des solutés entre autres sucres solubles (osmorégulation passive) (Tableau n°03).

En effet, la matrice des corrélations réalisée pour les paramètres physiologiques (Annexe n°05), révèle des corrélations négatives, très hautement significatives entre le CRE et l'accumulation des sucres solubles (glucose) où $r = -0,979$, c'est-à-dire plus le CRE s'abaisse plus les sucres solubles s'accumulent et vice versa. De ce fait, une augmentation des sucres solubles a été relevée chez un bon nombre de plantes évoluant sous stress hydrique tel que le blé, la fève (EL JAAFARI ; 2000 ; BOUSBA, 2001 ; KARA, 2001 ; NOURI, 2002), et chez un bon nombre des ligneux tel que l'*Eucalyptus microtheca* (CHUNYANG, 1998) et le *Quercus ilex* (PESOLI et al., 2003).

CORTES et SINCLAIR (1987), GEIGENBERGER et al, (1997) ont attribué l'augmentation des sucres solubles à une dégradation des réserves amylacées suite à leur conversion rapide en saccharose, fait qui pourrait aussi être attribué à une inhibition de la synthèse de l'amidon. Donc, le stress hydrique altère la compartimentation en faveur de la synthèse du saccharose.

Le maintien du CRE plus ou moins élevé en comparaison au témoin, pour les jeunes plants d'arganier soumis à des niveaux de stress hydrique 40% et 30%, serait probablement dû à une osmorégulation active, suite à la mise en place d'un mécanisme

de tolérance au stress hydrique à savoir l'ajustement osmotique. En effet, le même type de travaux réalisés par : MORGAN (1984) ; BENNACEUR (1994) et NOURI (2002) sur différents types de plants soumis à des stress hydrique d'intensité différentes, ont confirmé qu'effectivement au niveau de ces derniers, la mise en place de certains mécanismes de tolérance à la sécheresse tel que l'ajustement osmotique a été relevé. L'évaluation de ce dernier sur les jeunes plants d'arganier testés a été faite d'une manière indirecte selon la méthode de WANG (1995) réalisée sur des jeunes plants de pommier (voir matériel et méthodes). Où il semblerait que les jeunes plants d'arganier évoluant dans des pots à capacité au champ 40% et 30% arrivent à maintenir des CRE plus ou moins proche des jeunes plants évoluant dans des pots à capacité au champ de 50% et le témoin, malgré leurs niveaux d'irrigation plus important. Ceci pourrait s'expliquer par une accumulation active de solutés à l'échelle cellulaire, plus précisément des osmolytes impliqués directement dans le phénomène d'ajustement osmotique à savoir les sucres solubles (glucose). Effectivement, des niveaux d'osmorégulation actives très important ont été maintenu chez les jeunes plants d'arganier pour les niveaux de stress 30% et 40% (Tableau n°03), pour s'abaisser et atteindre des valeurs faibles pour le niveau de stress hydrique le plus sévère (10 %).

De même, des corrélations négative ont été révélées suite à la matrice des corrélations (Annexe n°05) entre l'accumulation des sucres solubles et la transpiration où $r = -0.955$. De ce fait, l'une des autres causes responsable de l'augmentation de l'accumulation des sucres solubles à l'échelle cellulaire est la baisse de la transpiration. Donc, par voie de conséquence ceci induit une augmentation des résistances à la diffusion du CO₂ et de la vapeur d'eau, résultats conformes à ce qui a été obtenu sur les jeunes plants d'arganier évoluant sous stress, où nous avons relevé un abaissement de la transpiration suite à une augmentation du niveau de stress appliqué pour s'annuler au stress le plus sévère (10%).

Des résultats similaires ont été trouvés chez différents types de plantes sous stress hydrique tel que le tournesol, blé, orge, fève (BENNACEUR, 1994 ; NOURI, 2003 ; KARA, 2001 ; BOUSBA, 2001), et chez de nombreuses espèces forestières telles que *Fraxinus excelsior* et *Quercus petraea* (LADEFOGED, 1963), *Quercus coccifera* (LOSCH et al., 1982) et *Argania spinosa* (PELTIER et al., 1992).

Additionnellement à l'augmentation des sucres solubles, les niveaux de stress hydrique

appliqués ont stimulé une augmentation des teneurs en proline r (CRE / PrI= -0,930) (Annexe n°05). L'accumulation de la proline sous conditions déficitaires a été reportée par plusieurs chercheurs, sur différents types de plantes ; chez le blé dur et tendre (EL JAAFARI, 1993 ; NOURI, 2002), la tomate (CLAUSSEN, 2005), le Thé (CHAKRABORTY *et al.*, 2002), la Fève (BOUSABA, 2001).

L'une des causes de cette accumulation, serait une protéolyse membranaire, effectivement des corrélations négatives très hautement significatives ont été révélées suite à la matrice des corrélations réalisée (Annexe n°05) dans notre étude, entre la proline et le pourcentage d'intégrité cellulaire, où $r = - 0,968$, suggérant qu'au fur et à mesure que le stress hydrique devient plus important, plus l'intégrité membranaire diminue r (P.I.C / CRE) = 0,975, r (P.I.C/Trans) = 0,940. Donc, la proline, pourrait s'accumuler suite à une perturbation du métabolisme des protéines.

Les travaux de BENNACEUR (1994), réalisés sur l'orge et la fêtuque sous stress hydrique corroborent et confirment nos résultats.

Cependant, CLAUSSEN (2005), en travaillant sur la tomate, en condition de stress salin et hydrique, suggère que l'accumulation de la proline serait due soit à une induction, ou activation de l'enzyme impliquée dans la biosynthèse de la proline, ou suite à un abaissement de son oxydation en glutamate, et une amélioration du turnover des protéines.

En effet, l'expression du gène codant pour l'enzyme clé contrôlant la synthèse de la proline (P5 synthase, EC 2.7.2.11 + EC 1.2.1.41 ; P5C réductase, EC 1.5.1.2), et des gènes de l'oxydation de la proline (proline déhydrogénase E.1.4.3), qui sont contrôlés par le stress osmotique et salin et ces variations moléculaires, précèdent l'augmentation ou l'abaissement de la concentration de la proline dans les tissus des plantes (CHANDRA *et al.*, 2004).

Parallèlement à cela, les travaux de CLIFFORD *et al.* (1998), montrent que la cause d'accumulation de la proline est l'accumulation des sucres solubles (HEXOSES ; glucose). En effet, les corrélations obtenues suite à la matrice des corrélations (Annexe n°05), révèle une corrélation positive très hautement significative entre les sucres solubles et la proline où $r = 0,975$. Suggérant l'extrême sensibilité de la synthèse de la proline au niveau de la réduction du NADP^+ cellulaire et ceci renforce les données, stipulant que la synthèse de la proline est un moyen pour réguler le potentiel redox

cellulaire (contribution dans l'ajustement énergétique). (BELLINGER *et al.*, 1987 ; RAI, 2002).

Par ailleurs, on peut déduire que les sucres solubles (glucose et saccharose) sont des effecteurs de l'accumulation de la proline (JOYCE *et al.*, 1992). MASTRANGELO *et al.*, (2000), NOURI (2002), suggèrent que l'habilité de certains génotypes à accumuler ces osmotocums (sucres et proline), est utilisée comme base pour la sélection de génotypes tolérants à la sécheresse.

La déshydratation passive des cellules des jeunes plants testés, a induit une perte de turgescence à l'échelle cellulaire, pour pallier à cela le végétal essaye de limiter les pertes en eau qui est traduite, pour une large part à la diminution de la transpiration suite à une fermeture des stomates (YKHLEF, 2001 ; NOURI, 2002).

Ceci étant justifié par une corrélation positive très hautement significative, (r entre la transpiration et le CRE) = 0,886 et négative avec sucre et proline ($r = - 0,955$ et $- 0,987$) (Annexe n°05).

Les résultats de la présente étude montrent l'intérêt du maintien d'une bonne transpiration, par voie de conséquence le maintien d'une ouverture stomatique durant le déficit hydrique, en intervenant directement sur le niveau du contenu relatif en eau (DENDEN et LENEUR, 1999 ; NOURI, 2002), avec des réponses différents qui vont conditionner de façon indirecte l'efficacité de l'utilisation de l'eau photosynthétique (ERCHIDI *et al.*, 2000).

Pour assurer un niveau de rendement satisfaisant donc un gain en masse sèche au niveau du végétal, il faut que ce dernier maintienne une bonne activité photosynthétique en condition de déficit hydrique, c'est-à-dire une sensibilité moindre de la photosynthèse par rapport à la transpiration lors de la contrainte hydrique, on peut dire donc, que La réduction élevée de la transpiration par rapport à la photosynthèse sous stress hydrique, résulte d'une amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau, comme l'ont observé : MARTIN et RUIZ-TORRES (1992) ; BARUTÇULAR *et al.* (2000) ; QARIANI *et al.* (2000).

L'EUE est favorablement médiatisée par l'ajustement osmotique (HARE *et al.*, 1998), suggérant que plus il y'a de sucre et de proline accumulés plus l'EUE augmente, confirmant ainsi le rôle de la turgescence dans le maintien du phénomène. D'ailleurs, les jeunes plants évoluant dans les niveaux de stress modérés (30% et 40%) et qui ont

accumulé activement ces osmolytes (osmorégulation active) sont ceux qui affichent les taux de l'EUE les plus élevés. Par contre dans les niveaux 20% et 10%, l'EUE est faible suite à une accumulation passive des sucres solubles (déshydratation des tissus) (Tableau n°03).

Les travaux qui ont été faits par LÖSCH et *al* (1982), confirment nos résultats. L'auteur montre qu'au printemps la transpiration de l'arganier est plus élevée que celle d'arbres méditerranéens, ce qui s'explique par la conductance élevée, l'arganier n'est donc pas particulièrement économe d'eau.

En été, il restreint sa transpiration, comme le font les arbres méditerranéens et même plus que certains d'entre eux.

Il ressort que les jeunes plants d'arganier ne possèdent pas de dispositifs très efficaces pour éviter la déshydratation de son feuillage lors d'un déficit hydrique, et que par conséquent la persistance de celui-ci doit reposer plutôt sur des propriétés de tolérance. Les mêmes résultats sont obtenus par LUDLOW (1989), qui a travaillé sur l'arganier.

Le tableau n°04 montre la transpiration de nos jeunes plants d'arganier (Tmax) comparée à celle d'espèces de climat méditerranéen.

Tableau n°03 : Effet des différents niveaux de stress hydrique sur l'accumulation passive et active des sucres solubles (évaluation indirecte de l'ajustement osmotique)

Capacités au champ	50 %	40 %	30 %	20 %	10 %
Taux des sucres accumulés activement (%)	100.60	99.78	99.00	95.72	73.82
Taux des sucres accumulés passivement (%)	-0.60	0.22	1.00	4.28	26.18

Tableau n°04 : La transpiration (Tmax) de nos jeunes plants d'arganier âgés de 9 mois comparée à celle d'espèces de climat méditerranéen

Espèces	T max (mg . m⁻². s⁻¹)	Références
<i>Jeunes plants d'Argania spinosa âgés de 6 mois (Tindouf)</i>	0,0413	Présent travail
<i>Arbre adulte d'Argania spinosa (Agadir)</i>	50	PELTIER et al., 1992
Fraxinus excelsior	71	LADEFOGED, 1963
<i>Quercus petraea</i>	61	
Myrtus communis	20	LÖSCH et al., 1982
Arbutus unedo	17	
Quercus coccifera	35	
Castanea sativa	15	

Chapitre 3

Observations et mesures des paramètres morphologiques en relation avec la résistance au stress hydrique

De fait que les mesures physiologiques ont été réalisées en fin de période de stress hydrique, pour les différents traitements réalisés, l'analyse statistique a été réalisée pour toutes les variables morpho physiologiques en fin de période de contrainte hydrique (après 6 mois).

Dans leurs globalité les niveaux de stress hydrique aux quels été soumis les jeunes plants d'arganier, ont un effet très hautement significatif pour $P \leq 0.0001$ sur la quasi-totalité des traits morphologiques étudiés, suite à une analyse de la variance à un facteur fixe (Annexe n°06).

1. Observations

1.1. Effet de la contrainte hydrique sur la croissance verticale

La contrainte hydrique dans sa globalité, a induit une augmentation de la hauteur des jeunes plants cultivés sur les lots ayants des capacités au champ de 40% et 30%, avec des valeurs respectives de 15,42 cm et 14,58 cm (figure n°14). Contrairement au jeunes plants évoluant dans les pots ayants des capacités au champ plus faible donc des stress hydriques très sévères (20% et 10%), allant de 11,83 cm et 11,17 cm, où on relève des hauteurs très faibles (Annexe n°07).

En effet, l'emploi du test de Newman et Keuls à 5 %, fait ressortir 4 groupes, où effectivement les valeurs de hauteur les plus élevées sont enregistrées chez les plantules subissant des stress de 40% et 30%, ces derniers sont affectés respectivement au groupe (A) et (AB). Par opposition, les lots ayants des capacités au champ de 20% et 10% qui sont affectés au dernier groupe, à savoir (C) (Tableau n°05).

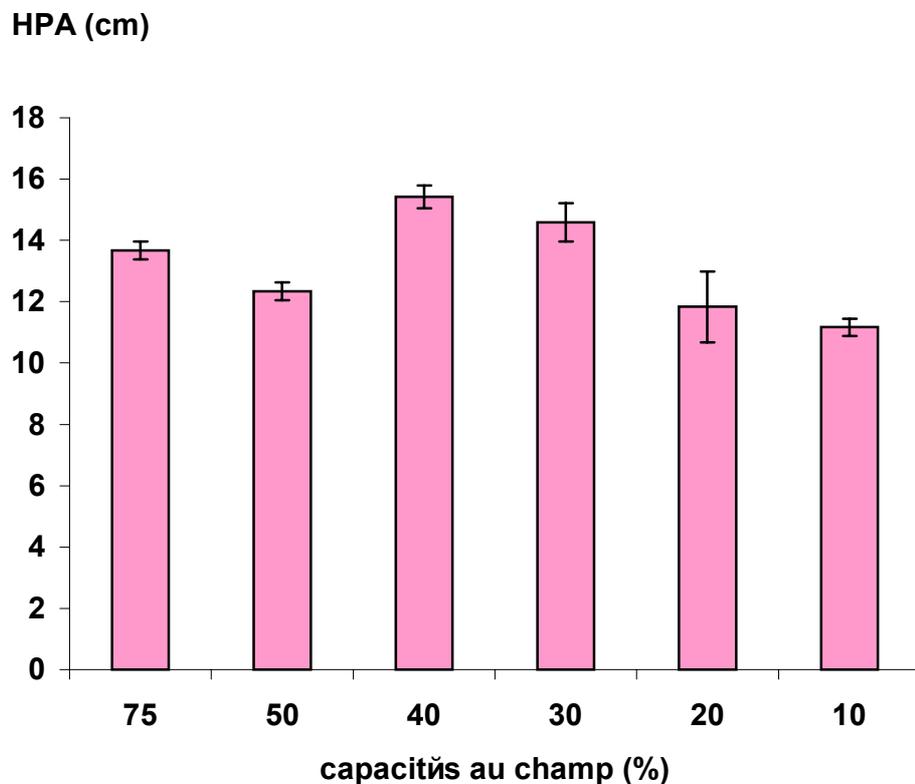


Figure n°14: Effet des différents niveaux de stress hydrique sur la hauteur moyenne aérienne des jeunes plants d'arganier âgés de 9 mois

1.2. Effet de la contrainte hydrique sur le nombre des feuilles

L'étude statistique, qui est basée sur l'analyse de la variance, révèle une différence significative entre les plantules cultivées dans différents niveaux de stress. Toute fois, il faut signaler que le nombre des feuilles des jeunes plants développés sur les lots ayant des stress de l'ordre de 40% et 30%, possèdent le plus grand nombre de feuilles (34) (Annexe n°07). Cependant, le taux le plus faible est enregistré dans les pots ayant une capacité au champ de 10%, pour un nombre de feuilles de 7,67 (figure n°15).

En effet le test de Newman et Keuls au seuil de 5%, fait ressortir 4 groupes différents, où on note que le nombre de feuilles le plus élevé est relevé au niveau des jeunes plants cultivés sur les lots subissant des stress de 40% et 30%, en les affectant au groupe (A). En suite, viennent les jeunes plants cultivés sur des lots ayant des capacités au champ de 50% et 20%, en les affectant au groupe (B). Le minimum est relevé,

pour la capacité au champ de 10% qui été affecté au dernier groupe (D) (Tableau n°05).

1.3. Effet de la contrainte hydrique sur la croissance radiale (diamètre au collet)

Les niveaux de stress appliqués ont induit une diminution notable des diamètres au collet des jeunes plants d'arganier testés (figure n°16). Par ailleurs, les diamètres au collet les plus élevés sont enregistrés chez les lots ayant des capacités au champ de 40%, 75% (témoin), 30% et 50%, enregistrant des valeurs moyennes comprises entre (0,25 cm et 0.26 cm). Ensuite viennent les lots 20%, 10%, pour des valeurs de 0.22 cm (Annexe n°07).

En effet, l'emploi du test de Newman et Keuls à 5%, fait ressortir 2 groupes, dans lesquels les jeunes plants cultivés sur les lots a capacité au champ 40%, 75% (témoin), 30% et 50%, possèdent la meilleure croissance radiale, affectant celle ci au groupe (A). Par opposition avec les jeunes plants cultivés dans des pots à capacités au champ de (20% et 10%), en les affectant au groupe (B) (Tableau n°05).

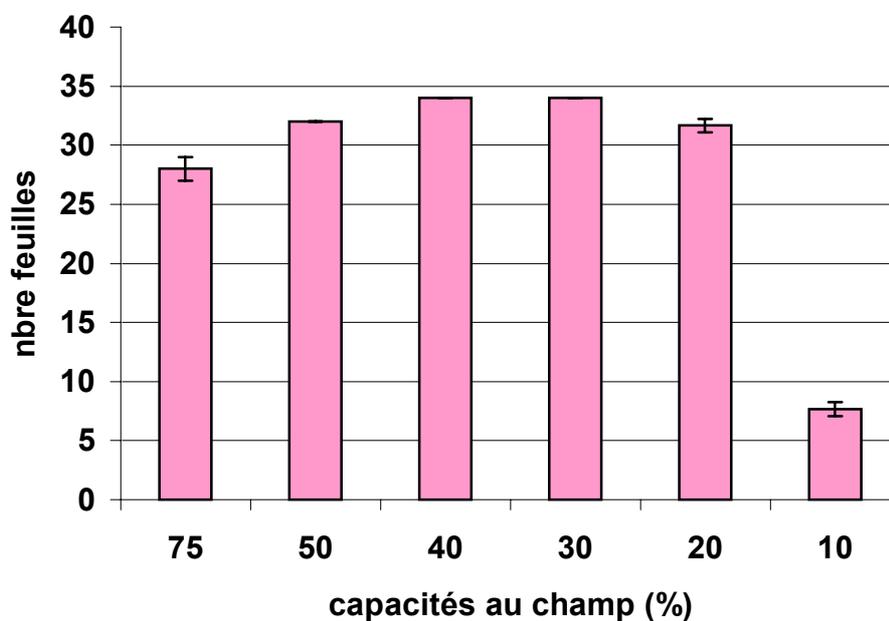


Figure n°15 : Effet des différents niveaux de stress hydrique sur la moyenne des feuilles des jeunes plants d'arganier âgés de 9 mois

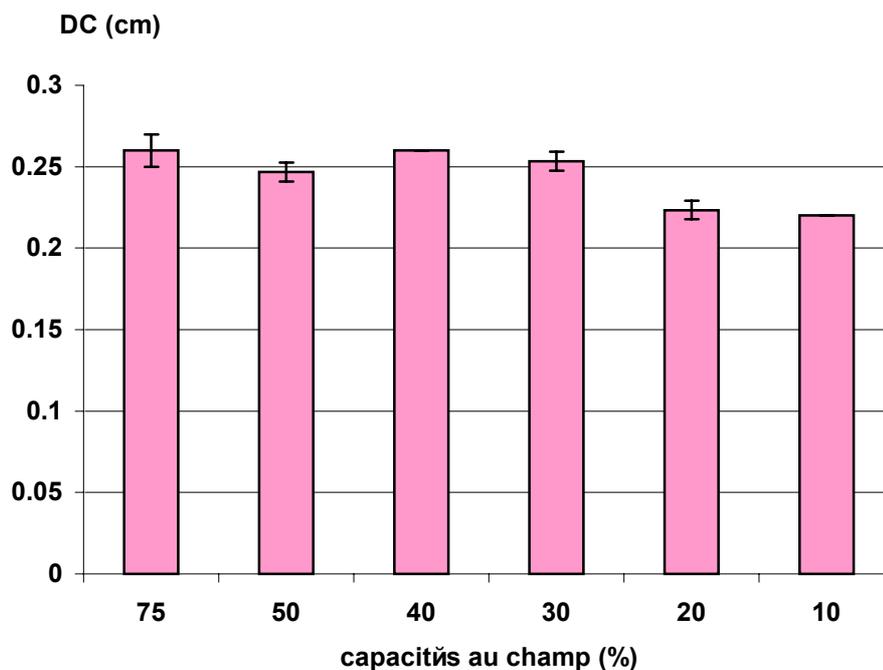


Figure n°16 : Effet des différents niveaux de stress hydrique sur la croissance moyenne radiale (diamètre au collet) des jeunes plants d'arganier âgés de 9 mois

1.4. Effet de la contrainte hydrique sur la croissance du système racinaire

Au fur et à mesure que le stress hydrique devient sévère (10%), les jeunes plants enregistrent des longueurs très élevées, avec une valeur de 58,55 cm (Annexe n°07). Par contre les valeurs très faibles sont relevées pour les jeunes plants élevés dans des pots ayant des capacités au champ de 50%, avec une valeur de 25,90 cm, puis dans le témoin (75%), avec une valeur de 35,63 cm (figure n°17).

Ces résultats sont confortés, par la comparaison des moyennes réalisée par le test de Newman et Keuls au seuil de 5%, qui nous dégage 4 groupes distincts ; A, B, C et D. Où on note l'affectation du lot (10%) au groupe (A), et le (50%) au dernier groupe (D), enregistrant la plus faible longueur (Tableau n°05).

1.5. Effet de la contrainte hydrique sur le poids frais total

Des effets très hautement significatifs ont été relevés sur la variation de le poids frais total sous stress. Les poids frais les plus élevés sont notés chez le lot ayant 75% de la capacité au champ, avec une valeur maximale de l'ordre de 4,26 g. Par opposition, les poids frais total les plus faibles sont enregistrés pour les capacités au champ (10%, 50% et 20%), et qui ont été respectivement de l'ordre de 1.62 g, 2.04 g et 2.14 g (Annexe n°07). Les valeurs moyennes

sont relevées chez les lots (40% et 30%), qui ont été respectivement de l'ordre de 3.31, 3.59g (figure n°18).

Ces résultats sont vérifiés par le biais du test de Newman et Keuls à 5%, fait ressortir 2 groupes, dans lesquels les jeunes plants cultivés sur les lots de 75%, 30% et 40% de la capacité au champ, possèdent le poids frais le plus élevé, en les affectant au groupe (A). Par opposition avec les jeunes plants cultivés dans les pots à capacités au champ de (50%, 20% et 10%), en les affectant au groupe (B) (Tableau n°05).

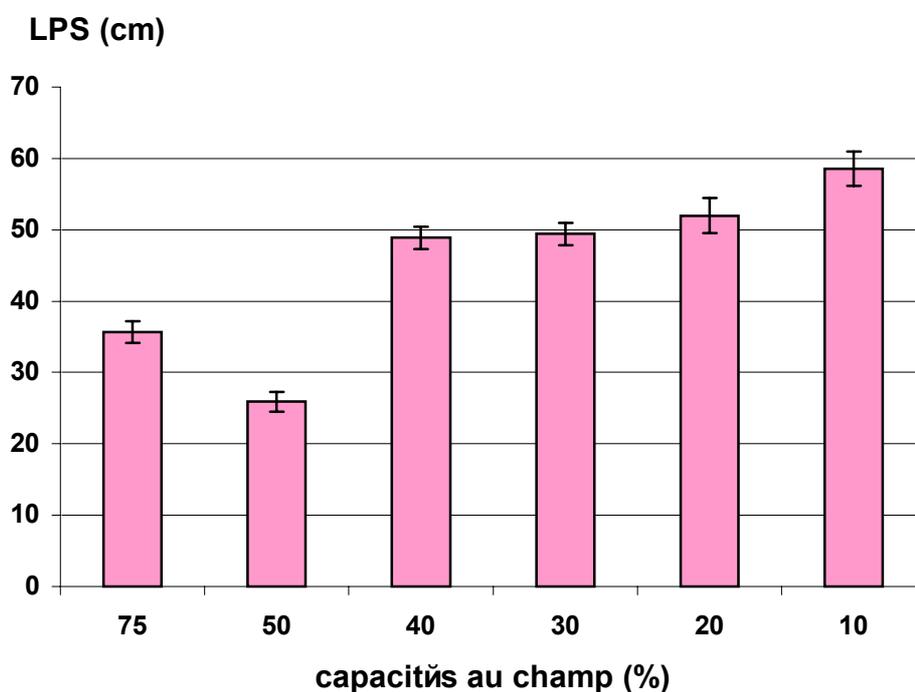


Figure n°17 : Effet des différents niveaux de stress hydrique sur la longueur moyenne racinaire des jeunes plants d'arganier âgés de 9 mois

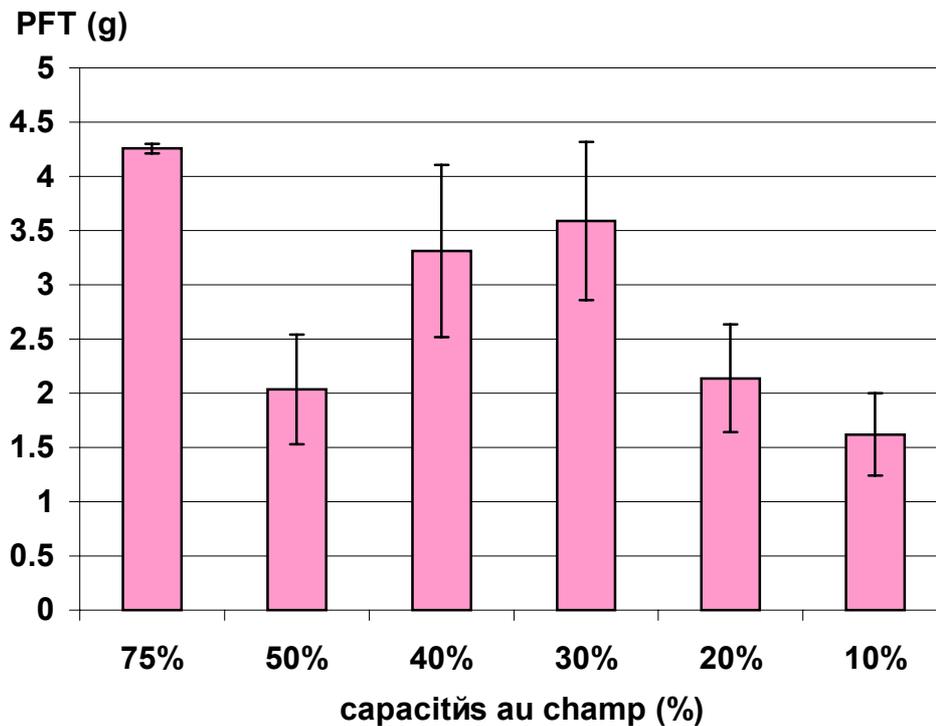


Figure n°18 : Effet des différents niveaux de stress sur le poids frais moyen total des jeunes plants d'arganier âgés de 9 mois

1.6. Effet de la contrainte hydrique sur la biomasse sèche totale

Les modifications enregistrées sur la biomasse sèche totale des jeunes plants, sont assez variables suivant le niveau du stress hydrique considéré.

En effet, les jeunes plants d'arganier cultivés dans des pots à capacité au champ de 75% (témoin), accusent les poids sec les plus élevés (1,80 g), suivie par les lots ayant des capacités au champ (40% et 30%), les valeurs sont respectivement de l'ordre de 1,16 g et 1,11 g (Annexe n°07). Par opposition au lot de pots ayant des capacités au champ de l'ordre de 10% et 20% (stress très sévère), où les poids sont respectivement de l'ordre de 0,47 g et 0,58 g (figure n°19).

Le test de Newman et Keuls à 5%, fait ressortir 3 groupes, en affectant le lot témoin au groupe (A), et les lots 20% et 10% au groupe (C) (Tableau n°05).

1.7. Effet de la contrainte hydrique sur le poids frais de la partie aérienne et souterraine

Il faut signaler que la biomasse aérienne et souterraine des jeunes plants développés dans des pots à capacité au champ de 10%, possèdent le plus faible poids

frais de la partie aérienne (0,45 g) et souterraine (0,81 g), ces valeurs sont la moyenne de 3 plants. Cependant, le taux le plus élevé est enregistré dans les pots à capacité au champ de 40% pour le poids frais de la partie aérienne (figure n°20), et 75% (témoin) pour poids frais de la partie souterraine (figure n°21), les valeurs sont respectivement de 2,01 et 3,36 g (Annexe n°07).

Toutefois, le test de Newman et Keuls à 5%, fait ressortir 2 groupes pour le poids frais de la partie aérienne, et 5 groupes pour le poids frais de la partie souterraine (Tableau n°05).

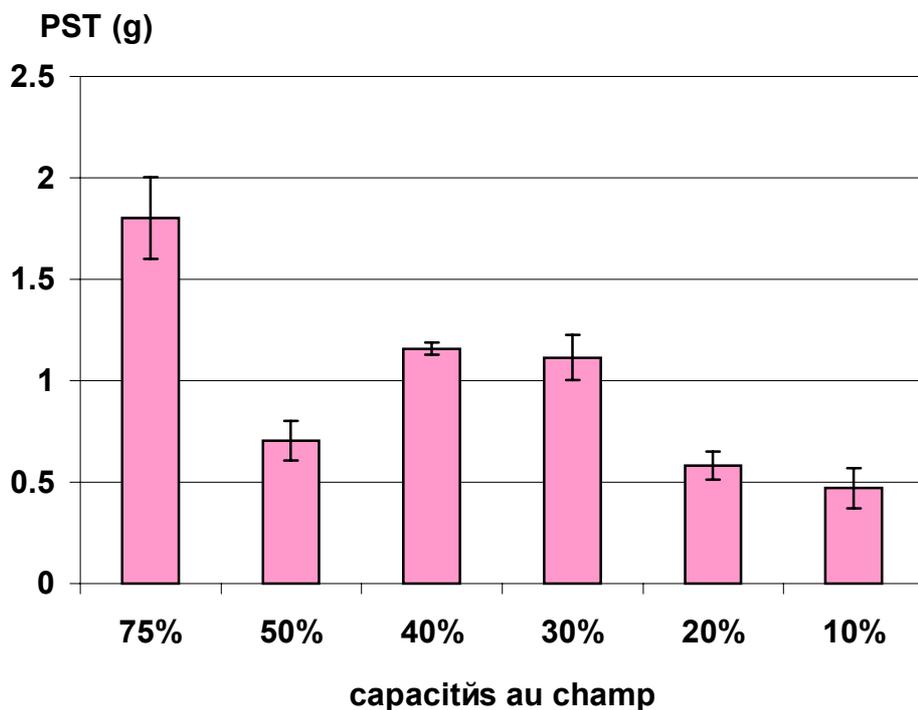


Figure n°19 : Effet des différents niveaux de stress hydrique sur la biomasse sèche totale des jeunes plants d'arganier âgés de 9 mois

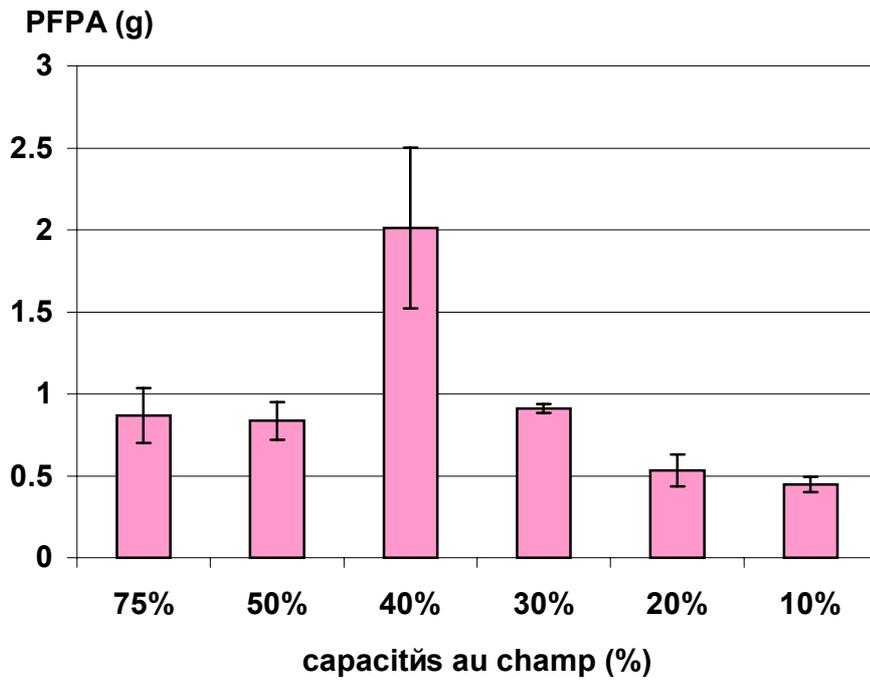


Figure n°20 : Effet des différents niveaux de stress hydrique sur le poids frais de la partie aérienne des jeunes plants d'arganier âgés de 9 mois

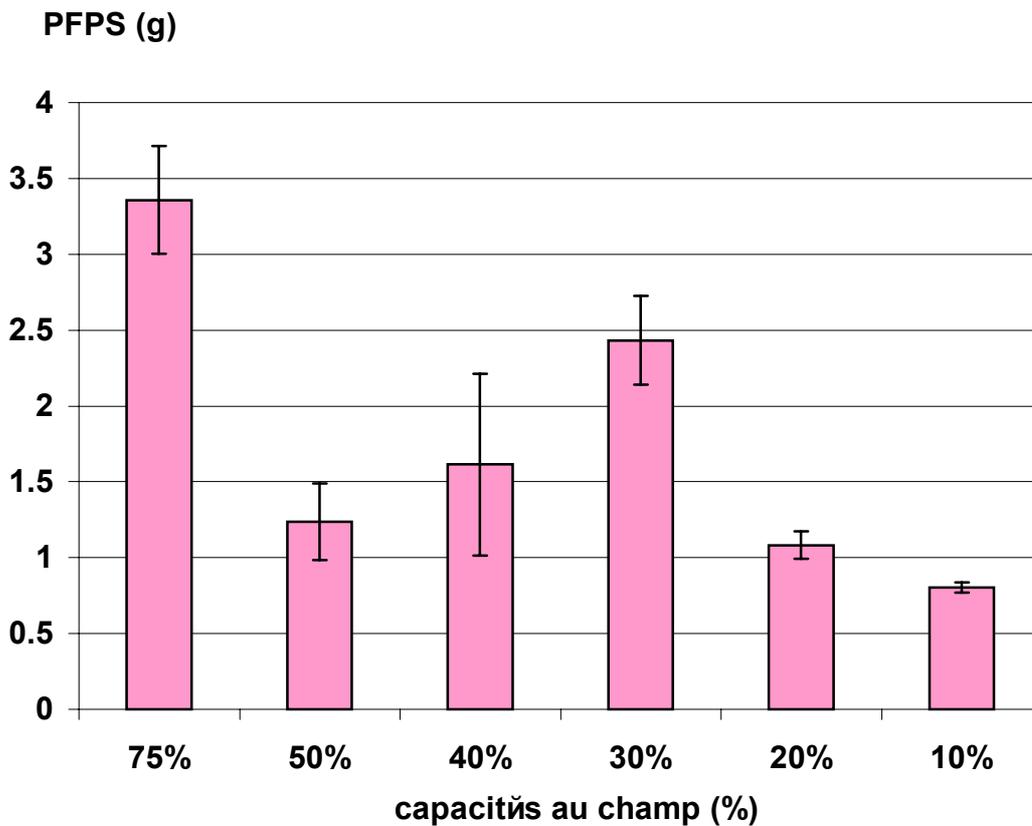


Figure n°21 : Effet des différents niveaux de stress hydrique sur le poids frais de la partie souterraine des jeunes plants d'arganier âgés de 9 mois

1.8. Effet de la contrainte hydrique sur le poids sec de la partie aérienne et souterraine

Nous constatons que le poids sec de la partie aérienne et souterraine des jeunes plants d'arganier, développés dans des pots à capacité au champ de 10%, possèdent le plus faible poids sec aérien (0,20 g) et souterrain (0,30 g), ces valeurs représentent la moyenne de 3 plants. Par ailleurs, les poids sec les plus élevés sont constatés dans les pots à capacité au champ 40% pour la biomasse sèche aérienne (figure n°22), et 75% (témoin) pour la biomasse sèche souterraine (figure n°23), les valeurs sont respectivement de 0,61 g et 1,47g (Annexe n°07).

Le test de Newman et Keuls à 5%, fait ressortir 3 groupes différents pour la masse sèche aérienne, et 5 groupes différents pour la biomasse sèche souterraine (Tableau n°05).

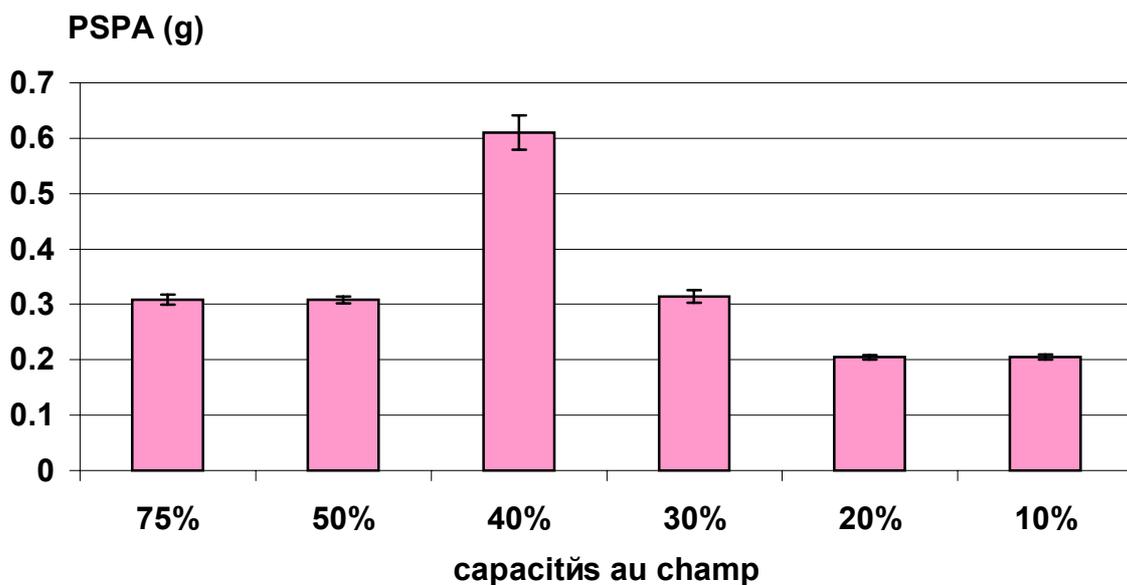


Figure n°22 : Effet des différents niveaux de stress hydrique sur la biomasse sèche aérienne des jeunes plants d'arganier âgés de 9 mois

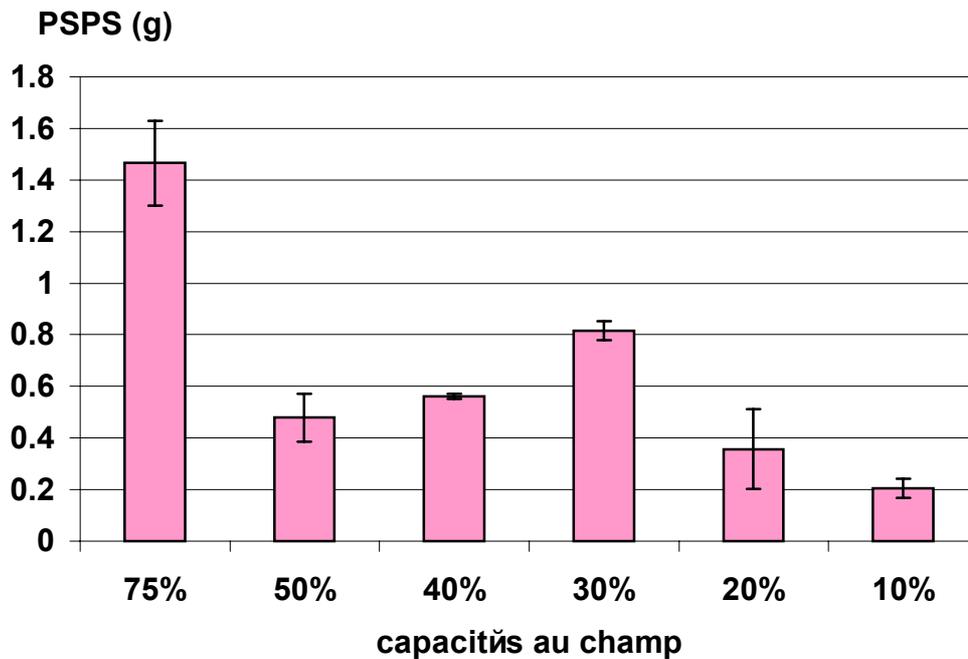


Figure n°23 : Effet des différents niveaux de stress hydrique sur la biomasse sèche souterraine des jeunes plants d'arganier âgés de 9 mois

2. Discussion

Le manque d'eau est un élément déterminant pour la croissance des plantes, particulièrement en région arides et semi-arides, Il induit chez les plantes stressées une diminution du contenu relatif en eau, et une réduction significative de la production de biomasse totale (KRAMER, 1980 ; ALBOUCHI et *al.*, 2000), concomitante à une réduction de la croissance en diamètre au collet et en hauteur des tiges (AUSSENAC et *al.*, 1983 ; VAN HEES, 1997 ; THOMAS et GAUSLING, 2000). De même, le manque d'eau affecte la distribution de la biomasse chez les plantes stressées (LEDIG, 1981), liée à la complémentarité des fonctions de croissance des parties racinaires et aériennes (MONROY-ATA et *al.*, 1988).

Souvent, la réponse d'une plante soumise à un assèchement du sol se traduit par une allocation préférentielle de biomasse vers les racines, exprimée par une augmentation du rapport en matière sèche entre la partie racinaire et aérienne (GALES, 1979 ; VAN HEES, 1997).

Pour mettre en évidence les potentialités d'adaptation de l'arganier à la sécheresse, une contrainte hydrique a été induite par l'application de différents niveaux de stress hydrique (différentes capacités au champ). La tolérance de cette espèce à la sécheresse a

été étudiée, par la capacité de développement de la plantule une croissance de la biomasse aérienne et racinaire en conditions semi-controlées.

En effet, la hauteur moyenne de la tige et la longueur racinaire à la fin de l'essai, est respectivement de l'ordre de 13,67 cm et 35,63 cm, pour les plantules élevées dans des lots à capacité au champ 75%, et respectivement de l'ordre de 11,17 cm et 58,85 cm, pour les plantules élevés dans un stress hydrique plus sévère (10%).

Ces résultats montrent que la partie aérienne est plus sensible à l'effet de stress hydrique que la partie racinaire. La diminution de la croissance de l'appareil végétatif observée chez les plantules d'arganier surtout dans les lots à capacité au champ 20% et 10%, peut être expliquée, par le fait que le niveau de stress agit par augmentation de la pression osmotique du milieu, ce qui empêche l'absorption de l'eau par le système racinaire, et par conséquent entraîne une réduction au niveau de la croissance de l'appareil végétatif chez les plantules qui subissent un déficit hydrique de 10% et de 20%.

Plusieurs travaux montrent que l'application d'un stress hydrique sévère, réduit la croissance en hauteur par rapport au témoin de 63% chez *Pinus caribaea* et de 65% chez *Pinus occarpa* (TESHA, 1971), de 35% chez *Quercus robur* et de 26% chez *Fagus sylvatica* (VAN HEES, 1997).

Des effets similaires ont été observés sur la croissance en hauteur chez les plantules d'arganier du Sud-Ouest du Maroc soumises à un stress hydrique en plein champ (HAROUNI et al., 1995).

Les mêmes résultats ont été obtenus sur la même espèce par KAABOUS (1992) in (HAROUNI et al., 1995).

La diminution de la croissance de la partie aérienne est accompagnée d'une réduction au niveau de la production des feuilles et de la croissance radiale. Ainsi, on remarque que la moyenne du nombre de feuilles vraies des plantules, varie entre 34 pour les pots subissant des capacités au champ de 40% et se réduit à 7,67 pour le stress le plus sévère (10 %), même résultat obtenu concernant le diamètre au collet.

Selon THAKUR et RAI (1982), le déficit en eau entraîne un retard dans la croissance du végétal. Il se traduit par une réduction de la hauteur, diminution du nombre des feuilles et du diamètre au collet, ceci appuis nos résultats.

En effet, l'analyse de la matrice des corrélations réalisée pour les paramètres morphologiques, révèle des corrélations significatives entre la hauteur de la partie

aérienne et le diamètre au collet ($r = 0,825$) (Annexe n°08).

On remarque aussi, que lorsque la hauteur de la partie aérienne augmente, il y'a une augmentation du nombre des feuilles mais pas d'une façon significative, faute peut être de la courte durée de l'expérimentation.

Ces résultats sont en accord avec ceux de HAROUNI et *al* (1995), qui ont travaillé sur la production des feuilles des plantules d'arganier, transplantées sous des régimes hydriques différents. Le même auteur a déduit que la croissance végétative et particulièrement l'expansion des feuilles sont sévèrement inhibées par le stress hydrique, les nouvelles feuilles se développent lentement et la sénescence des anciennes s'accélère. L'effet de la sécheresse, s'exprime par un ralentissement progressif puis rapide de la croissance, puisque le stress hydrique réduit la turgescence, et par conséquent le pouvoir expansif des feuilles (HAROUNI et *al.*, 1995).

Nous notons, que le meilleur résultat obtenu sur la croissance en hauteur, nombre de feuille et même dans la croissance radiale est noté sur les lots à capacité au champ 40% et 30%, cela est expliqué par le maintien d'un contenu relatif en eau élevé (79.82% et 79.20%) dans ces niveaux de stress, par le biais d'une osmorégulation active pour maintenir une croissance plus ou moins normale.

Le déficit de biomasse enregistré chez les plants stressés d'*Argania spinosa*, n'a pas affecté de façon similaire les deux parties de la plante. En effet, la croissance des racines des plants élevés dans différents niveaux de stress a été moins affectée par le manque d'eau que celle des parties aériennes au cours des traitements.

Les mêmes résultats sont obtenus par ALBOUCHI et *al.* (2003), qui a travaillé sur *Casuarina glauca*. Le stress hydrique semble induire une allocation préférentielle de biomasse vers les racines (tableau n°06). Ainsi, nous notons que les taux de réduction les plus importants en biomasse sèche aérienne sont enregistrés sur les plants ayant les stress les plus sévères (20% et 10%), les valeurs sont de l'ordre de 33,75% et 33,70% par rapport au témoin (75%), contrairement aux plants soumis à un stress de 30% et 40%, où un gain de biomasse a été relevé (tableau n°07). Cela, peut être expliqué par l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau, qui est favorablement médiatisée par l'ajustement osmotique pour maintenir une activité photosynthétique très importante, à fin d'assurer un niveau de rendement satisfaisant, donc un gain en masse sèche aérienne au niveau de nos jeunes plants.

Parallèlement, des variations comparables sont relevées sur la biomasse sèche souterraine, où les taux de réduction les plus importants ont été relevés au niveau des lots soumis à des niveaux de stress les plus sévères à savoir (20% et 10%), les valeurs sont respectivement de l'ordre de 72,76% et 84,31% par rapport au témoin (75%), (Tableau n°07). Ces faibles taux de réductions de biomasses peuvent être expliqués par l'abaissement des CRE, qui seraient pour une large part dus au phénomène de déshydratation cellulaire. L'une des conséquences majeures de cette dernière est l'accumulation passive des solutés, entre autres sucres solubles (osmorégulation passive), cette accumulation de sucres est le résultat d'une dégradation des réserves amyliques suite à leur conversion rapide en saccharose, fait qui pourrait aussi être attribué à une inhibition de la synthèse de l'amidon, donc à un faible gain de la biomasse aérienne et souterraine.

Des résultats analogues ont été rapportés chez *Pinus radiata* (KAUFMANN, 1977), *Cedrus atlantica* et *Pinus nigra* (AUSSENAC et EL NOUR, 1985), *Pinus ponderosa* (MC MILLIN et WAGNER, 1995), *Quercus robur* et *Fagus sylvatica* (VAN HEES, 1997).

L'allocation de biomasse vers les racines s'est traduite aussi, par des valeurs du rapport longueur de la partie racinaire / hauteur de la partie aérienne, toujours supérieur chez les plants les plus stressés (20% et 10%), les valeurs sont représentées dans le tableau n°08. Cela a été observé chez diverses espèces végétales (MONROY et al., 1988 ; VAN HEES, 1997 ; THOMAS et GAUSLING, 2000 ; ALBOUCHI et al., 2000).

Le développement de la partie racinaire au dépend de la partie aérienne est considéré par plusieurs auteurs comme un critère de résistance à la sécheresse (DAVIDSON, 1969 ; TAYLOR, 1980 ; HAROUNI et al., 1995 ; VAN HEES, 1997). Il permettrait une meilleure utilisation de l'eau disponible qui devient plus accessible (DAVIDSON, 1969 ; BOUZOUBAA, 1995). Ainsi, de nombreux travaux ont montré qu'un pré-conditionnement à la sécheresse appliqué au niveau de la pépinière, favorisait la réussite des reboisements en conditions hydriques sévères, suite au développement préalable du système racinaire des plants à transplanter (RAI, 1982 ; THAKUR et RAI, 1982 ; GREIVE et WALKER, 1983 ; M'HIRIT, 1987 ; VAN DEN DRIESSCHE, 1991).

Contrairement à ce qui est trouvé chez TAZI et al (2003), qui ont montré une diminution de la croissance racinaire des plantules d'arganier soumises à différentes

concentrations de PEG.

Ainsi, MOUGOU (1984) a trouvé des racines d'*accacia sp* à 30 m de profondeur lors du percement du canal de Suez. D'autre part EVENARI in MOUGOU (1984), a signalé que la superficie couverte par un seul spécimen de *Retama retam* est de l'ordre de 40 m². En ce qui concerne l'arganier, son système racinaire couvre une surface qui peut atteindre 67 m² (THIERY, 1987).

Tableau n°06 : Effet des différents niveaux de stress hydrique sur la biomasse sèche aérienne et souterraine par rapport à la biomasse sèche total des jeunes plants d'arganier âgés de 9 mois.

Capacités au champ	75 %	50 %	40 %	30 %	20 %	10 %
BSPA (g)	0.3089	0.3083	0.6101	0.314	0.2047	0.2048
BSPS (g)	1.4653	0.4788	0.5612	0.8158	0.3570	0.2056
(BSPA / BST) . 100 en %	17.16	43.42	52.59	28.29	35.29	43.57
(BSPS / BST) . 100 en %	82.84	56.58	47.41	71.71	64.61	56.43

BSPA : Biomasse sèche de la partie aérienne.

BSPS : Biomasse sèche de la partie souterraine.

BST : Biomasse sèche totale.

Tableau n°07 : Effet des différents niveaux de stress hydrique sur la variation des taux de réduction de la biomasse sèche aérienne et souterraine des jeunes plants d'arganier âgés de 9 mois.

Capacités au champ	50 %	40 %	30 %	20 %	10 %
Taux de réduction en biomasse sèche aérienne (%)	0.21	-97.48	-1.64	33.75	33.71
Taux de réduction en biomasse sèche souterraine (%)	63.48	57.19	37.76	72.76	84.32

Tableau n°08 : Effet des différents niveaux de stress hydrique sur le rapport longueur de la racine sur hauteur de tige des jeunes plants d'arganier âgés de 9 mois

Capacités au champ (%)	75%	50%	40%	30%	20%	10%
longueur racinaire / hauteur tige	2.61	2.10	4.07	3.39	4.39	5.24

Chapitre 4

Observations et mesures des paramètres morphologiques en relation avec la l'essai d'introduction de l'arganier à M'doukel

Dans leurs globalité, la durée et les techniques de semis des jeunes plants d'arganier à M'doukel, ont un effet très hautement significatif pour $P \leq 0.0001$ sur la quasi-totalité des traits morphologiques étudiés, suite à une analyse de la variance à deux facteurs fixes (Annexe n°09 et 11).

1. Observations

1.1. Variation de la hauteur de la partie aérienne

L'essai d'introduction de l'arganier dans sa globalité, a induit une augmentation de la hauteur des jeunes plants d'arganier au cours des 12 mois, avec des valeurs minimales de 4.42 cm, 5.77 cm et 9.60 cm respectivement pour les mois de novembre, décembre et janvier, suivie d'une croissance rapide pour les mois de février, mars, avril et mai avec des valeurs allant de 11.12 à 20.47 cm (Annexe n°10).

Une croissance minimale est enregistrée aux mois de juin, juillet, août et septembre, avec des valeurs comprises entre 24.56cm et 27.67cm.

Le taux de croissance le plus élevé est enregistré au mois d'octobre avec une valeur de 27.67cm (Fig. 24)

En effet, le test de Newman et Keuls à 5% fait ressortir 9 groupes, où effectivement des valeurs de hauteurs les plus élevées sont enregistrées au mois d'octobre, ce dernier est affecté au groupe (A). Par opposition, aux mois de novembre, décembre et janvier où la croissance été réduite, sont affectés respectivement au groupe (I, H et G) (Tableau n°09).

Toutefois, il faut signaler que la hauteur des plants issus du semis direct (pleine terre), possèdent la plus grande hauteur (17.88 cm). Cependant la hauteur la plus faible (17.03cm) est enregistrée au niveau des plants du sachet de polyéthylène (Fig. 24).

En effet, le test de Newman et Keuls à 5%, fait ressortir deux groupes (A) et (B) (Tableau n°10).

1.2. Variation du nombre de feuilles

Concernant le nombre des feuilles, il faut signaler qu'il est en minimum en mois de novembre et décembre, avec des valeurs respectives de 5 et 10 feuilles, suivi d'un nombre plus ou moins important aux mois de février, mars, avril et mai, avec des valeurs comprises entre 21 et 103 feuilles (Annexe n°10). Ce nombre reste constant aux mois de juin, juillet et août, pour augmenter une autre fois aux mois de septembre et octobre, avec des valeurs respectives de l'ordre de 117 et 127 feuilles (Fig. 25).

En effet, le test de Newman et Keuls à 5%, fait ressortir 9 groupes différents, où on note que le nombre de feuilles le plus élevé est relevé au niveau des jeunes plants au mois d'octobre en les affectant au groupe (A), en suite viennent les jeunes plants ayant un nombre de feuilles moins important, entre le mois de novembre et décembre, en les affectant respectivement aux groupes (I) et (H) (Tableau n°09).

Il faut signaler que la technique de semis des jeunes plants d'arganier en sachet de polyéthylène, possèdent le plus faible nombre de feuilles, avec une moyenne de 72 feuilles. Cependant, le nombre le plus élevé est enregistré au niveau des jeunes plants issus du semis direct avec une moyenne de 75 feuilles (Fig. 25).

Toutefois, le test de Newman et Keuls à 5%, fait ressortir pour le nombre de feuilles 2 groupes (A) et (B) (Tableau n°10).

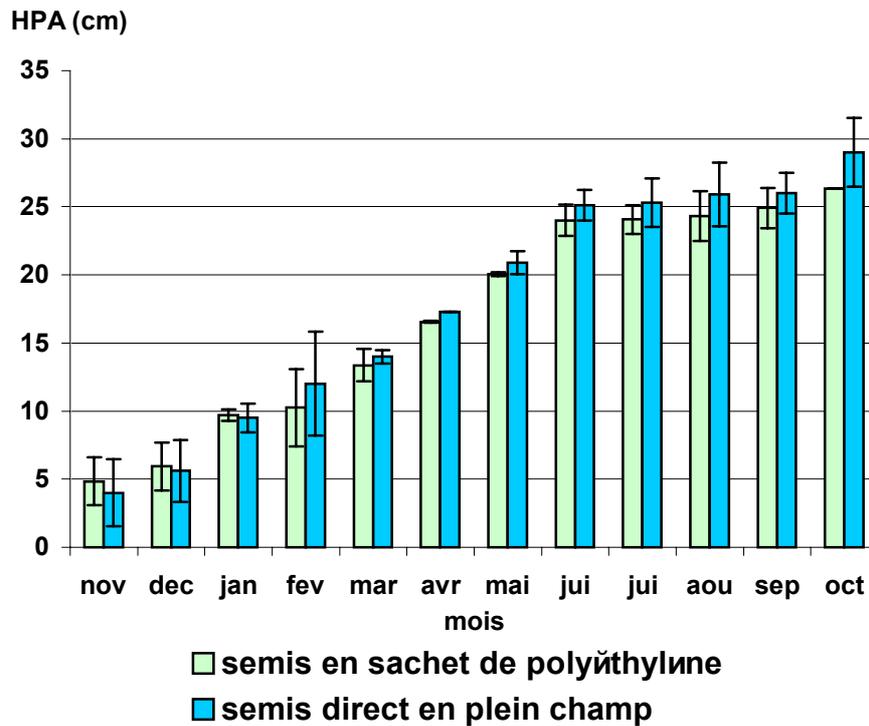


Figure n°24 : Effet du semis direct et le semis en sachet de polyéthylène sur la hauteur des jeunes plants d'arganier âgés d'un an

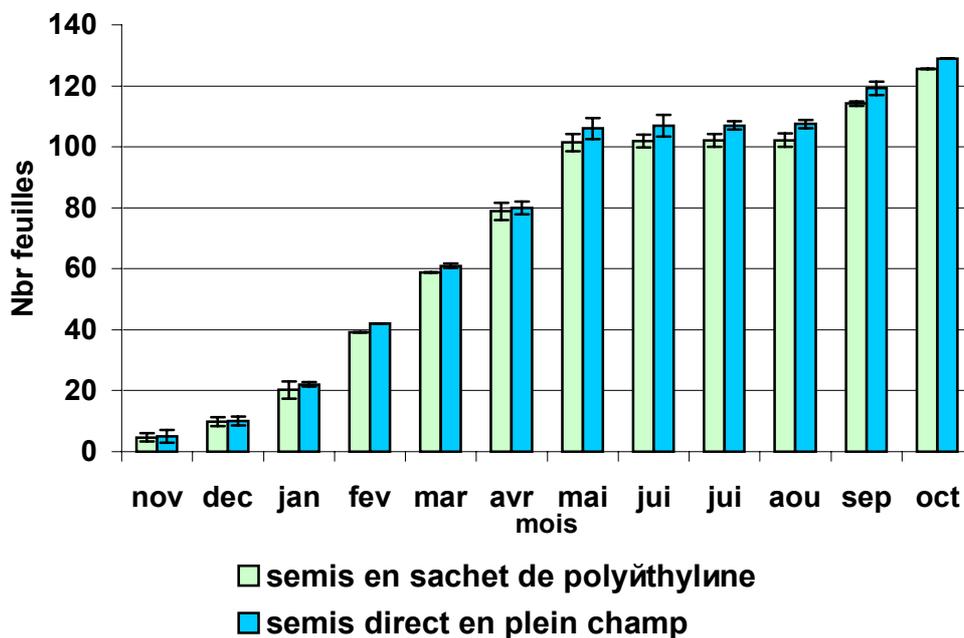


Figure n°25 : Effet du semis direct et le semis en sachet de polyéthylène sur le nombre des feuilles des jeunes plants d'arganier âgés d'un an

1.3. Variation du diamètre au collet

Le facteur mois induit une augmentation notable des diamètres aux collets des jeunes plants d'arganier testés (Fig. 26). Par ailleurs, les diamètres aux collets les plus élevés sont enregistrés au mois d'octobre, avec une valeur de 0.34 cm, on note aussi une croissance radiale importante en septembre et de février à mai, avec des valeurs comprises entre 0.18 et 0.24 cm, puis viennent les jeunes plants ayant une croissance radiale moins importante de juin à août (période estivale), et de novembre à février (période hivernale) (Annexe n°10).

En effet, le test de Newman et Keuls au seuil de 5%, fait ressortir 10 groupes différents (Tableau n°06), dans les quels les jeunes plants au mois d'octobre possèdent la meilleure croissance radiale, affectant celle-ci au group (A). Par opposition avec les jeunes plants ayant une croissance radiale moins importante dans les autres mois en les affectant aux autres groupes ; B, C, D, E, F,G, H, HI et I. (Tableau n°09).

En outre, les diamètres au collet les plus élevés sont notés chez les plants issus du semis direct, avec une valeur moyenne de 0.24 cm. Par opposition, les diamètres au collet les plus faibles, sont enregistrés pour les jeunes plants issus de semis en sachet de polyéthylène, avec une valeur moyenne de 0.23 cm (Fig. 26).

Ces résultats sont vérifiés par le biais du test de Newman et Keuls à 5%, faisons ressortir 2 groupes différents, dans les quels les jeunes plants issus du semis direct possèdent les diamètres au collet les plus élevés, en les affectant au groupe (A). Par opposition, avec les jeunes plants cultivés dans le sachet de polyéthylène en les affectant au groupe (B) (Tableau n°10).

1.4. Variation de la longueur de la partie souterraine

Nous constatons que la longueur de la partie souterraine des jeunes plants d'arganier, développés dans la période novembre, décembre et janvier, possèdent la plus faible longueur racinaire (22.87 cm) (Annexe n°10), ces valeurs représentent la moyenne de 10 plants. Par ailleurs, les longueurs les plus élevées sont constatées dans la période (septembre et octobre), les valeurs sont de l'ordre de 77.07 cm (Fig. 27).

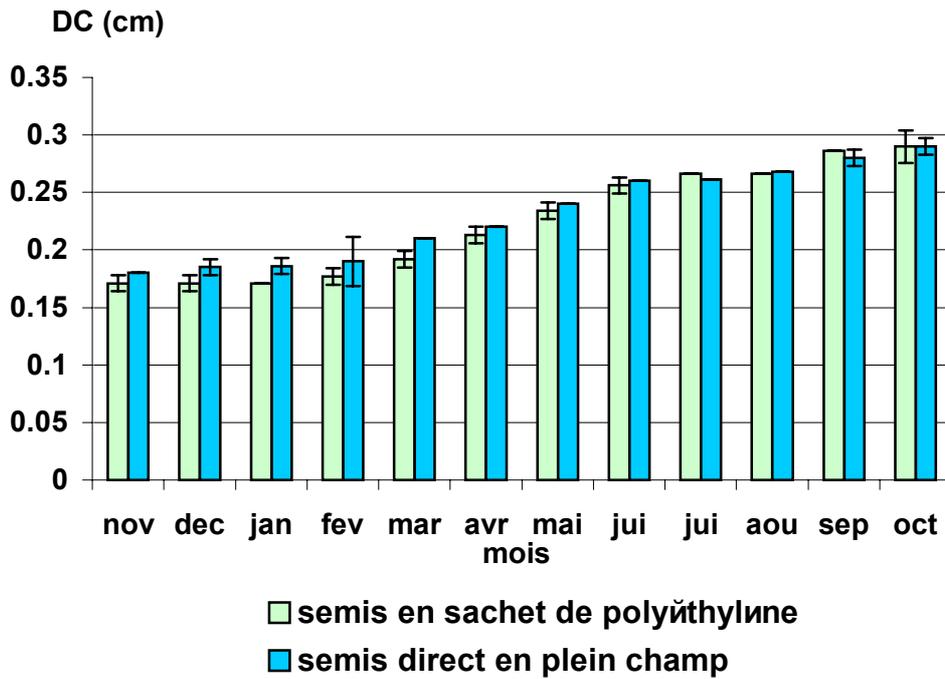


Figure n°26 : Effet du semis direct et le semis en sachet de polyéthylène sur la croissance radiale des jeunes plants d'arganier âgés d'un an

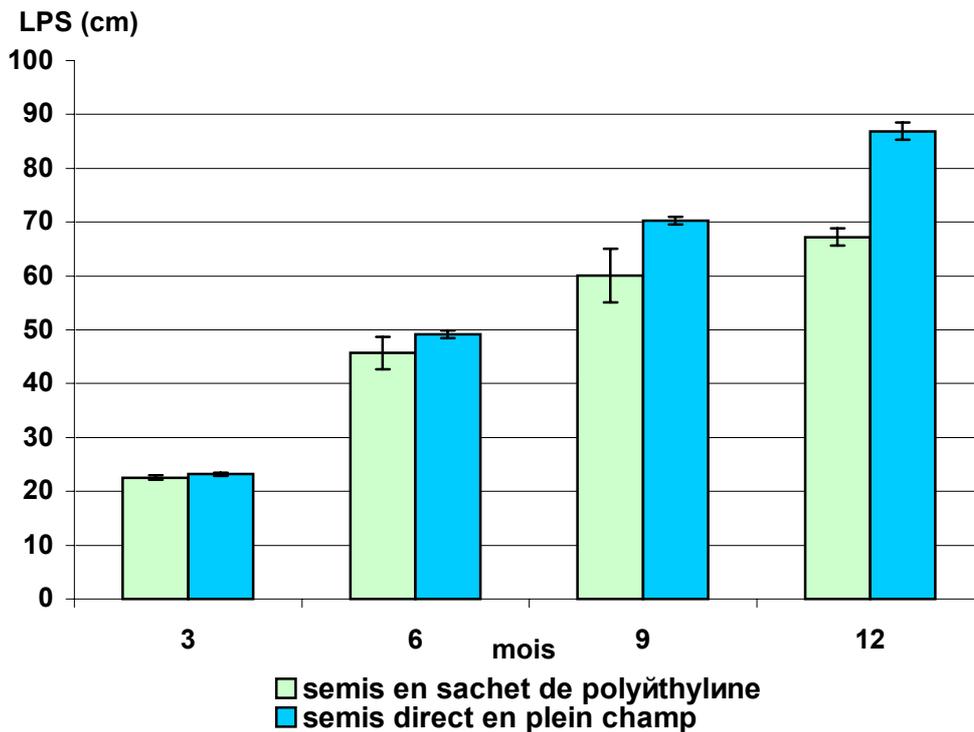


Figure n°27 : Effet du semis direct et le semis en sachet de polyéthylène sur la longueur racinaire des jeunes plants d'arganier âgés d'un an

Le test de Newman et Keuls à 5%, fait ressortir 4 groupes différents (Tableau n°11).

Il faut signaler que la longueur de la partie souterraine des jeunes plants issus du semis en sachet de polyéthylène, possèdent la plus faible longueur de la partie souterraine, avec des valeurs moyennes de 48.89 cm. Cependant, la longueur la plus élevée est enregistrée au niveau des jeunes plants issus du semis en pleine terre avec des valeurs moyennes de 57.40 cm (Figure n°27).

En effet, le test de Newman et Keuls à 5%, fait ressortir 2 groupes (A) et (B) (Tableau n°12).

D'après L'analyse statistique et l'analyse des figures 24, 25, 26 et 27, nous notons 4 périodes de croissance concernant les jeunes plants semis dans les sachets de polyéthylène et en pleine terre :

- Une période hivernale : de Novembre à fin Janvier à croissance aérienne très faible, chez les plants semis dans le sachet de polyéthylène et en plein terre.
- Une période printanière : à forte croissance aérienne et racinaire en Février, Mars, Avril et Mai.
- Une période estivale : à faible croissance aérienne et radiale en Juin et presque nulle en Juillet et Août (figure 24, 25 et 26), nous notons que les plants dans le sachet de polyéthylène et en plein terre en déjà développé un système racinaire profond (figure n°27).
- Une période automnale : à croissance aérienne, nombre des feuilles, croissance radiale et croissance racinaire importantes en Septembre et Octobre.

2. Discussion

Cette étude met en évidence le rôle limitant qu'exerce la température (saison), sur la reprise des jeunes plants d'arganier ; dans la région de M'doukel. L'étude des rythmes de croissance a permis de mettre en évidence une période hivernale à croissance très faible, cela peut être due à l'effet des basses températures au niveau du sol, qui ont une influence sur la croissance de la partie racinaire est aérienne. Ceci a été démontré par des études faites dans la région d'Alger ; l'étude des rythmes de croissance du pin d'Alep (ABED, 1982) a mis en évidence une période hivernale à faible croissance, du fait des températures favorable à l'activité racinaire (température moyenne $> 10^{\circ}\text{C}$ à la surface du sol). Par contre dans la région de Djelfa, l'étude des rythmes de croissance faite par

CHABA (1991), a permis de mettre en évidence une période hivernale à croissance nul du fait des basses température à la surface du sol.

En été, c'est l'insuffisance de la disponibilité en eau qui limite la croissance des racines.

Le taux de reprise peut être amélioré en septembre et novembre, grâce à un apport supplémentaire d'eau. Il est probable qu'en agissant de la sorte, l'état hydrique et l'activité photosynthétique des plants se détériorent moins vite, en attendant l'élévation des températures du sol. En Avril, la croissance de la partie aérienne (hauteur, nombre de feuilles, diamètre au collet) et racinaire augmenteront, ce qui permettra une bonne installation du plants.

En outre, le volume du sachet a un effet sur la croissance initial des plants pendant les premiers mois, ainsi, la profondeur influe sur la morphologie du système racinaire ; le pivot qui dépasse 40 cm de long en 6 mois commence à s'enrouler.

Des résultats meilleurs que ceux obtenus par le semis en sachet de polyéthylène sont relevés sur le semis direct, ce dernier évite les déformations racinaires. Les mêmes résultats sont obtenus par (MOKHTARI, 2002), qui a travaillé sur le développement racinaire des jeunes plants d'arganier et le rôle de l'habillage qui est essentielle dans la reprise des jeunes plants après transplantation.

Des résultats analogues sont obtenus par CHABA (1991), qui a travaillé sur la morphogénèse racinaire et rythmes de croissance du pistachier de l'Atlas, il a montré effectivement qu'il y'a des enroulements au niveau du système racinaire des jeunes plants âgés de 5 mois.

Contrairement a nos résultats, il a montré aussi, que le sachet de polyéthylène n'a aucun effet sur la levée et la croissance initiale de la partie aérienne des jeunes plants du pistachier de l'Atlas, pendant les premiers mois.

Pour régénérer l'arganier, il est possible d'utiliser soit le semis direct, soit des plants dont la durée de passage en pépinière ne doit sans doute pas excéder 6 mois, car la régénération des pivots suite à un traumatisme est en général meilleure sur les plants jeunes. Ceci a été vérifié par PODA (1976) sur des chênes de 2 et 3 ans et par OULD GACEM (1989) sur des pins maritimes de 2 ans.

Pour les deux techniques, il est nécessaire de tenir compte des conditions pédoclimatiques (température du sol supérieure à 15°C, humidité suffisante, sol-sablo-

argileux travaillé) ; une mise en défens stricte est indispensable.

Conclusion générale

Compte tenu de ses caractéristiques botaniques, physiologiques et écologiques d'une part, et de son intérêt économique (huile, fourrage, bois) d'autre part, l'arganier est incontestablement un arbre d'avenir en zones arides et semi-arides. Nous avons tenté d'étudier le comportement de cette espèce en condition de stress hydrique, et dégager d'éventuels critères morpho-physiologiques d'évaluations du degré de tolérance de cette espèce au contrainte hydrique pour l'essai d'introduction de cette dernière dans la région de M'doukel.

Concernant la germination des graines d'arganier ; au laboratoire, on a obtenu un taux de germination de 45% à 30°C en utilisant des graines scarifiées mécaniquement et 28% à 25°C, ces taux sont beaucoup plus faibles dans le cas où les graines sont non scarifiées. Cette différence dans les taux de germination peut être due à la température qui influe directement sur la germination d'une part, et d'autres part à la coque du noyau d'arganier, celle-ci peut être rompu par simple scarification.

A M'doukel, le taux de germination été très faible. Ce faible taux de germination est peut être due à la température du sol (< 30°C), l'effet combiné de la non viabilité et la dormance des semences, la fonte de semis en pré – émergence et en post – émergence, la qualité des graines et enfin au génotype de l'arbre.

L'effet du stress hydrique été très hautement significatif sur la quasi-totalité des traits physiologiques. Nos résultats montrent que les jeunes plants d'arganier sont apte à garder un contenu relatif en eau élevé au niveau des pots ayants des capacités au champ allant de 75% à 30%, contrairement aux jeunes plants subissant des niveaux de stress hydrique de 20% et 10% qui possèdent des CRE faibles. Il semble donc que nos jeunes plants subissant des niveaux de stress hydrique de 30% et 40% possèdent l'aptitude à l'osmorégulation par accumulation active des solutés, par contre chez les plants stressés 20% et 10% cette diminution dans le CRE est expliqué par le phénomène de déshydratation, donc à une perte de turgescence (accumulation passive de solutés).

De même, pour les conditions les plus déficitaires (20% et 10%), nous notons une augmentation des sucres solubles, celle-ci peut être attribuée à une dégradation des réserves amylicées ou peut être à une inhibition de la synthèse de l'amidon.

L'accumulation de la proline dans les mêmes conditions déficitaires serait le

résultat d'une protéolyse membranaire, effectivement des corrélations négatives très hautement significatives ont été révélées suite à la matrice des corrélations entre l'accumulation de la proline et le pourcentage d'intégrité cellulaire, appuyant l'idée que l'une des causes de l'accumulation de cet osmolyte est une diminution du PIC.

Quant à la transpiration, nous avons noté une diminution qui devient de plus en plus importante pour des niveaux de stress hydrique sévère pour s'annuler au niveau du stress le plus sévère (10%). Ceci était corollaire d'un abaissement du CRE pour atteindre des valeurs minimales pour les stress les plus accentués.

Concernant l'efficacité de l'utilisation de l'eau par les jeunes plants d'arganier testés, on a noté que pour les niveaux de stress modéré (30% et 40%), l'EUE augmente, ceci serait due au fait que l'EUE est favorablement médiatisée par l'ajustement osmotique, suggérons donc, que plus il y'a des sucres solubles accumulés d'une manière active, plus l'EUE augmente. Par contre, les jeunes plants subissant les stress les plus sévères (20% et 10%), l'EUE été faible suite à une déshydratation des tissus (accumulation passive de solutés).

Pour l'ensemble des résultats concernant les paramètres morphologiques, l'effet niveau de stress hydrique été très hautement significatif pour toutes les variables analysées. En effet, Nous avons constaté, que le meilleur résultat obtenu sur la croissance en hauteur, croissance en diamètre au collet et augmentation du nombre des feuilles est noté chez les plants subissant des niveaux de stress hydrique de l'ordre de 40% et 30%, ceci corrobore les résultats physiologiques obtenus précédemment. Par contre, l'application d'un stress hydrique sévère (10% et 20%) induit chez cette espèce une réduction de la hauteur de la tige, diminution du nombre des feuilles, réduction de la croissance radiale, réduction de la biomasse et augmentation de la longueur de la partie racinaire.

On a noté aussi, qu'il y'a un gain de biomasse aérienne au niveau des plants soumis à un stress de 30% et 40%, contrairement aux plants qui ont subis des stress plus sévères (20% et 10%). Cela peut être due à l'amélioration de l'EUE qui est favorablement médiatisée par l'ajustement osmotique pour maintenir une activité photosynthétique optimale, afin d'assurer un gain en masse sèche aérienne au niveau de nos jeunes plants testés.

En effet, nous avons noté une augmentation de la longueur de la partie souterraine

au dépend de la partie aérienne chez les plants subissant des stress hydriques sévères (20% et 10%), ceci peut être expliqué comme étant un critère de résistance à la sécheresse, il permettrait une meilleure utilisation de l'eau disponible qui devient plus accessible en développant leur système racinaire.

Toutefois, un suivi au champ de la survie et de la croissance des plants a été effectué pour des jeunes plants cultivés dans des sachets de polyéthylène et en pleine terre, pour confirmer quand peut faire l'introduction de cette espèce à M'doukel. Par ailleurs, nous avons noté que la technique utilisée dans le semis des graines de cette espèce, a un effet très hautement significatif sur la variation des paramètres morphologiques.

En effet, nous avons remarqué que les jeunes plants cultivées en sachet de polyéthylène manifestent un enroulement au niveau du système racinaire, contrairement aux plants issus du semis en pleine terre où on note une meilleure croissance. Il est possible donc d'utiliser soit le semis direct, soit des plants en sachet de polyéthylène, mais ces derniers ne doivent en aucun cas excéder 6 mois. Pour les deux techniques il faudrait tenir compte des conditions pédoclimatiques et une mise en défens après reboisement est indispensable.

Concernant les variations notées sur les paramètres liés au phénomène de croissance, on a enregistré le dégagement de quatre périodes de croissance ; Une période automnale, où la croissance est relativement importante à cause de la disponibilité de l'eau, une deuxième période hivernale à croissance très faible due aux basses températures au niveau du sol. Une troisième période printanière caractérisée par une croissance maximale des jeunes plants à cause des conditions du milieu (température très favorable et disponibilité de l'eau), et une période estivale caractérisée par une croissance très faible due à l'insuffisance de la disponibilité de l'eau qui limite la croissance des racines.

En fin, nous avons constaté que l'arganier manifeste effectivement des traits d'adaptation morpho - physiologiques en conditions déficitaires, avec un bon comportement aux conditions pédoclimatiques du site de M'doukel, donc une possibilité d'introduction de l'arganier dans cette zone.

Dans le cadre d'un travail futur, il serait souhaitable :

- D'expérimenter des techniques d'élevage pour obtenir une meilleur reprise de l'arganier, à partir de semis de graines ou par multiplication végétative. Une attention particulière devra être porté à la croissance et à l'architecture du système racinaire.
- De travailler sur une collection plus importante de génotype d'arganier, et qui pourrait porter sur l'analyse physiologique de la réponse à la sécheresse et ceci par l'analyse fine des relations hydriques.
- La mise au point de techniques de mycorhization des jeunes plants, pour procurer des avantages au niveau de la nutrition, de l'alimentation en eau, de la résistance au stress hydrique et aux agents pathogènes.

Au-delà, si l'on veut faire de l'arganier, espèce sauvage, une espèce cultivée valorisant au mieux les potentialités de l'arbre, il est nécessaire d'approfondir les recherches fondamentales dans de nombreux domaines :

- Etude de la physiologie et de la phénologie de l'arganier, en évaluant la part des déterminismes génétique et écologique.
- Amélioration génétique de l'arganier, en vue d'une production d'arbres sélectionnés sur différents critères selon les caractéristiques climatiques. La production de fruits, qui varie beaucoup d'un arbre à l'autre, serait bien évidemment un des principaux critères, mais on peut également envisager une sélection sur la vitesse de croissance du système racinaire, ce qui permettrait aux jeunes plants d'atteindre rapidement les couches profondes du sol et ainsi de dépendre moins des précipitations pour leur croissance, voir leur survie.
- De nombreuses études ont montré l'intérêt de l'huile d'argan, sa valeur alimentaire, ainsi que son intérêt dans l'industrie pharmaceutique et cosmétique. La recherche dans ce domaine doit s'orienter vers la récolte des fruits, l'extraction de l'huile par des procédés perfectionnés, le conditionnement et la conservation de l'amande pour éviter l'acidité et le rancissement de l'huile.

Références bibliographiques

- **ABED. (1982).** Etude des rythmes de croissance du pin d'Alep dans les conditions climatiques d'Alger. Mémoire d'ingénieur. I.N.A, 60p.
- **AIT RADI. (1979).** Multiplication par voie végétative et par semis de *Pistacia atlantica* Desf. et *Ailanthus altissima*. Mémoire d'ingénieur INA, 40 p.
- **ALARCON J.J., SANCHEZ-BLANCO M.J, BOLARIN M.C et TORRECILLAS A. (1993).** Water relations and osmotic adjustment in *Lycopersicon esculentum* and *Lycopersicon pennellii* during short-term salt exposure and recovery. *Plant Physiol*, **89**, 441-447.
- **ALBOUCHI A., BEJAOUI Z. et EL AOUNI M. H. (2003).** Influence d'un stress hydrique modéré ou sévère sur la croissance de jeunes plants de *Casuarina glauca* Sib. *Sécheresse*. Vol. (14), Numéro 3, 137 – 42.
- **ALBOUCHI A., SEBEÏ H., MEZNI M. Y. et EL AOUNI M. H. (2000).** Influence de la durée d'une alimentation hydrique déficiente sur la production de biomasse, la surface transpirante et la densité stomatique d'*Acacia cyanophylla*. *Annales de l'INRGREF*, **4**, 138 – 61.
- **ALOUAN M. et BANI-AAMEUR F. (1998).** Limitations actuelles de la production et de la transplantation des plants d'arganier. Colloque international sur les ressources végétales : L'arganier et les plantes des zones arides et semi-arides. Faculté des sciences d'Agadir (Maroc), 110 - 111.
- **ANDRE M. and DUCLOUX H. (1993).** Interaction of CO₂ enrichment and water limitations on photosynthesis and water efficiency in wheat. *Plant Physiol. Biochem.*, **31(1)**, 103 – 112.
- **ARAUS J. L., ALEGRE L., TAPIA L and CALAFELLA R. (1986).** Relationship between leaf structure and gas exchange in wheat leaves at different insertion levels. *Journ. Exp. Bot.*, Vol (17), N° 182, Pp 1323-1333.
- **ARIF A. (1994).** Effect of seedling depth on emergence of *Argania spinosa* (L.). *Al awamia*, 87, 149 – 153.
- **ARNOTT J. T, GROSSNICKLE S. C., PUTTONEN P., MITCHELL A. K. et FOLK R. S. (1993).** Influence of nursery culture on growth, cold hardiness, and drought resistance of yellow cypress. *Can. J For Res*, **23**, 2537 – 47.
- **ASHIMA S. G. and BERKOWITZ G.A. (1987).** Osmotic adjustment, symplast volume, and non stomatally mediated water stress inhibition of photosynthesis in wheat.

Plant Physiol. **85**, 1040-1047.

- **AUBERT G. (1978)**. Méthodes d'analyse du sol. Editions CRDPM, Pp 191.

- **AUSSENAC G. et ELNOUR M. (1985)**. Utilisation des contraintes hydriques pour le préconditionnement des plants avant plantation ; première observation pour le cèdre et le pin noir. *Rev. For Fr.* ; **37**, 371 – 6.

- **AUSSENAC G. et FRINKELSTEIN D. (1983)**. Influence de la sécheresse sur la croissance et la photosynthèse du cèdre. *Ann. Sci. For.*, **40 (1)**. I.N.R.A., Nancy, Pp 67-76.

- **AUSSENAC G. et LEVY G. (1983)**. Influence du dessèchement du sol sur le comportement hydrique et la croissance du chêne pédonculé (*Quercus pedunculata* Ehrl.) et du frêne (*Fraxinus excelsior* L.) cultivés en cases de végétation. *Ann. Sci. For.*, **40 (3)**. I.N.R.A., Nancy, Pp 251 – 264.

- **AUSSENAC G. et GRANIER A. (1978)**. Quelques résultats de cinétique journalière du potentiel de sève chez les arbres forestiers. *Ann. Sci. Forest.*, **35**, Pp 19 – 32.

- **AYAD A. (1989)**. Présentation générale de l'arganeraie. In : formation forestière continue, Thème « l'arganier » Station de Recherche Forestière, Rabat, 13 - 17 Mars 1989, 9 - 18.

- **BAIOU B. (2000)**. Essai de multiplication générative et transplantation des plants d'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) dans le plateau de Mostaganem. Thèse d'ingénieur d'état en agronomie. Univ de Mostaganem, 77p.

- **BÁLO B., VARGA I., VÁRADI G. and MISIK S. (1995)**. Drought damage in vineyards. INRA, Inter drought, VIII-27.

- **BAMMOUN A. (1997)**. Contribution à l'étude de quelques caractères morpho-physiologiques, biochimiques et moléculaires chez des variétés de blé dur, *Triticum turgidum* esp. *durum*, pour l'étude de la tolérance à la sécheresse dans la région des hauts plateaux de l'ouest Algérien. Thèse de Magistère, Pp 1-33.

- **BANI-AAMEUR F. et ALOUANI M. (1999)**. Viabilité et dormance des semences d'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels). Laboratoire de recherche sur la variabilité génétique. Uni Ibn Zohr, Agadir, 75 – 86.

- **BANI-AAMEUR F., LOUALI L et DUPUIS P. (1998)**. Maturation et chute des fruits de l'arganier. Actes de l'institut agronomique et vétérinaire Hassan II, **18 (3)**, 137 – 144.

- **BARUTÇULAR G., GENÇ I. and KOÇ M. (2000)**. Photosynthetic water use efficiency of old and modern durum wheat genotypes from southeastern Anatolia, Turkey. Option Méditerranéennes N°40, 233 – 238.

- **BELHASSEN E., THIS D et MONNEVEUX P. (1995)**. L'adaptation génétique face aux contraintes de la sécheresse. Cahiers Agricultures, **4**, 251-261.

- **BELLINGER Y. and LARHER F. (1987).** Proline accumulation in higher plants: a redox buffer ?. *Plant Physiology (Life Sci. Adv.)*, **6**, 23-27.
- **BEN NACEUR M. (1994).** Contribution à l'évaluation du degré de résistance aux contraintes hydriques (sécheresse et excès d'eau) chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) et la fétuque (*Festuca arundinacea* Schreb.). Thèse de doctorat d'état, 1 – 13.
- **BEN SALEM M et VIERA DA SILVA J. P. (1991).** Polymorphisme variétal de résistance à la sécheresse chez les céréales à paille. In L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELF-UREF, 25 – 34.
- **BENARADJ A. (1999).** Contribution à l'étude de la germination et de la multiplication *in vitro* de l'arganier (*Argania spinosa* (L) skeels). Mémoire d'Ingénieur d'état, I.N.F.S.A, Mostaganem, 91 p.
- **BENNADJI Z. (1989).** Influence du stress hydrique sur la croissance racinaire du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) au stade de semis. Etude comparative de provenances algériennes. Thèse de doctorat en sciences agronomiques de Gembloux.
- **BENSAID S. (1991).** Germination au laboratoire en conditions naturelles et croissance en minirhizotron de *Acacia raddiana savi*. Physiologie des arbres et arbustes des zones arides et semi-arides – Paris, 405 – 412.
- **BERGMANN H., LEINHOS V., MACHELETT B. and SCHÖNBECK F. (1995).** Amino alcohols as tools to improve stress tolerance. INRA, Inter drought, **VIII-26**.
- **BERRIE A. M. M. (1985).** Germination and dormancy. In : WILKIINS M. B. (ed.), *Advanced plant physiology*. Pitman Ltd. MELBOURNE, Pp 440 – 468.
- **BLAKE T.J., BEVILACQUA and ZWIAZEK J.J. (1991).** Effects of repeated stress on turgor pressure and cell elasticity changes in black spruce seedlings. *Can. J. For. Res.*, **21**, 1329-1333.
- **BLUM A. (1989).** Breeding methods for drought resistance. In « Plant under stress » JONES, H.G., FLOWRES, T.J.and JONES, M.B. Eds. Cambridge University Press, Cambridge, p 197-215.
- **BLUM A. (1989).** Osmotic adjustment and growth of Barley genotypes under drought stress. *Crop Sci.*, **29**, 230-233.
- **BLUM A. et EBERCON A. (1981).** Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. *Crop. Sci.*, **21**, 43 – 47.
- **BOUAOUINA S., ZID E et HAJJI M. (2000).** Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L.). Option Méditerranéennes N°40, 239-243.
- **BOUDERSA K. (1998).** Effets de la salinité sur la morphogénèse du chêne liège (*Quecus suber* L.). Thèse d'Ingénieur d'Etat en Ecologie et Environnement : Système forestiers, 18 – 20.

- **BOUDY P. (1950).** Economie forestière nord-africaine. Tome II. Monographie et traitement des essences forestières. Ed. Larose, Paris, 382 – 416.
- **BOUDY P. (1952).** Guide forestier en Afrique du Nord. La maison rustique, Paris, 505 p.
- **BOUSBA R. (2001).** Effets d'une contrainte abiotique (stress hydrique) sur la plante et les composants de la graine de *Vicia faba* L. (*Leguminosae*). Thèse de magister : Les bases biologiques de la production végétale, 43 – 44.
- **BOUZOUBAA Z. (1995).** Effet du sol sur la germination de l'arganier (*Argania spinosa* (L) Skeels). Actes du colloque international « la forêt face à la désertification », cas des arganeraies, Uni Ibnou Zohr Agadir, 100 – 3.
- **BRINIS L. (1995).** Effet du stress hydrique sur quelques mécanismes morpho-physiologiques et biochimiques de traits d'adaptations et déterminisme génétique chez le blé dur (*T. durum* Desf.). Thèse de Doctorat D'état en Sciences, 156 pp.
- **CABEZA C., KIN A and LEDENT J. F. (1995).** Effect of irrigation and tiller removal on development and yield of the main shoot in two wheat cultivars. INRA, Inter drought, VIII-29.
- **CARCELLER J. (1995).** Proline and the export of N compounds from senescing leaves of Maize under water stress. INRA, Inter drought, VI-5.
- **CASTRILLO M., FERNANDEZ D., CALCAGNOA M., GARCIA P., TRUJILLO I., KAZANDJAN A., FERNANDEZ P and BELLATRIX M. (1995).** Effect of water deficit on plant metabolism in Maize, Tomato and Bean. INRA, Inter drought, VI-6.
- **CAVANAGH A.K. (1980).** Some aspects of the history of seed coat treatments applied to acacias. Bull. Groupe international Etude Mimosoideae, 8, 30 – 36.
- **CHABA B. (1991).** Rythmes de croissance et reprise de jeunes pins d'Alep en zone semi-aride (Djelfa). In : Physiologie des arbres et arbustes des zones arides et semi-arides, groupe d'étude de l'arbre – Paris, 447 – 451.
- **CHABA B., CHRAA O et KHICHANE M. (1991).** Germination, morphogénèse racinaire et rythmes de croissance du Pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.). Pp, 465 – 472.
- **CHAKRABORTY U., DUTTA S and CHAKRABORTY B. N. (2002).** Response of tea plants to water stress. *Biologia Plantarum* 45 (4), 557 – 562.
- **CHANDRA A., PATHAK P. S., BHATT R. K. et DUBEY A. (2004).** Variation in drought tolerance of different *Stylosanthes* accessions. *Biologia Plantarum* 48 (3), 457-460.

- **CHARTZOULAKIS K. (1999)**. Changes in water relations, photosynthesis and leaf anatomy induced by intermittent drought in two olive cultivars. Uni of Aristotle. Greece. *Environmental and Experimental Botany*, **42**, Pp 113 – 120.
- **CHORFI A. (1992)**. Réactions physiologiques de *Hordeum vulgare* L. cv Keys au chlorure de sodium en relation avec l'excès ionique. Thèse de doctorat, Gembloux, Faculté des sciences agronomiques, 116p.
- **CHUNYANG L et KAIYUN W. (2003)**. Differences in drought responses of three contrasting *Eucalyptus microtheca* F. Muell. populations. Uni of Helsinki. Finland. *Forest Ecology and Management*, **179**, Pp 377 – 385.
- **CHUNYANG L. (1998)**. Some aspects of leaf water relations in four provenances of *Eucalyptus microtheca* seedlings. *Forest Ecology and Management* **111**, 303 – 308.
- **CIMPOROVA M et LUXOVA M. (1976)**. The effect of polyethylene glycol-induced water stress on the maize root apex. *Biol. Plant.* **18 (3)**, 173-178.
- **CLAUSSEN W. (2005)**. Proline as a measure of stress in tomato plants. *Plant Science* **168**, 241 – 248.
- **CLIFFORD S.C., KARNDT S., CORLETT J.E., JOCHI S., SANKHLA N., POPP M. and HAMLIN G.J. (1998)**. The role of solute accumulation, osmotic adjustment and changes in cell wall elasticity in drought tolerance in *Ziziphus mauritiana* (Lamk.). *Journal of Experimental Botany*, **Vol.49, N°323**, Pp.967 – 977.
- **CORTES P.M. and SINCLAIR T.R. (1987)**. Osmotic potential and starch accumulation in leaves of field-grown soybean. *Published in Crop Sci.*, **27**, 80-84.
- **CRUIZIAT P. (1991)**. L'eau et les cultures. In : Techniques agricoles. Fasc. **1165**, 30 – 31.
- **CRUIZIAT P. (1995)**. La circulation de l'eau dans les plantes. INRA. *PHM Revue horticole* **363**, 17 – 23.
- **DASSA-GIRARD M. (1987)**. Etude comparée des activités phosphatases acides et des paramètres hydriques foliaires de cultivars de mil (*Pennisetum americanum* L.) soumis à des contraintes hydrique. Thèse de doctorat d'état. Univ. De Paris 7.
- **DAVIDSON R. L. (1969)**. Effects of soil nutrients and moisture on root/shoot ratios in *Lolium perenne* L. and *Trifolium repens* L. *Ann. Bot.*, **33**, 571 – 7.
- **DE PONTEVES E., BOURBOUZE A., NARJISSE H. (1990)**. Occupation de l'espace, droit coutumier et législation forestière dans l'arganeraie marocaine. Cahiers de la Recherche – Développement, **26**, 28 – 43.

- **DEBAEKE P., CASALS M.L. et PUECH J. (1996).** Elaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique.1. Etude en lysimètres. *Agronomie* **16**, 3 – 23.
- **DENDEN M. et LENEUR R. (1999).** Mesure de la transpiration par le model de Penman-Monteith. *Sécheresse*, **10 (1)**, 39 – 44.
- **DIB T.A., MONNEVEUX P et ARAUS J.L. (1992).** Adaptation à la sécheresse et notion d'ideotype chez le blé dur. II : caractères physiologiques d'adaptation. Elsevier, INRA, *Agronomie*, **12**, 381-393.
- **DIOFASI L., IJJASZ I and BALO B. (1995).** The effect of drought, on the free amino acid content of the wine of Umbrella-Shaped Italian Riesling Vine-Stocks. INRA, Inter drought, **VIII-33**.
- **DREIR W et GORING M. (1974).** Der einfluss boher. Salzkonzentrationen auf physiologische parameter von aismurzelu. *Wiss. Der H. V. Berlin, Nath. Naturwiss*, **23**, 641 – 646.
- **DUBOIS M., GILLESK L., HAMILTON J.K., REBERG P. A. et SMITH F. (1956).** Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*. **Vol 28, n°3**.
- **EL ABOUDI A. (1990).** Typologie des arganeraies inframéditerranéennes et éco-physiologie de l'arganier (*Argania spinosa (L.) skeels*) dans le Souss (Maroc). Thèse de doctorat, Univ. Joseph Fourier, 133 p., Grenoble I.
- **EL ABOUDI A. (1991).** Régime hydrique de l'arganier (*Argania spinosa (L.) Skeels*) dans le Souss (Maroc). In : Groupes des laboratopires d'écologie végétale, Univ Joseph Fourier. Greneble 1, B. P 53 X, 389 – 401.
- **EL JAAFARI S. (1993).** Contribution à l'étude des mécanismes biophysiques et biochimiques de la résistance à la sécheresse chez le blé (*Triticum aestivum L.*). Thèse de doctorat d'état, 3 – 34.
- **EL JAAFARI S. (2000).** Durum wheat breeding for abiotic stresses resistance : Defining physiological traits and criteria. *Option méditerranéenne*, **N°40**, 251 – 256.
- **EL MAZZOUDI H et ERRAFIA M. (1977).** Contribution à l'étude de la germination des noyaux d'argan (*Argania Spinosa (L)*) par des prétraitements chimiques. *Ann. Rech. For. du Maroc*, **17**, 59-66.
- **EL YOUSSEFI S. M. (1988).** La dégradation forestière dans de sud marocain : Exemple de l'arganeraie d'Admine (Souss) entre 1969, 1986. *Formation Forestière Continue*, thème « l'arganier ». Station de Recherche Forestière, Rabat, 13-17 mars, 102-107.
- **EMBERGER L. (1924).** A propos de la distribution géographique de l'arganier. *Bull. Sté Sciences nat. Et phys. du Maroc*, **4**, 151 – 153.

- **EMBERGER L. (1925)**. Le domaine naturel de l'arganier. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, **72**, 770 - 774.
- **ERCHIDI A.E., BENBELLA M. et TALOUIZTE A. (2000)**. Relation entre certains paramètres contrôlant les pertes en eau et le rendement en grains chez neuf variétés de blé dur soumises au stress hydrique. *Option méditerranéenne*, N°40, 279-282.
- **EZZAHIRI M et BELGHAZI B. (2000)**. Synthèse de quelques résultats sur la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas au Moyen Atlas (Maroc). *Sécheresse*. Vol **11**. N°2, 79 - 84.
- **FERRADOUS A. (1995)**. Diversité génétique de quelques caractères morphologiques et de la graine d'arganier (*Argania spinosa* (L) Skeels). Thèse de 3^{ème} cycle, Université Ibnou Zohr.. Agadir, 180 p.
- **FERRADOUS A., BANI-AAMEUR F et DUPUIS P. (1994)**. Caractérisation de la diversité génétique du fruit et de la graine de l'arganier *Argania spinosa* (L) Skeels. Séminaire National « Ressources Phytogénétiques et Développement Durable ». IAV. Hassan II, Rabat, 24-26 Octobre 1994. (Abstract).
- **FERRADOUS A., BANI-AAMEUR F et DUPUIS P. (1996)**. Climat stationnel, phénologie et fructification de l'arganier. Actes de l'institut agronomique et vétérinaire Hassan II, **17 (1)**, 51- 60.
- **FERRADOUS A., BANI-AAMEUR F et DUPUIS P. (1997)**. Diversité génétique du fruit et de la graine de l'arganier. In: BIROUK, A. et REJDALI, M, Ressources phytogénétiques et développement durable. Actes Edition, Rabat, P 310 - 324.
- **FISCHER R.A. et TURNER N.C. (1978)**. Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **29**, 277 - 317.
- **FLAVIA N.I., MILONE M.T., QUARTACCI M.K. and PINZINO C. (1993)**. *Elsevier Sci. Pub. Ireland LTD*, 151-157.
- **FLORES H.E., GALSTON, et GALSTON AW. (1984b)**. Osmotic stress-induced polyamine accumulation in cereal leaves. II- Relation to amino acid pools. *Plant Physiol.* **75**, 110 - 113.
- **FLORES H.E., GALSTON, et GALSTON AW. (1984a)**. Osmotic stress-induced polyamine accumulation in cereal leaves. I- Physiological parameters of the response. *Plant Physiol.* **75**, 102 - 109.
- **FRASER T.E., SILK W.K et ROST T.L. (1990)**. Effect of low water potentiel on cortical cell length in growing region of maize roots. *Plant. Physiol.* **9**, 648 - 651.

- **GALAUD J.P., DAUMAS F., CARRASCO A., CARRIERE M., CANUT H. and PONT-LEZICA R. (1995).** Biochemical and molecular events in ARABIDOPSIS cells under osmoticum treatment. INRA, Inter drought, **IV-2**.

- **GALES K. (1979).** Effect of water supply on partitioning of dry matter between roots and shoots in *Lolium perenne*. *J App Ecol*, **16**, 863 – 77.

- **GALIBA G., ZOLTÁN N., SIMON-SARKADI L., JOZSEF S et LÁSZLO E. (1995).** Differential adaptation to non-ionic and ionic osmotic conditions in wheat. INRA, Inter drought, **VI-8**.

- **GATE Ph. (1995).** Ecophysiologie du blé. ISBN 2 – 7430 – 0046 – 5. Ed Tec et Doc Lavoisier, 429 p.

- **GEIGENBERGER P., REIMHOLZ R., GEIGER M., MERLO L., CANALE V. and STITT M. (1997).** Regulation of sucrose and starch metabolism in potato tubers in response to short-term water deficit. *Planta* , **201**, 502-518.

- **GHRTI-CHHERTI G.B et LALES J.S. (1990).** Biochemical and physiological responses of nine spring wheat (*Triticum aestivum*) cultivars to drought stress at reproductive stage in the tropic. *Belg. J.Bot.* **123**, 27- 35.

- **GIGON A. (1979).** CO₂ gas exchange, water relations and convergence of mediterranean shrub-types from California and Chile. *Ecol. Plant.* **14 (2)**, 129 – 150.

- **GNANASIRI S.P., HIROHUMI S., KOUNOSUKE F et SHOITSU O. (1992).** Osmotic adjustment and stomatal response to water deficit in Maize. *Journal of Experimental Botany*, Vol.43, N°256, Pp.1451-1456.

- **GOOD A.G. et ZAPLACHINSKI S.T. (1994).** The effects of drought stress on free amino acid accumulation and protein synthesis in *Brassica napus*. *Physiol. Plant.* **90**, 9-14.

- **GREIVE A. M. et WALKER R. R. (1983).** Uptak and distribution of chloride sodium and potassium ions in salt-treated *Citrus* plants. *Aust. J Agric. Res* , **34**, 133 – 43.

- **GUEDERA. (1981).** Etude expérimentale sur la germination des semences de l'arganier. Mémoire de fin d'études, Inst. Agronomique et Vétérinaire Hassan II ; Complexe Horticole d'Agadir, Maroc 77 p.

- **HANNA P. J. (1981).** Anatomical features of the seed coat of *Acacia kempeana* Mueller, which relate to increased germination rate induced by heat treatment. *New. Phytol.* **96**, 23- 29.

- **HARE P.D., CRESS W.A. and VAN STADEN J. (1998).** Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant Cell and Environment* ; **21**, 535-553.

- **HARROUNI M. C., ZAHRI S. et EL HAMAID A. (1995).**

Transplantation des jeunes plantules d'arganier : effet combiné de techniques culturales et du stress hydrique. Actes du colloque international la forêt face à la désertification « cas des arganeraies ». Faculté des sciences, Agadir, 115 - 33.

- **HARTMANN H. T., KESTER D. E. et DAVIES F. T. (1990)**. Plant propagation principles and practices. Prentice Hall International, Singapore, 647p.

- **HAWKER J.S., JENNER C.F and NIEMIETZ C.M. (1991)**. Sugar metabolism and compartmentation. *Aust. J. Plant Physiol.*, **18**, 227-237.

- **HELLIKER B.R. and MARTIN C.E. (1997)**. Comparative water use efficiency of three species of peperomia (*piperaceae*) having different photosynthetic pathways. *J.Plant physiology*, **150**, 259 - 263.

- **HENCHI B. (1987)**. Effet des contraintes hydriques sur l'écologie et l'écophysologie de *Plantago albicans* L. Thèse de doctorat des sciences naturelles, Univ. De Tunis.

- **HOPKINS. (1999)**. Introduction to plant physiology. Second edition. The university of western Ontario. Edit. John Wilay and sons., Inc, 512 p.

- **ILDIKO K. and GALIBA G. (1995)**. Carbohydrates in wheat and Maize plants under water stress. INRA, Inter drought, V-10. In : Physiologie des arbres et arbustes des zones arides et semi-arides - Paris, 465 - 472.

- **IRIGOYEN J.D., EMERICH D.W. et SANCHEZ-DIAZ M. (1992)**. Alfalfa leaf senescence induced by drought stress : Photosynthesis, hydrogen peroxide metabolism, lipid peroxide metabolism, lipid peroxidation and ethylene evolution. *Physiol. Plant.* **84**, 67 - 72.

- **JOHN M.C. (1992)**. Phenological variability : Effect on determination of leaf water loss in wheat. *Published in Crop Sci.*, **32**, 1457-1459.

- **JOHNSON R.C., NGUYEN H.T. and CROY L.I. (1988)**. Osmotic adjustment and solute accumulation in two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Sci.*, **24**, 957-962.

- **JOHNSON-FLANAGAN A.M, HUIWEN Z, GENG X-M., BROWN D.C.W., NYKIFORUK C.L. et SINGH J. (1992)**. Forst , abscisic acid, and desiccation hasten embryo development in *Brassica napus*. *Plant Physiol.* **99**, 700 - 706.

- **JORDAN P.W et NOBEL P.S. (1984)**. Thermal and water relations of roots of desert succulents. *Ann. Bot.*, **54**, 705-717.

- **JOYCE P.A., ASPINALL D. and PALEG L.G. (1992)**. Photosynthesis and the

accumulation of proline in response to water deficit. *Aust. J. Plant physiol.*, **19**, 249 – 261.

- **KAMELI A. and LÖSEL D.M. (1995)**. Carbohydrates and water status in wheat plants under water stress. *New Phytol.*, **125**, 609-614.

- **KAMELI A. and LÖSEL D.M. (1995)**. Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress. *J.Plant Physiol.*, **Vol .147**, Pp 363-366.

- **KAO C. (1971)**. The promotion of the germination of seed of *Acacia confusa* Mett. Mem. Coll. Agri. Nat. Taiwan. Univ., **12**, 132 – 137.

- **KARA Y. (2001)**. Etude de caractères morphophysiologiques d'adaptation à la sécheresse du blé dur et de quelques espèces apparentées. Intérêt potentiel de ces espèces pour l'amélioration de ces caractères. Thèse de doctorat d'état, 7 – 18.

- **KAUFMANN M. R. (1977)**. Soil temperature and drought effects on growth of Monterey pine. *For Sci* ; **23**, 317 – 25.

- **KAUL R., MONOHAR M.S. (1966)**. Germination studies of arid zone tree seeds I. *Acacia Senegal* Willd. *Indian. Forestry*, **92**, 499 – 503.

- **KHALDOUN A., CHERY J. et MONNEVEUX P. (1990)**. Etude des caractères d'enracinement de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.). *Agronomie*, **10**, 369 – 379.

- **KHAROUBI A. (1996)**. Etude comparée de deux variétés algériennes de blé dur (*Triticum durum* DESF.) : Esituation de déficit hydrique et d'un excès de NaCl. DES en gestion et développement des milieu intrtropicaux. GEMBLoux, 4 – 11.

- **KIM J-Y., MACHE A., BRANGEON J. and PRIOUL J-L. (2000)**. A Maize vacuolar invertase, *IVR2*, is induced by water stress. Organ/Tissue specificity and diurnal modulation of expression. *Plant physiology*, **Vol.124**, Pp 71 – 84.

- **KORELL HORN R. and FRIEDT W. (1995)**. Developing a screening system in vitro to select for osmotic adjustment in an interspecific sunflower population. INRA, Inter drought, **XI-8**.

- **KORICHI M.F. (1994)**. Contribution à l'étude de la capacité à l'ajustement osmotique de trois cultivars de blé dur en réponse à différentes intensités de déficit hydrique. INRA, Pp 1 - 17.

- **KRAMER P. J. (1980)**. Drought stress and the origin of adaptation. In : TURNER, N. C., KRAMER, P. J, eds. Adaptation of plants to water and high temperature stress. New York : *Wiley-interscience*, 7 – 20.

- **KRAMER P.J. (1983)**. Water relations of plants. Academic Press, New York, NY, 360 - 364.
- **LADEFOGED L. (1963)**. Transpiration of forest trees in closed stands. *Physiol. Plant.* , **16**, 378 - 414.
- **LAFFRAY P. et LOUGUET P. (1986)**. Stomatal opening and related ionic fluxes in *Pelargonium hortorum* and *Vicia faba* under blue and red light. 5 th Congress of the FESPP, 31 aug-4 Sept., Hamburg.
- **LARCHER W. (1960)**. Transpiration and photosynthesis of detached leaves and shoots of *Quercus pubescens* and *Q. ilex* during dessication under standard conditions. Bull. Res. Council. Isr. **8 D**, 213 - 224.
- **LEDIG F. T. (1981)**. The influence of genotype and environment on dry matter distribution in plants. In : HUXLEY, P. A, ed. Plant research and agroforestry, Proc Consultative Meeting, International council for research in agroforestry, Nairobi, 427 - 54.
- **LEVITT J. (1980)**. Water stress. In « Responses of plants to environmental stresses ». **Vol. II**, 2èd.edit. by T.T. KOZLOWSKI. Academic press, p 25 - 229.
- **LEWALLE J. (1991)**. L'arganier un arbre exceptionnel. *Magazine royale Air Maroc N° 53*, 12 - 14.
- **LEWICKI S.D. (1993)**. Evaluation des paramètres liés à l'état hydrique chez le blé dur (*Triticum durum*, Desf.) et l'orge (*Hordeum vulgare* L.), soumis à un déficit hydrique modéré, en vue d'une application à la sélection de génotypes tolérants. Thèse de Doctorat ENSA-Montpellier (France), 87 pp.
- **LEWIN L.G., SPARROW D.H.B. and ASPINALL D. (1978)**. Proline accumulation and drought resistance in Barley. **N°23, 3(b)-8**, 36-12.
- **LÖSCH R., TENHUNEN J. D., PEREIRA J. S. et LANGE O.L. (1982)**. Diurnal courses of stomatal resistance and transpiration of wild and cultivated mediterranean perennials at the end of the summer dry season in Portugal. *Flora* **172**, 138 - 160.
- **LOUALI L. (1994)**. Contribution à l'étude de la variabilité et de la floraison, de la fructification de l'arganier. CEA « Environnement ». Université Ibnou Zohr, Agadir, 80 p.
- **LOUTFI F. (1994)**. Germination, levée et survie des plantules d'arganier (*Argania Spinosa* (L) Skeels). CEA « Environnement ». Université Ibnou Zohr, Agadir, 34 p.
- **LUDLOW M. M. (1989)**. Strategies of responses to water stress. Structural and

functional responses to environmental stresses. S.P.B. Academic Publishing, The Hague, *The Netherlands*, 269 – 281.

- **M'HIRIT O. (1987)**. L'arganier, une espèce fruitière, forestière à usages multiples des zones arides méditerranéens. *Inst. Agr. Médit*, 20 p., Saragosse

- **M'HIRIT O. (1989)**. L'arganier : une espèce fruitière forestière à usage multiple. Formation Forestière Continue, thème « l'arganier ». Station de recherche Forestière, Rabat, 13-17 mars, 31-58.

- **M'HIRIT O., BENZYANE M., BENCHEKROUNE F., EL YOUSFI S.M et BENDAANOUN M. (1998)**. L'arganier une espèce fruitière-forestière à usage multiples. I.S.B.N. Pierre Mardaga Edit. Belgique, 10 - 97.

- **M'SANDA F.J., GASQUEZ R., CAUSSOD et PELTIER J. P. (1994)**. Polymorphisme, Régime de reproduction de trois populations d'arganier (*Argania spinosa* (L) Skeels) endémiques du Maroc. Premiers résultats. Actes des deuxièmes journées de l'arbre, Marrakech 20-21 avril, 154 - 158.

- **MARGOLIS H. A et BRAND D. G. (1990)**. An ecophysiological basis for understanding plantation establishment. *Can J For Res* ; **20**, 375 – 90.

- **MARIGO G. and PELTIER J. P. (1996)**. Analysis of the diurnal change in osmotic potential in leaves of *Fraxinus excelsior* L. *Journal of Experimental Botany*, **Vol. 47**, N°299, Pp 763-769.

- **MARTIN B. and RUIZ-TORRES N.H. (1992)**. Effect of water deficit stress on photosynthesis, its component limitations, and on water use efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiol.*, **100**, 733 – 739.

- **MASTRANGELO A.M., RASCIO A., MAZZUCCO L., RUSSO M., CATTIVELLI L. and DI FONZO N. (2000)**. Molecular aspects of abiotic stress resistance in durum wheat. *Option méditerranéenne*, N°40, 207 - 213.

- **MC MILLIN J. D., WAGNER M. R. (1995)**. Effects of water stress on biopartitioning of ponderosa pine seedlings during primary root growth and shoot periods. *For Sci* ; **41**, 594 - 610.

- **MEDRANO H., AGUILO F. and SOCIAS F.X. (1992)**. Effect of drought on subterranean clover : 1- leaf water relations of plants subjected to rapid or slowly induced drought. *Photosynthetica*, **27(3)**, 413-419.

- **MEISNER C.A. et KARNOK K.J. (1992).** Peanut root response to drought stress. *Agron. J.*, **84**, 159-165.

- **MERAH O., ARAUS J.L., NACHIT M.M. and MONNEVEUX P. (1995).** Leaf osmotic potential, relative water content and leaf excised water loss as screening criteria for drought tolerance in Durum wheat. INRA, Inter drought, **X-17**.

- **MERINO J., NOVO F.G. et DIAZ M.S. (1976).** Annual fluctuation of water potential in the xerophytic shrub of the Donana Biological Reserve. *Oecol. Plant.* **11**, 1 - 2.

- **MOKHTARI M. (2002).** Production rapide de plants d'arganier aptes à la trans-plantation. Laboratoire d'écophysiologie végétale ; Institut agronomique et vétérinaire Hassan II. Agadir. Bull d'information et de liaison du PNTTA, n° **95**, 1 - 3.

- **MONNEVEUX P. et NEMMAR M. (1986).** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum*, Desf.) : étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*, (6), 583-590.

- **MONROY-ATA A., FLORET Ch., PONTANIER R. et RAMBAL S. (1988).** Rapport entre la biomasse racinaire et aérienne de plantes pérennes de la zone aride pendant la période d'installation. In : DI CASTRI, F., FLORET, Ch., RAMBAL, S., ROY, J, eds. Time scales and water stress. *Plant* : UIBS pub, 247 – 53.

- **MONTASIR A. H. et ABDERHAMAN A. A. (1951).** Studies on the autoecology of *Zygophyllum simplex* Bull. Ins. Fouad 1 er du désert, **1**, 34 - 35.

- **MORGAN J.M. (1980).** Osmotic adjustment in the spikelets and leaves of wheat. *Journal of Experimental Botany*, **Vol.31**, N°**121**, Pp, 655-665.

- MORISSETTE T. (1990).** La récolte de semences forestières. Les publications du Québec. *Experimental Botany*, **Vol.31**, N°**121**, Pp.655-665.

- **MORSLI A. (1999).** Essai de vitropropagation de l'arganier : *Argania spinosa* (L.) Skeels à partir de vitrosemis. Thèse de magister, protection de la nature, INA, 89 p.

- **MOUGOU A. (1984).** Evaluation de la résistance à la sécheresse par des paramètres morphologiques, écophysiologiques et biochimiques chez plusieurs espèces de tomates. Thèse doctorat Es-sciences, Uni de l'Etat à Gand, 208p.

- **MUNNS R. and WEIR R. (1981).** Contribution of sugars to osmotic adjustment in elongating and expanded zones of wheat leaves during moderate water deficits at two light levels. *Aust. J. Plant Physiol.*, **8**, 93-105.

- **NOIRAUD N., DELROT S. and LEMOINE R. (2000).** The sucrose transporter of Celery. Identification and expression during salt stress 1. *Plant physiol.*, **Vol.122**, Pp 1447-1456.
- **NOUAIM R et CHAUSSOD R. (1993).** L'arganier (*Argania spinosa* (L) Skeels). Le flamboyant bulletin de liaison des membres du réseau arbres tropicaux n° 27. Septembre 1993.
- **NOUAIM R et CHAUSSOD R. (1995).** Apports des biotechnologies à l'optimisation des systèmes agro-forestiers : modèle « Arganier ». Actes du colloque international sur la désertification ; le cas des arganeraies, Agadir, 28 - 33.
- **NOUAIM R. (1994).** Ecologie microbienne des sols : Activités microbiologiques des sols, rôle des endomycorhizes dans la croissance, la nutrition de l'arganier. Thèse de Doctorat Es Sciences, Université Ibnou Zohr, Agadir, 193 p.
- **NOUAIM R., CHAUSSOD R., EL ABOUDI A., SCHNABEL C. (1991).** L'arganier : essai de synthèse des connaissances sur cet arbre. Physiologie des arbres et arbustes des zones arides et semi-arides, Groupe d'étude de l'arbre, Edit. Paris, 1 - 16.
- **NOUAIM R., CHAUSSOD R., MANGIN G., MUSSILLON P. (1990).** L'arganier ; système racinaire et microflore. In : colloque « Ligneux des zones arides », Nancy (France) Avril 1990.
- **NOURI L. (2002).** Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum*, Desf.), en conditions de déficit hydrique. Thèse de magister en Biologie Végétale, 4 - 16.
- **NOURI L. (2003).** Caractérisation physiologique de génotypes de Tournesol (*Helianthus annuus* L.). Rapport de stage. Toulouse, 6 - 18.
- **O'TOOLE J. C et CRUZ R. T. (1980).** Response of leaf water potential, stomatal resistance and leaf rolling to water stress. *Plant Physiol.* **65**, 428 - 432.
- **OBATON M. (1995).** Differential sensitivity of the physiological mechanisms to hydric deficit for soybean. INRA, Inter drought, **VIII-17**.
- **OBATON M., BERGER A., FOURNIER C. and PANNE F. (1995).** Change in the osmotic composition of Soy Bean in relation with the nitrogen nutrition way. INRA, Inter drought, **VI-15**.
- **OBER et SETTER. (1992).** Water deficit induces abscisic acid accumulation in endosperm of maize viviparous mutants. *Plant Physiol.* **98** , 353 - 356.
- **OBER et SETTER. (1990).** Timing of kernel development in water -stress maize : water potential and abscisic acid concentrations. *Ann. Bot.* **66**, 665 - 672.

- **OHER H. A. (1975)**. The effects of burning on the viability of seed of five acacias. *Sudan Sylva*, **3**, 20 - 22.
- **OPPENHEIMER H. R. (1961)**. L'adaptation à la sécheresse : le xérophytisme et recherches en zones arides. UNESCO, 115 - 153.
- **OPPENHEIMER H.R. et SHOMER-ILAN A. (1963)**. A contribution to the knowledge of drought resistance of Mediterranean pine trees. *Mit. Flor-Soz. Arbeitsg. Stplz. (Weser) N.S.10*, 42 - 55.
- **OULDGACEM. (1989)**. Influence de l'âge sur la modification de la morphogénèse du système racinaire du pin maritime et de l'*Acacia cyanopylla* : conséquences pratiques. Thèse d'ingénieur INA, 80p.
- **PALLARDY S. G. et RHOADS J. L. (1993)**. Morphological adaptations to drought in seedlings of deciduous angiosperms. *Can. J. For Res*, **23**, 1766 - 74.
- **PASSIOURA J.B. (1982)**. Water in the soil-plant-atmosphere continuum. In « Encyclopedia of plant physiology », *new serie, Vol. 12B*, 5-33.
- **PELTIER J. P., EL ABOUDI A., CARLIER G et. DOCHE B. (1992)**. Potentiel hydrique et conductance stomatique des feuilles d'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) en début et en cours de la saison sèche dans le Souss (Maroc occidental). *Bull. Ecol.*, t. **23 (1-2)**, 5 - 16.
- **PELTIER J.P. (1982)**. La végétation du bassin versant de l'Oued Souss (Maroc). Thèse de doctorat d'Etat, Univ .Sci. Grenoble, 201 p.
- **PESOLI P., GRATANI L. et LARCHER W. (2003)**. Responses of *Quercus ilex* from different provenances to experimentally imposed water stress. *Biologia plantarum* **46 (4)**, 577 - 581.
- **PETERSON K.L., MORESHETS, et FLUCHS M. (1991)**. Stomatal responses of field-grown cotton to radiation and soil moisture. *Agron.J.* **83**, 1059-1065.
- **PHAMATHI A.T., BORREL-FLOOD C., VIEIRA DA SILVA J.B., JUSTIN A.M. et MAZLIAK P. (1985)**. Effects of water stress on lipid metabolism in cotton leaves. *Phytochem.*, **24, (4)**, 723-727.
- **PODA. (1976)**. Etudes expérimentales relatives à la modification de la morphogénèse juvénile du système racinaire du hêtre et du chêne. Influence sur la croissance aérienne. Mém. 3ème année. INRA Nogent sur Vernisson, 74 p.
- **PREECE P. B. (1971)**. Contribution to the biology of Mulga : germination. *Aust. J. Bot*, **10**, 39 - 49.

- **QARIANI L., EL JAAFARI S., DEKKAKI M. and ARAUS J.L. (2000).** Cuticular conductance, water use efficiency and drought tolerance of durum wheat isolines differing glaucousness. *Option méditerranéenne*, N°40, 323-326.
- **RAHALI M. (1989).** La production de la forêt d'arganier. Formation Forestière Continue, thème « l'arganier ». Station de recherche Forestière, Rabat, 13-17 mars, 68-73.
- **RAI V. K. (2002).** Role of amino acids in plant responses to stresses. *Biologia Plantarum* **45** (4), 481 – 487.
- **RAMANJULU S. and SUDHAKAR C. (1997).** Drought tolerance is partly related to aminoacid accumulation: A comparative study in two Mulberry genotypes differing in drought sensitivity. *J. Plant Physiol.* Vol **150**, 345-350.
- **RASCIO A., CEDOLA M.C., TOPONI M., FLAGELLA Z and WITTMER G. (1990).** Leaf morphology and water status changes in *Triticum durum* under stress. *Physiologia plantarum*, **78**, 462-467.
- **RIAZI A., KAORU M. and ARSLAN A. (1985).** Water stress induced changes in concentrations of proline and other solutes in growing regions of young Barley leaves. *Jour. Exp. Bot.* **36**, n° **172**, 1716-1725.
- **RIBAUT J.M et PILET P.E. (1991).** Effects of water stress on growth, osmotic potential and abscisic acid content of maize roots. *Physiol. Plant.* **81**, 156-162.
- **RICHTER G. (1993).** Métabolisme des végétaux. Physiologie et biochimie. Presse polytechniques et universitaires romandes. 5^{ème} édition, 526 p.
- **RIEDACKER A., DREYER E., PAFADNAM C., JOLY H., BORY G. (1990).** Physiologie des arbres et arbustes des zones arides et semi-arides. Groupe d'étude de l'Arbre. Observatoire du Sahara et du Sahel. Séminaire. Paris, 373 – 465.
- **ROBBERTSE P.J. (1973).** The genus *Acacia* Miller in south Africa 3 : with special reference to the morphology of the seed. *Tydskr. Nav. Wet.*, **13**, 72 – 95.
- **ROBBERTSE P.J. (1975).** Germination of *Acacia* seed. *J. South. Afr. Bot.*, **40**, 269 – 273.
- **ROBERTS S. W., MILLER P. C. et VALAMANESH A. (1981).** Comparative field water relations of four Co-occurring chaparral shrub species. *Ecologia (Berlin)* **48**, 360 – 363.
- **RODRIGUEZ M.L., CHAVES M.M., WINDLER R., DAVID M.M., QUICK W.P., LEEGOOD R.C., STITT M. and PAREIRA J.S. (1993).** Osmotic adjustment in water stressed Grapevine leaves in relation to carbon assimilation. *Aust.J.Plant Physiol.*, Vol **20**, Pp 309 - 321.

- **ROUHI R. (1991)**. Anatomie de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels). In : colloque international sur l'arganier. Agadir. Pp, 100 - 103.

- **SABOUR I., QARIANI L., EL JAAFARI S. and PAUL R. (1995)**. Biophysical and biochemical analysis of osmotic adjustment in wheat under water stress. INRA, Inter drought, **X-23**.

- **SAMAI A. (1991)**. Effet de l'humidité du milieu sur l'accumulation de la proline dans les tissus de blé pendant les premiers stades végétatifs. Thèse de DES en Biologie Végétale, p 51.

- **SARDA X., VANSUT G., TOUSCH D., CASSE-DELBART F et LAMAZE T. (1992)**. Les signaux racinaires de la régulation stomatique. In Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Les colloque de l'INRA, n° **64** (Paris).

- **SCHONHERR J. (1976)**. Water permeability of cuticular membranes. In « Water and plant life » p : 148-159. Edit. O. L. LANGE ; L. KAPPEN and E. D. SCHULZE. Seasonal variations on water relations of *Amygdalus communis* L. Under drip irrigated and non irrigated conditions. *Plant and soil*, **106**, 215 - 220.

- **STEWART C.R. (1978)**. role of carbohydrates in proline accumulation wilted Barley leaves. *Plant Physiol.* , **61**, 775-778.

- **TAN B.H. (1982)**. Variations and correlations of proline accumulations in spring wheat cultivars. *Plants Science Section*, 459-463.

- **TARDIEU F. et DAVIES W. (1992)**. Stomatal response to abscisic acid is a function of current plant water status. *Plant Physiol.* **98**, 540-545.

- **TARDIEU F., KARTEJI N et BETHENOD O. (1990)**. Relations entre l'état hydrique du sol, le potentiel de base et d'autres indicateurs de la contrainte hydrique chez le maïs. *Agronomie* **10**, 617 - 626.

- **TAYLOR H. M. (1980)**. Modifying root systems of cotton and soybean to increase water absorption. In : TURNER, N. C., KRAMER, P.J, eds. Adaptation of plants to water and hight temperature stress. New York : *Wiley-Interscience* 75- 84.

- **TAZI M. R., BERRICHI A et HALOUI B. (2003)**. Effet du polyéthylène glycol sur la germination et la croissance *in vitro* de l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) des Beni Snassen (Maroc oriental). *Sécheresse*. **Volume 14. Numéro 1**, 23 - 7.

- **TESHA P. V. (1971)**. Check in height growth of pine seedlings due to water deficit. *For Abs*, 5240 - 7287.

- **THAKUR P. S. et RAI V. K. (1982)**. Effect of water stress on protein content in two maize cultivars differing in drought resistance. *Biologie Plant* (Praha) ; **24**, 96 – 100.
- **THIERRY L. (1987)**. L'arganier au Maroc : sa description, ses méthodes de multiplication et son application en reforestation. Thèse d'ingénieur technique, Institut provençal d'enseignement supérieur agronomique et technique, 183p.
- **THOMAS F. M et GAUSLING T. (2000)**. Morphological and physiological responses of oak seedlings (*Quercus petraea* and *Q. robur*) to moderate drought. *Ann For Sci* ; **57**, 325 – 33.
- **TORRECILLAS A., RUIZ-SANCHEZ M.C., LEON A., GARCIA A.L. (1988 a et b)**. Stomatal response to leaf water potential in almond trees under drip irrigated and non irrigated conditions. *Plant and soil*, **112**, 151 – 153.
- **TRAN V. N. et CAVANAGH A. K. (1984)**. Germination and reserve mobilization. In : DAVID, R. M. (ed.), *Seed physiology : germination of seeds*. Academic press, New-York. **Vol (2)**, 1 – 12.
- **TURNER I.. B. (1990)**. The extent and pattern of osmotic adjustment in white clover (*Trifolium repens* L.) during the development of water stress. *Ann. Bot.* **66**, 721-727.
- **TURNER N.C. (1990)**. The benefits of water deficit. In : proceedings of the international congress of plant physiology, New Delhi, India, **Vol. 2**, *Sol. Plant Physiol. Biochem.*, New Delhi.
- **TURNER N.C., JOHN E.B. and LORRAINE T. (1978)**. Osmotic adjustment of sorghum and sunflower crops in response to water deficits and its influence on the water potential at witch stomata close. *Aust.J.Plant Physiol.*, **5**, 597 - 608.
- **TURNER N.C., WALTER R.S and EVANS P. (1987)**. Water relations and osmotic adjustment of leaves and roots of Lupins in response to water deficits. Published in *Crop Sci.*, **27**, 977-983.
- **VAN DEN DRIESSCHE R. (1991)**. Influence of container nursery regimes on drought resistance of seedling following planting. I. Survival and growth. *Can J For Res* ; **2**, 555 – 65.
- **VAN HEES A. F.M. (1997)**. Growth and morphology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) and beek (*Fagus sylvatica* L.) seedlings in relation to shading and drought. *Ann. Sci*, **54**, 9 – 18.
- **VAN RENSBURG L., KRÜGER H. and KRÜGER G.H.J. (1995)**. Intercellular space variation among air-cured *Nicotiana tabacum* L. genotypes and its relation to their water use efficiency. INRA, Inter drought, **X-25**.
- **VARTANIAN N. (1973)**. Particularités adaptives de la moutarde blanche (*Sinapis alba* L.), à la sécheresse . Unesco 1973 : Réponses des plantes aux facteurs climatiques. Actes Coll. Uppsala, 1970.

- **VIEIRA DA SILVA J.B. (1968)**. Influence du potentiel osmotique de la solution nutritive sur la teneur en glucides solubles et amidon de trois espèces de *Gossypium*.
- **VIEIRA DA SILVA J.B. (1976)**. Water stress, ultrastructure and enzymatic activity, Pp :207-224. In « Water and plant life » edit. O.L . LANGE ; L. KAPPEN and E-D. SCHULZE. Ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York.
- **WALKER R. R. et DOUGALS T. J. (1983)**. Effect of salinity level on uptake and distribution of chloride sodium and potassium ions in *Citrus* plants. *Aust. J Agric. Res* , **34**, 145 - 53.
- **WANG Z., QUEBEDEAUX B and STUTLE G.W. (1995)**. Osmotic adjustment : Effect of water stress on carbohydrates in leaves, stems and roots of Apple. *Aust.J.Plant Physiol.*, **22**, 747-754.
- **WARTINGER A., HEILMEIR H., HARTUNG W. (1990)**. Daily and seasonal courses of leaf conductance and abscisic acid in the xylem sap of almond trees (*Prunus dulcis* (Miller) D.A. Webb) under desert conditions. *New phytologist*, **116**, 581 - 587.
- **YKHLEF N. (2001)**. Photosynthèse, activité photochimique et tolérance au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse de Doctorat d'état en physiologie végétale : amélioration des plantes, 120 p.
- **ZAHIDI A et BANI-AAMEUR F. (1997)**. Germination et survie des amandes de l'Arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) : Effets de la durée de stockage, de la date de semis et du génotype. *Ann. Rech. For. Maroc*, **T (30)**, 2 - 16.
- **ZAHIDI A. et BANI-AAMEUR F. (1998)**. Argan seedling damping-off under nursery conditions : effects of mother-tree genotype, kernel origin and seedling age. *Ecol. Medit.*, **24**, 27 - 32.
- **ZAHIDI A., FERRADOUS A et. BANI-AAMEUR F. (1996)**. Morphological diversity of three argan populations (*Argania Spinosa* (L) Skeels). IV. Conference on plant taxonomy, Barcelone 19-22 Septembre, (Abstract).
- **ZHANG J., NGUYEN H.T and BLUM A. (1999)**. Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. *Journ. of exp. Bot.*, **Vol.50, N°332**, Pp. 291-302.

Annexe 1



Fig. 1 : Jeune plant d'arganier en sachets de polyéthylène



Fig. 2 : Jeune plants d'arganier obtenu par semis direct



Fig. 3 : Graines d'arganier



Fig. 4 : Germination des graines d'arganier



Fig. 5 : Dispositif de plantation des jeunes plants d'arganier

Annexe 2

Tableau n°1 : Taux de germination des graines par traitement à M'doukel

Traitements	Taux de germination (%)
Semis dans le sachet de polyéthylène	12
Semis direct en pleine terre	8

Tableau n°02 : Taux de germination des graines au laboratoire par catégorie (scarifiée ou non) et par traitement

Traitements	Taux de germination (%)
Graines scarifiées et misent à l'étuve à 25°C	28
Graines non scarifiées et misent à l'étuve à 25°C	2
Graines scarifiées et misent à l'étuve à 30°C	45
Graines non scarifiées et misent à l'étuve à 30°C	5

Annexe 3

Annexe 2 : Analyse de la variance concernant les paramètres physiologiques à un facteur
(facteur 1: niveaux de stress)

ANALYSE DE LA 1^e VARIABLE : Contenu relatif en eau

=====

ANALYSE DE VARIANCE

=====

PROBA	E.T.	C.V.	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F
VAR.TOTALE			1367.68	17	80.45	
VAR.FACTEUR 1			1274.77	5	254.95	32.93
0.0000						
VAR.RESIDUELLE	1		92.92	12	7.74	
2.78	3.6%					

ANALYSE DE LA 2^e VARIABLE : Sucres solubles

=====

ANALYSE DE VARIANCE

=====

PROBA	E.T.	C.V.	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F
VAR.TOTALE			6079.38	17	357.61	
VAR.FACTEUR 1			5925.78	5	1185.16	92.59
0.0000						
VAR.RESIDUELLE	1		153.61	12	12.80	
3.58	13.6%					

ANALYSE DE LA 3^e VARIABLE : Accumulation de la proline

=====

ANALYSE DE VARIANCE

=====

PROBA	E.T.	C.V.	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F
VAR.TOTALE			1736.28	17	102.13	
VAR.FACTEUR 1			1647.69	5	329.54	44.64
0.0000						
VAR.RESIDUELLE	1		88.59	12	7.38	
2.72	11.3%					

ANALYSE DE LA 4^e VARIABLE : Pourcentage d'intégrité cellulaire

=====

ANALYSE DE VARIANCE

=====

PROBA	E.T.	C.V.	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F
VAR.TOTALE			5721.63	17	336.57	
VAR.FACTEUR 1			5610.63	5	1122.13	121.32
0.0000						
VAR.RESIDUELLE 1			110.99	12	9.25	
3.04	4.5%					

ANALYSE DE LA 5e VARIABLE : Transpiration

=====

ANALYSE DE VARIANCE

=====

PROBA	E.T.	C.V.	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F
VAR.TOTALE			53.93	17	3.17	
VAR.FACTEUR 1			45.55	5	9.11	13.04
0.0002						
VAR.RESIDUELLE 1			8.38	12	0.70	
0.84	30.2%					

ANALYSE DE LA 6e VARIABLE : Efficacité de l'utilisation de l'eau

=====

==

ANALYSE DE VARIANCE

=====

PROBA	E.T.	C.V.	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F
VAR.TOTALE			0.03	17	0.00	
VAR.FACTEUR 1			0.03	5	0.01	31.63
0.0000						
VAR.RESIDUELLE 1			0.00	12	0.00	
0.01	10.4%					

Annexe 4

Tableau n°03 : L'écart type et la moyenne du contenu relatif en eau des jeunes plants d'arganier

Niveaux de stress (%)	Ecart type	Moyenne
75	1.25117595	85.8205667
50	6.12285883	80.4825567
40	4.04292545	79.8221367
30	1.46931839	79.20319
20	4.78743818	76.5767633
10	2.22704695	59.0546467

Tableau n°04: L'écart type et la moyenne de la teneur des sucres solubles des jeunes plants d'arganier

Niveaux de stress (%)	Ecart type	Moyenne
75	0.70710678	7.66666667
50	3.46482323	13.7
40	1.20208153	19.6666667
30	1.13137085	19.8
20	4.03050865	34.2333333
10	2.82842712	62.6333333

Tableau n°05: L'écart type et la moyenne de l'accumulation de proline des jeunes plants d'arganier

Niveaux de stress (%)	Ecart type	Moyenne
75	0.0014425	0.017
50	0.00403829	0.016
40	0.00537967	0.017
30	0.00010607	0.021
20	0.00202233	0.030
10	0.00280014	0.042

Tableau n°06: L'écart type et la moyenne du pourcentage d'intégrité cellulaire des jeunes plants d'arganier

Niveaux de stress (%)	Ecart type	Moyenne
75	0.76367532	83.0766667
50	3.28097546	83.3866667
40	0.80610173	73.03
30	2.96277741	71.92
20	2.085965	63.2366667
10	1.33643182	31.3466667

Tableau n°07: L'écart type et la moyenne de la transpiration des jeunes plants d'arganier

Niveaux de stress (%)	Ecart type	Moyenne
75	2.0408E-05	0.00041376
50	0.00019399	0.00030827
40	0.00014426	0.0003141
30	0.000173	0.00025292
20	1.3343E-06	0.00012905
10	6.8236E-07	0.00000111

Tableau n°08: L'écart type et la moyenne de l'efficacité de l'utilisation de l'eau des jeunes plants d'arganier

Niveaux de stress (%)	Ecart type	Moyenne
75	0.00707107	0.10333333
50	0.0212132	0.11
40	0.00707107	0.18333333
30	0.00707107	0.18333333
20	0.00707107	0.10333333
10	0.00707107	0.08666667

Annexe 5

Tableau n°09 : Matrice des corrélations concernant les paramètres physiologiques

	trs	pic	scr	prl	cre	eue
trs	1.000					
pic	0.940 ^{***}	1.000				
scr	-0.955 ^{***}	-0.990 ^{***}	1.000			
prl	-0.987 ^{***}	-0.968 ^{***}	0.975 ^{***}	1.000		
cre	0.886 ^{***}	0.975 ^{***}	-0.979 ^{***}	-0.930 ^{***}	1.000	
eue	0.416 ⁰	0.319 ⁰	-0.370 ⁰	-0.480 ⁰	0.334 ⁰	1.000

0: Non significatif.

*: significatif.

**: Hautement significatif.

***: Très hautement significatif.

Annexe 6

Annexe n°06 : Analyse de la variance concernant les paramètres morphologiques à un facteur (facteur 1: les niveaux de stress)

ANALYSE DE LA 1re VARIABLE:Hauteur de la partie aérienne

=====

ANALYSE DE VARIANCE

=====

PROBA	E.T.	S.C.E. C.V.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F
VAR.TOTALE		45.63	17	2.68	
VAR.FACTEUR 1		41.38	5	8.27	23.36
0.0000					
VAR.RESIDUELLE	1	4.25	12	0.35	
	0.60	4.5%			

ANALYSE DE LA 2e VARIABLE:Nombre de feuilles

=====

ANALYSE DE VARIANCE

=====

PROBA	E.T.	S.C.E. C.V.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F
VAR.TOTALE		1547.78	17	91.05	
VAR.FACTEUR 1		1544.44	5	308.89	1111.99
0.0000					
VAR.RESIDUELLE	1	3.33	12	0.28	
	0.53	1.9%			

ANALYSE DE LA 3e VARIABLE:Diamètre au collet

=====

ANALYSE DE VARIANCE

=====

PROBA	E.T.	S.C.E. C.V.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F
VAR.TOTALE		0.01	17	0.00	
VAR.FACTEUR 1		0.00	5	0.00	28.97
0.0000					
VAR.RESIDUELLE	1	0.00	12	0.00	
	0.01	2.4%			

ANALYSE DE LA 4e VARIABLE : Longueur de la partie souterraine

=====

ANALYSE DE VARIANCE

=====

PROBA	E.T.	C.V.	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F
VAR.TOTALE			2199.00	17	129.35	
VAR.FACTEUR 1			2156.93	5	431.39	123.03
0.0000						
VAR.RESIDUELLE	1		42.07	12	3.51	
1.87	4.2%					

ANALYSE DE LA 5e VARIABLE : Poids frais total

=====

ANALYSE DE VARIANCE

=====

PROBA	E.T.	C.V.	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F
VAR.TOTALE			19.87	17	1.17	
VAR.FACTEUR 1			16.25	5	3.25	10.79
0.0005						
VAR.RESIDUELLE	1		3.62	12	0.30	
0.55	19.4%					

ANALYSE DE LA 6e VARIABLE : Poids sec total

=====

ANALYSE DE VARIANCE

=====

PROBA	E.T.	C.V.	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F
VAR.TOTALE			3.80	17	0.22	
VAR.FACTEUR 1			3.64	5	0.73	56.48
0.0000						
VAR.RESIDUELLE	1		0.15	12	0.01	
0.11	11.7%					

ANALYSE DE LA 7e VARIABLE : Poids frais de la partie aérienne

=====

ANALYSE DE VARIANCE

=====

PROBA	E.T.	C.V.	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F
VAR.TOTALE			5.31	17	0.31	
VAR.FACTEUR 1			4.72	5	0.94	19.29
0.0000						
VAR.RESIDUELLE	1		0.59	12	0.05	
0.22	23.7%					

ANALYSE DE LA 8e VARIABLE : Poids frais de la partie souterraine

=====

=

ANALYSE DE VARIANCE

=====

PROBA	E.T.	S.C.E. C.V.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F
VAR.TOTALE		15.30	17	0.90	
VAR.FACTEUR 1		14.01	5	2.80	26.02
0.0000					
VAR.RESIDUELLE	1	1.29	12	0.11	
	0.33	18.7%			

ANALYSE DE LA 9e VARIABLE : Poids sec de la partie aérienne

=====

ANALYSE DE VARIANCE

=====

PROBA	E.T.	S.C.E. C.V.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F
VAR.TOTALE		0.33	17	0.02	
VAR.FACTEUR 1		0.33	5	0.07	270.93
0.0000					
VAR.RESIDUELLE	1	0.00	12	0.00	
	0.02	4.8%			

ANALYSE DE LA 10e VARIABLE : Poids sec de la partie souterraine

=====

ANALYSE DE VARIANCE

=====

PROBA	E.T.	S.C.E. C.V.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F
VAR.TOTALE		2.94	17	0.17	
VAR.FACTEUR 1		2.81	5	0.56	54.50
0.0000					
VAR.RESIDUELLE	1	0.12	12	0.01	
	0.10	15.3%			

Annexe 7

Tableau n°10 : L'écart type et la moyenne de la hauteur de la partie aérienne des jeunes plants d'arganier

Niveaux de stress (%)	Ecart type	Moyenne
75	0.28867513	13.6666667
50	0.28867513	12.3333333
40	0.38188131	15.42
30	0.62915287	14.5833333
20	1.15470054	11.8333333
10	0.28867513	11.1666667

Tableau n°11 : L'écart type et la moyenne du nombre de feuilles des jeunes plants d'arganier

Niveaux de stress (%)	Ecart type	Moyenne
75	1	28
50	0	32
40	0	34
30	0	34
20	0.57735027	31.6666667
10	0.57735027	7.6666667

Tableau n°12 : L'écart type et la moyenne du diamètre au collet des jeunes plants d'arganier

Niveaux de stress (%)	Ecart type	Moyenne
75	0.01	0.26
50	0.0057735	0.24666667
40	3.7253E-09	0.26
30	0.0057735	0.25333333
20	0.0057735	0.22333333
10	0	0.22

Tableau n°13 : L'écart type et la moyenne de la longueur de la partie souterraine des jeunes plants d'arganier

Niveaux de stress (%)	Ecart type	Moyenne
75	1.51767366	35.6333333
50	1.4	25.9
40	1.53731367	48.8666667
30	1.56204994	49.4
20	2.45831921	51.9666667
10	2.43464576	58.55

Tableau n°14 : L'écart type et la moyenne du poids frais total des jeunes plants d'arganier

Niveaux de stress (%)	Ecart type	Moyenne
75	0.04533303	4.25633333
50	0.50500825	2.03533333
40	0.79600008	3.3128
30	0.73088796	3.58866667
20	0.495	2.1378
10	0.38	1.62

Tableau n°15 : L'écart type et la moyenne du poids sec total des jeunes plants d'arganier

Niveaux de stress (%)	Ecart type	Moyenne
75	0.2012	1.8011
50	0.09776289	0.70566667
40	0.0288306	1.15846667
30	0.11140013	1.1139
20	0.06900087	0.5816
10	0.09895186	0.4714

Tableau n°16 : L'écart type et la moyenne du poids frais de la partie aérienne des jeunes plants d'arganier

Niveaux de stress (%)	Ecart type	Moyenne
75	0.16697161	0.868
50	0.11659727	0.83473333
40	0.49015	2.01195
30	0.02732789	0.91133333
20	0.09643651	0.5335
10	0.04591808	0.4485

Tableau n°17 : L'écart type et la moyenne du poids frais de la partie souterraine des jeunes plants d'arganier

Niveaux de stress (%)	Ecart type	Moyenne
75	0.3548158	3.35823333
50	0.25194018	1.23523333
40	0.60024888	1.614
30	0.29250698	2.43166667
20	0.09174695	1.08233333
10	0.0331568	0.80343333

Tableau n°18 : L'écart type et la moyenne du poids sec de la partie aérienne des jeunes plants d'arganier

Niveaux de stress (%)	Ecart type	Moyenne
75	0.00917406	0.30893333
50	0.00608276	0.3083
40	0.03071975	0.61006667
30	0.01153256	0.314
20	0.00413562	0.20466667
10	0.005003	0.2048

Tableau n°19 : L'écart type et la moyenne du poids sec de la partie souterraine des jeunes plants d'arganier

Niveaux de stress (%)	Ecart type	Moyenne
75	0.16475	1.46525
50	0.09281887	0.47876667
40	0.01028056	0.5612
30	0.03788144	0.81583333
20	0.1540537	0.35703333
10	0.03776079	0.20556667

Annexe 8

Tableau n°20 : Matrice des corrélations concernant les paramètres morphologiques

	hpa	nbf	nbe	dc	lps	pft	pst	pfpa	pfps
	hpa	pspa							
	1.000								
	0.645 ⁰	1.000							
	0.224 ⁰	-0.232 ⁰	1.000						
	0.825 [*]	0.588 ⁰	-0.172 ⁰	1.000					
	-0.102 ⁰	-0.455 ⁰	0.759 [*]	-0.599 ⁰	1.000				
	0.795 [*]	0.499 ⁰	0.399 ⁰	0.784 [*]	-0.229 ⁰	1.000			
	0.679 ⁰	0.387 ⁰	0.281 ⁰	0.806 [*]	-0.371 ⁰	0.961 ^{***}	1.000		
	0.849 ^{**}	0.501 ⁰	-0.013 ⁰	0.704 ⁰	-0.081 ⁰	0.464 ⁰	0.416 ⁰	1.000	
	0.581 ⁰	0.368 ⁰	0.330 ⁰	0.704 ⁰	-0.352 ⁰	0.946 ^{***}	0.953 ^{0***}	0.189 ⁰	1.000
	0.834 ^{**}	0.477 ⁰	-0.057 ⁰	0.724 ⁰	-0.122 ⁰	0.451 ⁰	0.418 ⁰	0.998 ^{***}	
	0.187 ⁰	1.000							
	0.496 ⁰	0.336 ⁰	0.242 ⁰	0.696 ⁰	-0.445 ⁰	0.906 ^{***}	0.958 ^{***}	0.154 ⁰	
	0.984 ^{***}	0.157 ⁰	1.000						

0: Non significatif.

*: significatif.

** : Hautement significatif.

***: Très hautement significatif.

Annexe 9

Annexe 9 : Analyse de la variance concernant les paramètres morphologiques en relation avec l'essai d'introduction de l'arganier à M'doukel, (2 facteurs ; facteur 1: mois et facteur 2: façon de semis)

ANALYSE DE LA 1re VARIABLE : Hauteur de la partie aérienne

=====

ANALYSE DE VARIANCE

=====

PROBA	E.T.	C.V.	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F
VAR.TOTALE			15932.50	239	66.66	
VAR.FACTEUR 1			15231.01	11	1384.64	493.53
						0.0000
VAR.FACTEUR 2			43.98	1	43.98	15.68
						0.0002
VAR.INTER F1*2			51.50	11	4.68	1.67
						0.0817
VAR.RESIDUELLE	1		606.01	216	2.81	
						1.67 9.6%

ANALYSE DE LA 2e VARIABLE : Nombre de feuilles

=====

ANALYSE DE VARIANCE

=====

PROBA	E.T.	C.V.	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F
VAR.TOTALE			431636.84	239	1806.01	
VAR.FACTEUR 1			427693.59	11	38881.23	2646.14
						0.0000
VAR.FACTEUR 2			567.28	1	567.28	38.61
						0.0000
VAR.INTER F1*2			202.16	11	18.38	1.25
						0.2547
VAR.RESIDUELLE	1		3173.81	216	14.69	
						3.83 5.2%

ANALYSE DE LA 3e VARIABLE : Diamètre au collet

=====

ANALYSE DE VARIANCE

=====

PROBA	E.T.	C.V.	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F
VAR.TOTALE			0.61	239	0.00	
VAR.FACTEUR 1			0.59	11	0.05	819.34
0.0000						
VAR.FACTEUR 2			0.00	1	0.00	53.53
0.0000						
VAR.INTER F1*2			0.00	11	0.00	3.17
0.0006						
VAR.RESIDUELLE 1			0.01	216	0.00	
0.01	3.5%					

Interaction entre le Mois et façon de semis

NOMBRE DE MOYENNES	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12				
VALEURS DES PPAS	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01			
NOMBRE DE MOYENNES	13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24			
VALEURS DES PPAS	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01			

Annexe 10

Tableau n°21 : L'écart type et la moyenne de la hauteur aérienne des jeunes plants d'arganier issus du semis en sachet de polyéthylène

Mois	Moyenne	Ecart type
Nov	4.84	1.76776695
Dec	5.93	1.76776695
Jan	9.71	0.42426407
Fev	10.24	2.82842712
Mar	13.375	1.20208153
Avr	16.54	0.07071068
Mai	20.04	0.14142136
Jui	24.01	1.13137085
Jui	24.06	1.06066017
Aou	24.32	1.83847763
Sep	24.91	1.48492424
Oct	26.35	0

Tableau n°22 : L'écart type et la moyenne du nombre de feuilles des jeunes plants d'arganier issus du semis en sachet de polyéthylène

Mois	Moyenne	Ecart type
Nov	4.7	1.41421356
Dec	9.8	1.41421356
Jan	20.2	2.82842712
Fev	39.1	0
Mar	58.8	0
Avr	78.8	2.82842712
Mai	101.4	2.82842712
Jui	101.9	2.12132034
Jui	102.1	2.12132034
Aou	102.2	2.12132034
Sep	114.2	0.70710678
Oct	125.6	0

Tableau n°23 : L'écart type et la moyenne du diamètre au collet des jeunes plants d'arganier issus du semis en sachet de polyéthylène

Mois	Moyenne	Ecart type
Nov	0.171	0.00707107
Dec	0.171	0.00707107
Jan	0.171	0
Fev	0.177	0.00707107
Mar	0.192	0.00707107
Avr	0.213	0.00707107
Mai	0.234	0.00707107
Jui	0.256	0.00707107
Jui	0.266	0
Aou	0.266	0
Sep	0.286	0
Oct	0.335	0.01414214

Tableau n°24 : L'écart type et la moyenne de la longueur de partie souterraine des jeunes plants d'arganier issus du semis en sachet de polyéthylène

mois	moyenne	écart type
nov-dec-jan	22.543	0.42426407
fev-mar-avr	45.69	3.04055916
mai-jui-jui	60.098	4.94974747
aou-sep-oct	67.23	1.6263456

Tableau n°25 : L'écart type et la moyenne de la hauteur aérienne des jeunes plants d'arganier issus du semis direct en pleine terre

mois	moyenne	écart type
Nov	4	2.47487373
Dec	5.6	2.2627417
Jan	9.5	1.06066017
Fev	12	3.81837662
Mar	14	0.49497475
Avr	17.3	0
Mai	20.9	0.84852814
Jui	25.1	1.13137085
Jui	25.3	1.76776695
Aou	25.9	2.33345238
Sep	26	1.48492424
Oct	29	2.54558441

Tableau n°26 : L'écart type et la moyenne du nombre de feuilles des jeunes plants d'arganier issus du semis direct en pleine terre

Mois	Moyenne	Ecart type
Nov	5	2.12132034
Dec	10	1.41421356
Jan	22	0.70710678
Fev	42	0
Mar	61	0.70710678
Avr	80	2.12132034
Mai	106	3.53553391
Jui	107	3.53553391
Jui	107	1.41421356
Aou	107.5	1.41421356
Sep	119.2	2.12132034
Oct	129	0

Tableau n°27 : L'écart type et la moyenne du diamètre au collet des jeunes plants d'arganier issus du semis direct en pleine terre

Mois	Moyenne	Ecart type
Nov	0.18	0
Dec	0.185	0.00707107
Jan	0.186	0.00707107
Fev	0.19	0.0212132
Mar	0.21	0
Avr	0.22	0
Mai	0.24	0
Jui	0.26	0
Jui	0.261	0
Aou	0.268	0
Sep	0.29	0.00707107
Oct	0.34	0.00707107

Tableau n°28 : L'écart type et la moyenne de la longueur de la partie souterraine des jeunes plants d'arganier issus du semis en pleine terre

Mois	Moyenne	Ecart type
nov-dec-jan	23.2	0.28284271
fev-mar-avr	49.2	0.70710678
mai-jui-jui	70.3	0.70710678
aou-sep-oct	86.9	1.6263456

Annexe 11

ANALYSE DE LA 5e VARIABLE : Longueur de la partie souterraine

ANALYSE DE VARIANCE

PROBA	E.T.	C.V.	S.C.E.	DDL	CARRES MOYENS	TEST F
VAR.TOTALE			36331.95	79	459.90	
VAR.FACTEUR 1			33328.81	3	11109.60	1651.22
0.0000						
VAR.FACTEUR 2			1448.33	1	1448.33	215.26
0.0000						
VAR.INTER F1*2			1070.38	3	356.79	53.03
0.0000						
VAR.RESIDUELLE 1			484.43	72	6.73	
2.59	4.9%					

Interaction entre le Mois et façon de semis

NOMBRE DE MOYENNES				2	3	4	5
6	7	8					
VALEURS DES PPAS				2.31	2.78	3.05	
3.25	3.40	3.52	3.62				

Liste des abréviations

Trs (trs) : Transpiration.

PIC (pic) : Pourcentage d'intégrité cellulaire.

scr: Sucres solubles.

Prl (prl) : Proline.

cre (CRE) : Contenu relatif en eau.

EUE (eue): Efficacité de l'utilisation de l'eau.

MF : Matière fraîche.

HPA (hpa) : Hauteur de la partie aérienne.

nbf: Nombre des feuilles.

DC (dc) : Diamètre au collet.

LPS (lps) : Longueur de la partie souterraine.

PFT (pft) : Poids frais totale.

PST (pst) : Poids sec total.

PFPA (pfpa) : Poids frais de la partie aérienne.

PFPS (pfps) : Poids frais de la partie souterraine.

PSPA (pspa) : Poids sec de la partie aérienne.

PSPS (psps) : Poids sec de la partie souterraine.

Résumé :

Le but du présent travail est l'étude du comportement de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) en condition de stress hydrique, et essayé de dégager d'éventuels critères morpho- physiologiques d'évaluation de la tolérance de cette espèce à la contrainte hydrique, pour son essai d'introduction dans la région de M'doukel.

Les tests de germination réalisés ont révélés des taux de germination élevés de 45% au laboratoire, et des taux relativement faibles (8 – 12%) à M'doukel.

L'effet du stress hydrique était très hautement significatif sur la quasi-totalité des traits morpho - physiologiques analysés. En effet, nous avons noté une baisse graduelle dans le contenu relatif en eau, la transpiration, et le pourcentage d'intégrité cellulaire, pour atteindre des valeurs minimales aux stress les plus sévères (20% et 10%). Cet abaissement est suivi d'une accumulation importante de solutés (glucose et proline), cette dernière s'accroît au fur et à mesure que le niveau de stress devient plus sévère. Toutefois, nous avons constaté qu'au niveau du stress (30% et 40%), cette accumulation des solutés serait due dans sa majeure partie à une osmorégulation active, signifiant la probable mise en place des phénomènes de tolérance à la sécheresse tels que l'ajustement osmotique. Parallèlement à cette augmentation des solutés, nous avons noté une augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau, qui a été plus marqué pour les régimes hydriques 30% et 40%, pour se réduire au niveau des stress les plus sévères.

Pour l'ensemble des résultats concernant les paramètres morphologiques, l'application d'un stress hydrique sévère (20% et 10%), induit chez cette espèce une réduction de la hauteur, diminution du nombre des feuilles, réduction de la croissance radiale, réduction de la biomasse, augmentation de la longueur de la partie racinaire et enfin allocation préférentielle de biomasse vers les racines. En effet, les meilleurs résultats sont obtenus chez les plants subissant des stress hydriques modérés (30% et 40%).

A M'doukel, Concernant les variations notées sur les paramètres liés au phénomène de croissance, on a enregistré le dégagement de quatre périodes de croissance. Toutefois, pour les deux techniques de semis (semi direct et semi en sachet de polyéthylène) ; on a constaté, qu'il est possible d'utiliser soit le semis direct, soit des plants en sachet de polyéthylène, mais ces derniers ne doivent en aucun cas excéder 6 mois.

En conclusion, nous avons constaté que l'arganier manifeste effectivement des traits d'adaptation morpho – physiologiques en conditions déficitaires, avec un bon comportement aux conditions pédoclimatiques du site de M'doukel, donc une possibilité d'introduction de l'arganier dans cette zone.

Mots clés : *Argania spinosa*, stress hydrique, tolérance, ajustement osmotique, paramètres morpho – physiologiques, zone aride.

الملخص:

الهدف من هذا العمل هو دراسة نبات الأرقان، تحت ظروف الإجهاد المائي، ومحاولة استخلاص بعض المؤشرات المورفوفيزيولوجية المتدخلة في قابلية النبات لمقاومة العجز المائي، من أجل محاولة إدخالها في منطقة مدو كال. اختبارات الانتاش المحققة أو ضحت نسب إنتاش مرتفعة على مستوى المخبر (٤٥%)، مقابل نسب إنتاش ضعيفة على مستوى منطقة مدو كال (٨-١٢%).

تأثير الإجهاد المائي كان جد معنوي على غالبية المعايير المورفوفيزيولوجية المدروسة، إذ لاحظنا تناقص تدريجي في محتوى الماء النسبي، النتح، ونسبة التناشق الخلوي، للوصول إلى قيم دنيا في مستويات العجز المائي المتقدمة من ١٠ إلى ٢٠% من السعة الحقلية. هذا التناقص كان مصحوبا بترامم معتبر لبعض المركبات (الجلوكوز والبرولين)، هذا الترامم يزداد بازدياد حدة العجز المائي. في مستويات العجز المائي المتوسطة (٣٠-٤٠%) من السعة الحقلية، لاحظنا ارتفاع قابلية النبات لاستعمال الماء خاصة في مستويات العجز المائي المتوسطة (٣٠ إلى ٤٠%) من السعة الحقلية، لكي تتناقص في المستويات الأكثر حدة من الإجهاد المائي (١٠ إلى ٢٠%) من السعة الحقلية. الإجهاد المائي أدى إلى نقص في معايير النمو لنبات الأرقان (تناقص في الطول، تناقص في عدد الأوراق، تناقص في النمو العرضي، تناقص في وزن النبات...)، علما أن أحسن النتائج المتحصل عليها فيما يخص نمو النبات قد تم تسجيلها في مستويات العجز المائي المتوسطة (٣٠-٤٠%) من السعة الحقلية.

في منطقة مدو كال، وفي ما يخص معايير النمو المدروسة لوحظ وجود ٤ مراحل للنمو. أما بالنسبة للتقنيات المستعملة لزراع نبات الأرقان، لاحظنا إمكانية استعمال طريقة الزرع المباشر، أو طريقة الزرع عن طريق أكياس البوليبيثيلين، هذه الأخيرة لا يجب أن يفوق نمو النبتة فيها ٦ اشهر.

كخلاصة، يمكن القول أن نبات الأرقان قد أوضح فعلا قدرته على التأقلم، سواء من الناحية المرفولوجية أو الفيزيولوجية تحت ظروف العجز المائي، مع تصرف إيجابي من ناحية تأقلمه مع التربة والمناخ لمنطقة مدو كال، إذن من الممكن إدخال نبات الأرقان في هذه المنطقة

الكلمات المفتاحية: الأرقان، الإجهاد المائي، المقاومة، التعديل الاسموزي، المعايير المورفوفيزيولوجية، منطقة جافة.

Abstract:

The aim of this current work is the study of the spider behavior of argan tree (*Argania spinosa* (L.) Skeels) in water stress condition and try to free of eventual morpho – physiological criterion of evaluation of the tolerance of this species to the water constraint, for its test of introduction in the region of M'doukel.

The tests of germination achieved revealed rates of high germination of 45% in the laboratory, and relatively poor rates (8 – 12%) in M'doukel.

The effect of water stress was highly significant on the quasi – totality of morpho - physiological traits analyzed. In deed, we have remarked a gradual decrease in the relative water content, transpiration rate and the percentage of cellular integrity to achieve minimal values to the more severe stress (20% and 10%). This lowering is followed by an important accumulation of solutions (glucose and proline), this later increase in proportion as the level of stress becomes more severe. However, we noticed that at stress level (30% and 40%), this accumulation of solutions will be fitting in its major part to an active osmoregulation meaning the probable placing the phenomenon of the tolerance to the draught like the osmotic adjustment. Parallel to this augmentation of solutions, we remarked an augmentation of the water use efficiency, which was marked for the level of water stress 30% and 40%, to decrease at stress level the most elevated.

For the whole of results concerning the morphological parameters, the application of severe water stress (20% and 10%) induces in this species a decrease in height, diminution in leaves number, decrease of radial growth, decrease of the biomass, augmentation of the allocation of biomass towards the roots. In fact the best results are obtained in plants submitting moderate water stress (30% and 40%), this was explained by the maintaining of a relative water content which is elevated due to an active osmoregulation, this clarifies the role of the osmotic adjustment phenomena in the growth phenomenon maintain.

In M'doukel, concerning the variation noticed on the parameter related to the growth phenomenon, the releasing of four periods of growth were recorded. However for the two techniques of seedlings (direct seedling and seedling in polyethylene bag), it was remarked that it is possible to use either, the direct seedling, or seedling in polyethylene bag, but these later should not exceed six months.

In conclusion, we noticed that the spider shows effectively features of morpho - physiological adaptation in drought conditions, with a good behavior to pedoclimatic conditions of the M'doukel site, therefore a possibility of the introduction of argan tree in this area.

Kay words: *Argania spinosa*, water stress, tolerance, osmotic adjustment, morpho -physiological traits, arid zone.