

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE AL HADJ LAKHDAR – BATNA

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

**MEMOIRE DE MAGISTERE
EN SCIENCES AGRONOMIQUES**

Option : AGROTECHNIE

**Réponse de la luzerne (*Medicago sativa* L) au
stress hydrique et à la profondeur de semis**

Présenté par : Mme HIRECHE YASMINA née ADJAL

Soutenu publiquement le 22 Février 2006

Devant le Jury composé de :

Présidente : Mme O. **ALLOUI**: Prof. Université de Batna
Promoteur : Mr B. **OUJJEH** : M.C Université de Batna
Examineur: Mr A. **BENBELKACEM**: M.R ITGC El Khroub
Examineur: Mr M. **LAMARI** : MC Université de Batna
Examineur: Mr R. **MOKRANE**: C.C Université de Batna

Remerciements

C'est avec beaucoup de reconnaissance que j'adresse mes sincères remerciements à Monsieur **Bachir Oudjehih**, Maître de Conférences à l'Université de Batna, pour avoir suivi et dirigé ce travail. Ses conseils, ses orientations ainsi que ses critiques m'ont été d'un apport précieux.

Je remercie également Madame **Ourida Aloui**, Professeur à l'Université de Batna, qui m'a fait l'honneur d'avoir accepté de présider le jury de soutenance.

Mes remerciements vont aussi à Monsieur **Rachid Mokrane**, Docteur, Chargé de Cours à l'Université de Batna, Monsieur **Abdelkader Benbelkacem**, Maître de Recherche à ITGC d'El Khroub et Monsieur **Malik Lamari**, Maître de Conférences à l'Université de Batna, d'avoir eu la gentillesse d'accepter de faire partie du jury de cette soutenance.

Je n'oublierais pas de remercier Monsieur Zoubir Bencid pour son aide précieuse ainsi que tous ceux qui m'ont aidé, d'une manière ou d'une autre, dans la réalisation de ce travail.

Table des matières

REMERCIEMENTS	2
RESUME	5
INTRODUCTION	6
PARTIE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	8
1. DONNEES GENERALES SUR LE ROLE DE L'EAU DANS LA PLANTE.....	9
1.1- <i>La turgescence cellulaire</i> :	9
1.2- <i>Maintien des structures chimiques et biochimiques</i>	9
1.3- <i>Transport des éléments minéraux et des substances organiques</i>	9
1.4- <i>Régulation thermique</i> :	10
1.5- <i>Source d'éléments essentiels</i> :	10
1.6- <i>Participation à des réactions biochimiques</i> :	10
2- RESISTANCE A LA SECHERESSE.....	10
2.1- <i>Définitions</i>	10
2.2- <i>L'évitement de la sécheresse par la plante</i>	11
2.3- <i>La tolérance à la sécheresse avec maintien du potentiel hydrique élevé</i>	12
2.4- <i>La tolérance à la sécheresse avec une faible teneur en eau</i> :	12
2.5- <i>Rôle de la proline et des glucides dans l'adaptation à la sécheresse</i>	13
2.5.1- <i>La proline</i>	13
2.5.2- <i>Les sucres solubles</i>	15
3- PARAMETRES AFFECTES PAR LE STRESS HYDRIQUE	15
3.1- <i>La photosynthèse</i> :	16
3.2- <i>La croissance végétative</i> :	16
3.3- <i>Le rendement et la composition de la graine</i> :	17
3.4- <i>Le développement phénologique</i>	18
4- DONNEES RELATIVES A LA LUZERNE	18
4.1- <i>Origine géographique et aire de répartition</i>	18
4.2- <i>Caractères généraux</i>	19
4.3- <i>Place dans la classification</i>	19
4.4- <i>Espèces et variétés spontanées rencontrées en Algérie</i>	20
4.5- <i>Stade végétatif (figure)</i>	21
4.6- <i>Intérêt de la plante</i>	22
4.7- <i>Effet du stress hydrique</i>	23
5-PROFONDEUR DE SEMIS	25
PARTIE II : MATERIELS ET METHODE	27
1- MATERIEL VEGETAL.....	28
2- METHODES	28
2.1- <i>Protocole expérimental adopté</i>	28
2.1.1- <i>Préparation de la culture</i>	28
2.1.1.1- <i>Sol et récipients utilisés</i>	28
2.1.1.2- <i>Fertilisation</i>	28
2.1.1.3- <i>Densité de semis</i> :	29
2.1.2- <i>Traitements étudiés</i> :	29
2.1.2.1- <i>stress hydrique</i>	29
2.1.2.2- <i>profondeur de semis</i>	30

2.1.3- dispositif expérimental adopté.....	30
2.2 - Paramètres mesurés	31
2.2.1- Longueur cumulée des plantes (L).....	32
2.2.2- Biomasse sèche (BS).....	33
2.2.3- Surface foliaire (Sf)	33
2.2.4- Turgescence relative des feuilles TR	33
2.2.5- Teneur en chlorophylle (TC)	33
2.2.6- teneur en proline des feuilles (TP).....	34
2.2.7- Teneur en sucre soluble des feuilles (TS)	34

PARTIE III: RESULTATS ET DISCUSSIONS 36

1- INFLUENCE DU STRESS HYDRIQUE.....	37
1.1- Action sur les paramètres de croissance	37
1.1.1- Longueur cumulée de la tige	37
1.1.1.1- Dynamique de croissance.....	37
1.1.1.2- Comparaison valeurs moyennes	38
1.1.1.2.1- Influence du régime hydrique	38
1.1.1.2.2- Influence variétale	40
1.1.1.3- Discussions	42
1.1.2- Surface foliaire	42
1.1.2.1- Effet du régime d'arrosage.....	42
1.1.2.2- Effet variétal	43
1.1.2.3- Discussions	44
1.1.3- Biomasse sèche aérienne totale par plante.....	44
1.1.4- Biomasse sèche des feuilles	45
1.1.5- Biomasse sèche de la tige.....	47
1.1.6- Rapport biomasse sèche feuilles / biomasse sèche des tiges	48
1.1.7 – Discussions	50
1.2- Action sur les paramètres physiologiques	50
1.2.1- Turgescence relative des feuilles	50
1.2.2- Teneur en chlorophylle des feuilles	52
1.2.2.1- Résultats	52
1.2.2.2- Discussions	54
1.2.3- Teneur en proline et en sucres solubles des feuilles	55
1.2.3.1- Résultats	55
1.2.3.2 - Discussions	57
2 - INFLUENCE DE LA PROFONDEUR DE SEMIS	58
2.1 - Action sur les paramètres de croissance	58
2.1.1 - Longueur de la tige.....	58
2.1.2 - Surface foliaire (SF):.....	61
2.1.3 - Biomasse sèche aérienne totale par plante.....	62
2.1.4 - Biomasse sèche des feuilles	64
2.1.5 - Biomasse sèche des tiges :.....	65
2.1.6 - Rapport biomasse sèche des feuilles/biomasse sèche des tiges	66
2.2 - Discussion :	67
2.3 - Actions sur les paramètres physiologiques.....	68

CONCLUSION 73

BIBLIOGRAPHIE 75

Résumé

Les plantes adaptées à la sécheresse développent plusieurs mécanismes morphologiques et physiologiques qui leur permettent de résister à ces conditions contraignantes. Ces mécanismes ont été étudiés sur deux variétés de luzerne perenne. Les résultats obtenus ont montré une capacité d'osmorégulation importante grâce à l'accumulation de proline et de sucres solubles. En parallèle, une étude sur différentes profondeurs de semis appliqués à ces mêmes variétés en condition d'alimentation en eau non limitante a été réalisée. Les résultats ont montré l'absence d'effets néfastes de la profondeur de semis sur le développement de la plante.

ملخص

طورت النباتات المتأقلمة مع الجفاف عدة آليات مورفولوجية وفيزيولوجية تمكنها من مقاومة هذه الظروف المقيدة. أجريت دراسة هذه الآليات على نوعين من نبات البرسيم وأظهرت النتائج المتحصل عليها قدرة كبيرة على التكيف مع ظروف النقص المائي. وفي نفس الوقت أجريت دراسة على ذات النبتة مع اختلاف مستويات عمق الزرع في ظروف تغذية مائية غير مقيدة، فأظهرت النتائج عدم التأثير السلبي لمستوى عمق الزرع على نمو النبات.

Introduction

L'eau est un élément vital pour la croissance et le développement des plantes. Cependant, les végétaux sont caractérisés par une grande capacité à résister à des variations importantes de la teneur en eau de leurs tissus. Beaucoup de plantes peuvent supporter sans dommage apparent une perte d'eau de 30%. Cette valeur peut atteindre 40% pour le maïs et 70% pour la luzerne (Morard, 1995). Avant d'atteindre ces valeurs limites, le stress hydrique exerce différents effets physiologiques et morphologiques.

Les ressources en eau sont limitées et la recherche de plantes plus adaptées à la sécheresse est un enjeu fondamental pour la production agricole dans les prochaines décennies.

La capacité d'évaluer quantitativement les performances des plantes cultivées subissant un stress hydrique est très importante au niveau des programmes de recherche qui visent la réhabilitation et l'amélioration de la production en régions semi arides (INRA, 2000). De nombreux chercheurs travaillent sur des variétés adaptées à ces régions capables de produire le maximum de biomasse ou de graines en condition de déficit hydrique. Cette sélection s'intéresse aux mécanismes d'adaptation susceptibles d'être utilisés pour l'amélioration génétique.

En Algérie, les précipitations annuelles sont aléatoires et les sécheresses imprévisibles et sévères. Elles viennent aggraver la situation de l'agriculture qui connaît un déficit fourrager énorme où les animaux sont soumis à des périodes de disettes fréquentes (Abdelguerfi, 1994). Ainsi, c'est l'alimentation qui constitue l'une des contraintes majeures à l'essor de l'élevage en Algérie. En 2001, le taux de couverture des besoins du cheptel algérien est estimé à moins de 80%. Ce déficit fourrager est de l'ordre de 32% en zone steppique (GREDAAL, 2003 in Adem et Ferrah, 2003). Les terres consacrées à la production fourragère couvrent 33 millions d'hectares. Les cultures fourragères occupent seulement 1,6% de cette superficie alors que la jachère représente 10,6%, les pacages et parcours 87,7% et les prairies naturelles 0,1% (Nedjraoui, 2003). Les fourrages cultivés sont composés essentiellement de vesce avoine avec 70% de la surface cultivée, 10% sont affectées aux céréales, orge, avoine, seigle. La luzerne et le sorgho sont peu représentatifs (1 à 5% de la superficie cultivée) (Abdelguerfi, 1987 in Nedjraoui, 2003).

Pour accroître les productions céréalières et diversifier les ressources fourragères, de nombreuses études et expérimentations ont été entreprises durant ces vingt dernières années (LE HOUERROU, 1971, projet PNUD-FAO-Saida, Projet ACSAD-Tiaret, Dossier organisation et résorption de la jachère du Ministère de l'agriculture). Ces actions avaient pour but la réduction et les possibilités d'alternative de la jachère (Nedjraoui, 2003). Parmi les cultures proposées, on retrouve pour la production de fourrage vert, la luzerne pérenne en rotation avec le blé dans l'étage bioclimatique subhumide (> 600mm) (Hamadache, 1991).

Les essais menés dans ces zones ont montré l'intérêt de cette espèce et ses fortes potentialités de production aussi bien en sec qu'en irrigué (Giovani, 1969 in Hamadache, 1991)

La luzerne étant cultivée sur une grande partie du globe, elle se trouve exposée à des climats rigoureux contre lesquels elle présente une remarquable aptitude à résister autant au froid qu'à la chaleur (Mauries, 1998). Son introduction dans les zones arides et semi arides peut donc être envisagée en vue de l'intensification de la production végétale.

Très peu de données sont disponibles sur la luzerne. Aussi avons-nous envisagé, au cours de la présente expérimentation, d'étudier la réaction de deux variétés de luzerne pérenne à un déficit hydrique. Le but étant de rechercher des caractères morphologiques et physiologiques liés à la résistance à la sécheresse susceptibles de permettre la sélection d'un matériel végétal adapté pouvant donner des rendements satisfaisants.

Un deuxième aspect de l'étude concerne l'impact de la profondeur de semis sur les caractères morphologiques et physiologiques. Il s'agit de déterminer si des profondeurs de semis variables représentent une contrainte pour la plante et s'il y a possibilité d'un semis plus profond afin d'éviter les inconvénients d'un semis superficiel.

PARTIE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Données générales sur le rôle de l'eau dans la plante

L'eau est un élément vital pour la croissance et le développement des cultures.

La richesse en eau des plantes est variable selon les espèces, les organes et les milieux de vie. En effet, une salade peut contenir 90 à 93% d'eau, une feuille est composée souvent de 80 à 90% d'eau et le bois fraîchement coupé peut renfermer 30 à 50% d'eau (**Leclerc**, 1999).

La nécessité de l'eau pour la plante est prouvée par de multiples observations comme le flétrissement et la mort des plantes laissées sans eau, d'où l'importance de l'irrigation et la relation entre la végétation et les pluies (**Kiès**, 1977). Les rôles multiples assurés par l'eau au sein des plantes en font le premier facteur limitant leur fonctionnement. Parmi ces rôles, nous pouvons citer :

1.1- La turgescence cellulaire :

Celle-ci donne une grande rigidité aux tissus végétaux et assure le port dressé des organes dépourvus de tissu de soutien. Quand la plante subit une alimentation hydrique insuffisante, les cellules perdent de l'eau et le volume de la vacuole diminue (plasmolyse). Aussi, la première manifestation visuelle d'une déshydratation se traduit par la perte de turgescence qui conduit au flétrissement et à l'abandon du port érigé.

C'est aussi la turgescence qui, associée au phénomène de croissance, permet la pénétration des racines dans le sol (**Kiès**, 1977).

1.2 - Maintien des structures chimiques et biochimiques

L'eau contribue au maintien de la structure et de l'organisation de la cellule car elle forme la phase de dispersion du cytoplasme pour les constituants chimiques et organiques.

1.3- Transport des éléments minéraux et des substances organiques

Au niveau de la plante entière, l'eau est le vecteur de la migration des éléments minéraux absorbés par les racines. C'est aussi en milieu aqueux que sont transportées les substances élaborées dans

les feuilles et que sont véhiculés les déchets du catabolisme (Morard, 1995)

1.4- Régulation thermique :

Pour une plante, aussi importante que soit la teneur interne en eau, cette dernière ne représente, en fait qu'une très faible partie de la quantité absorbée par les racines (environ 1% selon Morard, 1995). En effet, l'eau n'est pas à proprement parler consommée. Elle ne fait que passer du sol à l'atmosphère avec un flux très important comme, par exemple, 6000 m³ / ha/ an pour une culture couvrant le sol en été.

Cette eau est émise sous forme de vapeur d'eau, c'est la transpiration. Celle-ci permet de réguler la température des parties aériennes et aide la plante à dissiper la chaleur absorbée sous forme de radiations solaires.

1.5- Source d'éléments essentiels :

L'eau est aussi une source d'éléments essentiels pour le métabolisme des végétaux. Sa décomposition fournit différents constituants nécessaires à la biosynthèse des molécules organiques.

1.6- Participation à des réactions biochimiques :

Les molécules d'eau participent directement à de nombreuses réactions biochimiques d'hydrolyse ou de condensation.

Il est à noter également que l'eau en excès altère les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et gêne la plante en la privant d'aération, ce qui limite son développement racinaire et favorise les maladies et les accidents végétatifs (Moïse, 1976).

De même, une insuffisance d'eau est nuisible car le déficit hydrique est l'un des éléments limitant la production des cultures, surtout en période de croissance (Mangel et Kirkby 1979 ; Hanks et Rasmussen, 1982).

2- Résistance à la sécheresse

2.1- Définitions

La définition de la sécheresse varie selon le secteur de l'économie concerné. En agriculture, elle est définie comme un déficit marqué et soutenu des précipitations qui réduit significativement les

productions agricoles par rapport à la normale pour une région de grande étendue (McKay, 1985 in Bootsma et al, 1996).

D'après Casals (1996), la sécheresse peut être définie correctement en considérant la disponibilité et les besoins en eau de la plante. Cruisiat (1980 in Casals, 1996) considère qu'une plante est en situation hydrique limitante lorsque son évapotranspiration est inférieure à l'évapotranspiration maximale. Si l'on tient compte des réserves négligeables en eau de la plante, il faut admettre que le déficit hydrique est très étroitement lié à la disponibilité en eau du sol par rapport à la demande climatique.

La plante est atteinte au cours d'une campagne de culture, de façon plus ou moins prononcée, par le manque d'eau (Casals, 1996). Elle subit par conséquent un stress hydrique. Si la plante est apte à maintenir l'intégrité de ses structures et de ses fonctions physiologiques, alors nous définissons la plante comme résistante à la sécheresse.

Kramer (1980 in Casals, 1996) définit la résistance de la plante comme une modification héréditaire de structures, ou fonctions, qui augmente la probabilité de l'organisme à survivre et à se reproduire dans un environnement particulier.

En Agronomie, la résistance de la plante est définie comme l'aptitude à minimiser la perte de croissance et de rendement.

La résistance à la sécheresse est définie de différentes manières, ce qui explique l'existence de plusieurs classifications (Levitt, 1980) ; (Parson, 1980, in Casals, 1996 ; Turner, 1979 ; Turner, 1986). La classification la plus largement admise et la plus communément employée est celle proposée par Milthorpe (1962 in Casals, 1996). Elle considère trois grands types de résistance à la sécheresse.

2.2- L'évitement de la sécheresse par la plante

Les plantes évitent la sécheresse en lui échappant (drought scape) grâce à des particularités de leur cycle de développement. Cela signifie que la plante a la capacité d'accomplir son cycle avant que le déficit hydrique ne soit important. C'est un changement dans la longévité du cycle phénologique. La plante peut soit le raccourcir soit, au contraire, l'allonger. Il s'agit, en fait, d'inscrire le cycle de sorte à éviter la coïncidence des phases critiques avec l'occurrence de stress. On parle alors du bon calage phénologique (Levitt, 1980). Aussi, les progrès les plus importants réalisés dans la sélection pour l'amélioration des rendements des espèces cultivées en régions arides ont consisté à réduire la durée du cycle de développement (Vartanian et Lemée, 1984).

Turner (1979) note que l'amélioration des rendements en conditions sèches est due, pour sa plus grande part, à la précocité. Celle-ci serait responsable de 40 à 60% de la variabilité du rendement. Dans une étude portant sur 53 cultivars de blé, d'orge et de triticale, Fisher et Maurer (1978) ainsi que Turner (1986) ont montré que chaque

jour de précocité supplémentaire conduisait à une augmentation moyenne du rendement de 3 q/ha

Dib et al (1991) signalent qu'en conditions méditerranéennes, par exemple, la recherche d'une plus grande précocité a été jusqu'ici le moyen le plus utilisé pour éviter les effets négatifs du déficit hydrique et des hautes températures de fin de cycle sur le remplissage du grain chez le blé dur.

La plante peut, également, éviter la sécheresse en réduisant ses pertes en eau (water savers) (Maximov, 1929).

Aussi, la réduction de la surface foliaire transpirante est très souvent associée à un évitement de la contrainte hydrique (Keim et Kronstard, 1981 ; Fussel et al, 1991). Il en est de même pour un système racinaire extensif et une fermeture rapide des stomates (Hurd, 1968 ; Levitt, 1980).

2.3- La tolérance à la sécheresse avec maintien du potentiel hydrique élevé

Cela consiste pour la plante à maintenir son potentiel hydrique. Pour cela, la plante doit augmenter l'absorption racinaire et/ou réduire sa transpiration. Les différents mécanismes intervenant sont principalement :

- l'augmentation de la vitesse d'absorption de l'eau en relation avec le développement du système racinaire
- la réduction des pertes en eau par transpiration grâce à des adaptations morphologiques (présence de cire à la surface des feuilles, réduction de la surface foliaire).

2.4- La tolérance à la sécheresse avec une faible teneur en eau :

Cette tolérance fait intervenir des modalités tout à fait différentes dont le principe de base est la préservation de l'intégrité structurale et fonctionnelle des tissus lorsque le potentiel hydrique baisse (Vartanian et Lemée, 1984).

Elle se fait par deux mécanismes : maintien de la turgescence cellulaire et tolérance à la dessiccation (appelée résistance).

Concernant le premier mécanisme, le potentiel hydrique est réduit mais celui de turgescence se maintient grâce à l'augmentation du potentiel osmotique. C'est le mécanisme d'ajustement osmotique.

La conservation de l'eau dans les cellules nécessite une accumulation de solutés (proline, bétaïne, glycine et sucres). Il y a donc une augmentation de la teneur en certains solutés qui est en réalité un paramètre d'adaptation aux conditions de stress hydrique (Kameli et Losel, 1995).

Concernant la tolérance à la dessiccation, celle-ci dépend de la capacité des membranes à résister à la dégradation enzymatique et à

la dénaturation des protéines (Gaff, 1980), grâce à certains osmo-protecteurs (Bétaïne, sucres solubles) et à la modification de leur composition phospholipidique (Pugnaire et al, 1993). Une capacité d'accumulation et de remobilisation des réserves glucidiques et une résistance protoplasmique relativement élevées sont donc associées à une tolérance à la contrainte hydrique (Adjahossou, 1983 ; Bensalem et Dasilva, 1991).

Ainsi, dans une étude comparative de l'adaptation à la sécheresse du blé, de l'orge et du triticale, Bensalem (1993) signale que les caractéristiques observées au sein de chaque espèce ont été associées aux diverses formes de résistance à la sécheresse. Les résultats montrent que les variétés d'orge se caractérisent par un évitement et une esquive du déficit tardif en eau. Le triticale développe davantage de paramètres de tolérance alors que le blé est caractérisé par des attributs qui sont en relation à la fois avec l'évitement et la tolérance.

En réalité, les notions d'adaptation et de résistance ne sont pas toujours claires. Ces termes sont parfois employés de façon équivoque l'un à la place de l'autre. L'adaptation se traduit, en réponse à la contrainte, par une succession de modifications aux niveaux cellulaire, sub-cellulaire et moléculaire qui sont dépendantes des potentialités génétiques de l'espèce (Demarly, 1984).

Les orientations métaboliques induites aboutissent à des transformations morphologiques et physiologiques déterminant une résistance plus ou moins achevée et efficace de l'individu à la contrainte.

L'adaptation correspond donc à une dynamique réactionnelle dont la résultante est la résistance (Vartanian et Lemée, 1984).

En résumé, nous pouvons dire que le processus d'évitement est important mais il ne prend en compte que les aspects phénologiques de la plante. Pour les autres processus, c'est la définition de l'état hydrique qui semble primordial. Le maintien de la turgescence, par l'un ou l'autre des mécanismes, permet la préservation des fonctions physiologiques de la plante.

2.5- Rôle de la proline et des glucides dans l'adaptation à la sécheresse

2.5.1- La proline

L'exposition des plantes à des conditions de sécheresse engendre une réaction d'adaptation qui se traduit par des changements de nature métabolique, physiologique et morphologique.

L'accumulation de proline est l'une des stratégies adaptatives fréquemment observées chez les plantes pour limiter les effets du

stress hydrique. Elle est liée à l'osmorégulation cytoplasmique (Acevedo et al, 1989).

L'évolution de la teneur en proline au cours du cycle végétatif des plantes de blé dur et de blé tendre a été étudiée. L'adaptation des blés à la sécheresse s'est caractérisée par une accumulation en proline libre des feuilles. Cette accumulation est beaucoup plus marquée chez les variétés considérées comme tolérantes à la sécheresse. Chez les deux types de blé, l'élévation de la teneur en proline est plus liée à un déficit hydrique qu'à un stade végétatif particulier de la plante (Nemmar, 1983 ; Monneveux et Nemmar, 1986). Ces travaux confirment les résultats obtenus par d'autres chercheurs et selon lesquels les variétés qui accumulent plus de proline sont celles considérées tolérantes à la sécheresse.

L'étude de l'accumulation de la proline chez les végétaux soumis aux contraintes mésologiques a été abordée par de nombreux auteurs et les résultats obtenus indiquent une augmentation dans la concentration de l'acide aminé proline chez les plantes exposées à différents stress.

Chez les plantes soumises à un régime de stress, Kemple et Mac Pherson (1954), Barnett et Naylor (1966) ainsi que Hubac et Chouard (1973), in Nemmar, (1983) soulignent une élévation de la teneur en proline et remarquent que cette accumulation est une conséquence directe du déficit hydrique.

Hubac (1967) et Le Saint (1969) montrent que la proline exogène appliquée aux plantules augmente leur résistance à la sécheresse.

Singh et al (1973) signalent que l'accumulation de proline chez les variétés d'orge traduit leur résistance à la sécheresse. Ces variétés accumulent plus de proline lors du déficit hydrique.

Dib et al (1991) signalent une forte augmentation de la teneur en proline chez le blé dur au début de la période de la contrainte hydrique pour diminuer après quelques jours de déficit (12 jours).

Les travaux sur le blé dur réalisés par Adjab (2002), ont montré des teneurs élevées en proline surtout en cas de déficit hydrique prononcé. Ces résultats confirment ceux obtenus par Adjab et Khezane (1998) ainsi que ceux obtenus par Bammoun (1997) qui notent une augmentation de la teneur en proline chez 13 variétés de blé dur. Cette augmentation est observée par rapport au témoin après 10 heures de stress et après 24 heures de stress. Il est toutefois constaté que l'accumulation est plus importante après 24 heures de stress.

Blum et Ebercon (1976) notent chez le sorgho l'existence d'une relation entre capacité d'accumulation de la proline et aptitude de récupération de la plante à l'issue du déficit hydrique, et suggèrent que l'acide aminé sert d'énergie lors du retour aux conditions normales. Dreier (1987) rapporte que l'augmentation de la teneur en proline est une réponse protectrice des plantes à tous les facteurs qui entraînent une diminution en eau du cytoplasme. En fait, le rôle de l'accumulation reste encore mal connu. S'agit-il d'un simple symptôme de souffrance ?

(Singh et al, 1973) ou d'un véritable mécanisme de tolérance ? (Hubac et Guerrier, 1972 in Bammoun, 1997).

2.5.2- Les sucres solubles

D'après Bensari et al. (1990), lors d'un déficit hydrique, les réserves amylacées sont progressivement utilisées et pourraient être un facteur de tolérance au manque d'eau. Lorsque la contrainte hydrique cesse, la feuille reconstitue les réserves d'amidon et si une nouvelle contrainte hydrique intervient, le temps d'adaptation est plus court. Beaucoup d'auteurs ont mis en évidence le rôle protecteur des sucres sur les membranes, en particulier mitochondriales (Todd, 1972 ; Duffus, 1989 in Bammoun, 1997; Duffus et Binne, 1990 in Bammoun, 1997). Leur présence permettrait le maintien des réactions de phosphorylation et de production d'énergie. Outre ce rôle protecteur des membranes, les hydrates de carbone protègent les processus par lesquels les enzymes sont synthétisés (Parker, 1968 in Bammoun, 1997), ce qui impliquerait une meilleure tolérance de la plante à la dessiccation et une meilleure résistance à la sécheresse (Duffus, 1989 in Bammoun, 1997).

Concernant les sucres solubles, Dib et al. (1991) remarquent que les variations de teneur chez le blé dur sont beaucoup plus faibles que dans le cas de la proline, et les teneurs les plus élevées sont obtenues au 12^{ème} jour de déficit hydrique.

Les résultats obtenus par Adjab (2002) au cours du dosage des sucres solubles effectués sur la cinquième feuille de 5 génotypes de blé dur montrent que ces derniers présentent une accumulation plus ou moins élevée.

3- paramètres affectés par le stress hydrique

Les végétaux sont caractérisés par une grande capacité à résister à des variations importantes de la teneur en eau de leur tissus. Beaucoup de plantes peuvent supporter sans dommage apparent une perte d'eau de 30%. Cette valeur peut même atteindre 40% pour le maïs et 70% pour la luzerne (Morard, 1995).

Néanmoins, lorsque l'alimentation hydrique est interrompue, la plante a du mal à répondre à la demande climatique, la teneur en eau du sol dans la zone racinaire décroît et induit une diminution à la transpiration ainsi que du potentiel hydrique foliaire. Le stress hydrique au niveau de la plante va affecter différents paramètres.

3.1- La photosynthèse :

De nombreux auteurs (Hsiao, 1973 ; Johnson, 1974 ; Oosterhuis, 1987) ont mis en évidence l'influence du stress hydrique sur la photosynthèse. Ils s'accordent à dire que l'assèchement du sol diminue cette fonction. D'une manière générale, les auteurs distinguent deux types d'action du stress hydrique sur la photosynthèse :

- a) une augmentation de la résistance stomatique qui limite la diffusion du CO₂ vers l'intérieur de la feuille et diminue par la même le taux de photosynthèse.
- b) Une action métabolique au niveau de la cellule ou au niveau des organites qui agira aussi bien sur la photosynthèse que sur la respiration.

En général, l'essentiel de la diminution de la photosynthèse due au stress hydrique est attribué à la fermeture des stomates (Oosterhuis, 1987). Selon Aboussouan Seropia et al (1985), les cellules stomatiques et non stomatiques chez le blé dur concourent parallèlement à la dépression de la photosynthèse au cours d'un stress hydrique. Slavick (1965 in Koslowsky, 1968) ainsi que Hanks et Rasmussen (1982) signalent que le stress hydrique peut diminuer l'intensité photosynthétique par la réduction de la surface foliaire. Ceci est également rapporté par Bidinger et Witcombe (1989) selon lesquels la réduction de la surface foliaire minimise les pertes d'eau et provoque une diminution du rendement à cause de la réduction de la capacité photosynthétique.

Par ailleurs, selon Casals (1996), certains travaux ont montré que des stress hydriques drastiques pouvaient réduire la photosynthèse par des mécanismes non stomatiques. Il a été prouvé que certains processus biochimiques de la photosynthèse peuvent être affectés par le déficit hydrique tels que le fonctionnement des photosystèmes avec une réduction de la ferredoxine et production de NADPH (Kaiser et al, 1981, Berkowitz et Gibbs, 1982, 1983), la photophosphorylation et la production d'ATP (Turner et Wellburn, 1985 ; Kaiser et al, 1981), la carboxylation et la régénération de l'accepteur primaire du CO₂ (Kaiser, 1984).

Il est toutefois important de noter que ces effets ne sont possibles que pour des stress sévères et relativement longs, aboutissant à une diminution importante de la teneur en eau relative de la feuille.

3.2- La croissance végétative :

May et Milthorpe (1962, in Nemmar, 1983) ont trouvé que la sécheresse réduit la hauteur et le diamètre de la tige, la longueur des entre nœuds, le nombre des feuilles ainsi que la surface foliaire chez les plantes d'une manière générale. La sensibilité de la croissance de la surface foliaire à un déficit hydrique modéré peut être considérée

comme un mécanisme adaptatif intervenant dans le transfert des assimilats qui favoriseraient la croissance de la racine, améliorant ainsi l'état hydrique de la plante (Feres, 1984)

Chez le tournesol, Liana et al (1972, in Nemmar, 1983) ont constaté que le déficit hydrique au cours de la période végétative réduit d'une manière significative la hauteur de la tige et freine le rythme de synthèse de la matière sèche.

Travaillant sur une mauvaise herbe (*Amaranthus retroflorus*) Hanel et Baralis (1982) ont constaté que la taille finale de la plante, la longueur de l'inflorescence et la surface foliaire sont d'autant plus grandes que la teneur en eau du sol est maintenue élevée.

Moursi et al (1979) ont constaté que l'épuisement dans le sol a causé une réduction du nombre et de la surface des feuilles, de la hauteur des plants, de la teneur en eau des feuilles et du poids de la matière sèche de la fève (*Vicia faba*).

Les résultats obtenus par Adjab (2002), à partir de travaux réalisés sur cinq génotypes de blé soumis à un stress modéré et un stress prononcé, ont montré que plus le stress est prononcé, plus est réduite la surface foliaire, exception faite pour une seule variété qui a réagi par une légère augmentation de la surface foliaire.

3.3- Le rendement et la composition de la graine :

Des travaux sur le blé ont montré que la phase « floraison - maturité » semble être la plus sensible au déficit hydrique. La conséquence visuelle est l'échaudage qui provoque une diminution importante du rendement (Masse, 1981 ; Dubois, 1986 in Casals, 1996).

Il est à signaler également que selon le positionnement dans le cycle de développement et l'intensité de la contrainte, les stress hydriques influencent la composition biochimique des graines des cultures oléo protéagineuses (tournesol, soja, haricot).

Ainsi, chez le tournesol, un déficit sévère durant la floraison et le début de maturation des graines provoque une baisse de rendement due à l'avortement de graines ou à un défaut de remplissage des akènes ainsi qu'une diminution de la teneur en eau, alors qu'un stress intervenant plus tardivement permet un grain de production et de la teneur en certains acides gras.

Chez le haricot et le soja, un déficit modéré en phase post-florale permet d'augmenter significativement la teneur en protéines par le jeu des mobilisations azotées des feuilles vers les graines au détriment du maintien de la photosynthèse.

Chez le tournesol, comme chez le soja, quelques soient les génotypes, les teneurs en protéines et en huile sont corrélées négativement et la variation des disponibilités hydriques permet de

déplacer cet équilibre vers l'un ou l'autre de ces constituants majeurs de la graine.

Mouhouche (1993) a étudié les effets dépressifs de l'intensité du stress hydrique appliqué à cinq phases phénologiques correspondant à la période de reproduction d'une culture de fève. Les résultats obtenus montrent une sensibilité variable des différentes phases phénologiques. Un stress modéré appliqué à la phase floraison – nouaison provoque un avortement des organes fructifères et des graines. Par contre, la composante PMG (poids de milles graines) est plus sensible à un stress appliqué à la phase de remplissage des gousses. En cas de stress d'intensité élevée, on remarque un phénomène de compensation entre le nombre de graines par gousse et le PMG, particulièrement lorsque le stress intervient durant la phase floraison.

3.4- Le développement phénologique

Des travaux sur le blé dur fournissent des résultats contradictoires en ce qui concerne la modification de la vitesse de développement en fonction de la disponibilité en eau.

La plupart des travaux (Turner, 1986 ; Steiner et al, 1985 et Frank et al, 1987 in Casals, 1996) montrent que le déficit hydrique accélère le développement phénologique des plantes, néanmoins Chinoy (1960, in Casals, 1996) conclut à une réduction de la vitesse de développement.

En ce qui concerne l'accélération du rythme de développement, Steiner et al (1985, in Casals, 1996) observent que la durée du cycle « semis – floraison » se raccourcit au fur et à mesure qu'augmente le déficit en eau. Cette contradiction apparente entre retard et accélération de la vitesse de développement a été élucidée dans les travaux réalisés par Angus et Moncur (1977, in Casals, 1996). Ces derniers ont démontré que la vitesse de développement peut augmenter ou diminuer selon le degré de sévérité du stress. Ces auteurs ont montré qu'avec des déficits moyens (-5 à -10 bars de potentiel en eau des feuilles), le développement s'accélérait alors qu'avec des déficits hydriques sévères (-28 à -34 bars), le développement prenait du retard. Ils ont aussi observé que cet effet était plus marqué pour les talles que pour le maître brin et, en conséquence, la floraison est plus longue dans le cas de déficits moyens ou longs.

4- Données relatives à la luzerne

4.1- Origine géographique et aire de répartition

La luzerne cultivée comprend 2 espèces botaniques différentes et leurs hybrides. Luzerne faucille (*Medicago falcata*, L), luzerne

commune (*Medicago sativa*, L), luzerne intermédiaire (*Medicago media*, Pers. ou *Medicago varia* Martyr), hybride de *Medicago sativa* x *Medicago falcata* (Camille, 1980)

Medicago sativa est originaire des hauts plateaux iraniens (Prosperi et al, 1995). Soltner (1999) signale l'origine de *Medicago sativa* comme étant méditerranéenne, ce qui confère à cette espèce une adaptation à la sécheresse. *Medicago falcata* est originaire de Serbie occidentale, ce qui explique sa remarquable résistance au froid. Cette double origine géographique et génétique fait que la luzerne soit une des espèces les plus répandues du globe.

Prosperi et al (1995) signalent les aires d'origine de toutes les espèces du genre comme étant « le croissant fertile » recouvrant les pays ou régions actuelles de Turquie, d'Iran, d'Irak, du Sud du Caucase et du pourtour méditerranéen. Ces espèces ont ensuite conquis l'ensemble de la zone méditerranéenne et les steppes avoisinantes au cours du XIX^{ème} siècle, elles ont ensuite envahi d'autres parties du monde, en particulier les continents américains et australiens à l'occasion des différents courants de la colonisation humaine.

4.2- Caractères généraux

Pantes vivaces à fortes racines pivotantes ou à tendance fasciculée (luzerne faucille), leurs tiges portent des feuilles trifoliées à folioles finement dentées au sommet et à inflorescence en grappe de 10 à 20 fleurs. Les fleurs sont violettes, pourpres ou bleuâtres chez la luzerne commune, jaunes chez la luzerne faucille et violettes bigarrées de jaune chez la luzerne intermédiaire.

La fécondation est allogame. Le fruit est une gousse plus ou moins enroulée, soit en forme de faucille pour *Medicago falcata*, soit spiralée (de 1 à 4 spires) pour *Medicago sativa*. La graine plus ou moins réniforme est longue d'environ 2,5 mm (Camille, 1980)

4.3- Place dans la classification

La plupart des espèces du genre *Medicago* sont connues depuis le XVI^{ème} siècle. Ainsi, dans « *Species Plantarum* » (Linné, 1753, in Prosperi et al 1995), plus de 9 espèces ont été décrites dont certaines avec plusieurs variétés botaniques.

Le genre *Medicago* appartient à la famille des Fabaceae, sous famille des papilionideae

Les espèces appartenant à ce genre sont annuelles et pérennes, herbacées ou arbustives. Lesins et Lesins (in Prosperi et al, 1995) recensent 55 espèces dont une arbustive (*M. arborea*), 20 espèces herbacées pérennes et 34 espèces herbacées annuelles. Parmi ces 55 espèces de *Medicago* recensées, une dizaine sont cultivées, la plupart

sont présentes dans les pâturages ou parcours, notamment méditerranéens (Prospéri et al, 1995).

La plus connue parmi ces espèces est la luzerne cultivée (*Medicago sativa*, L.) qui constitue la principale ressource en légumineuses fourragères. Elle est cultivée dans le monde entier.

4.4- Espèces et variétés spontanées rencontrées en Algérie

Le genre *Medicago* est représenté par de nombreuses espèces spontanées dont les plus importantes sont :

M. sativa : plante vivace rencontrée un peu partout

M. falcata : plante vivace très résistante au froid

M. lupulina, dite lupuline ou minette : plante annuelle ou bisannuelle.

M. scundiflora : plante annuelle ou bisannuelle

M. marina : plante vivace, elle pousse sur les sables maritimes

M. scutellata, dite luzerne à écusson : plante annuelle, se rencontre sur les sols argileux du Tell.

M. orbicularis : plante annuelle du pâturage du Tell

M. echirus : plante annuelle, elle est assez commune dans les pâturages du Tell (constantinois)

M. ciliaris : rencontrée surtout dans les pâturages et les prairies du Tell à sol semi salin

Les deux dernières sont fréquentes en Algérie dans les terres argileuses et dans les bas fonds humides. En hiver, leur fourrage doit être récolté avant que les fruits ne soient trop mûrs.

M. truncatula : plante annuelle très commune dans le Tell

M. littoralis ou **luzerne des rivages** : plante annuelle, elle abonde sur les dunes du littoral et de l'intérieur. Elles constituent des pâturages de bonne qualité.

M. murex : plante annuelle commune dans tout le territoire algérien

M. minima ou **luzerne naine** : plante annuelle, elle est souvent rencontrée sur les sols pauvres.

M. arabica (M. maculata) : plante annuelle

M. lanciniata : plante annuelle

M. hispida (M. lappacea, M. denticulata) : plante annuelle.

Parmi les espèces les plus connues par les agriculteurs, on retient surtout :

La luzerne originaire du Midi de la France, elle est productive et bien adaptée en Algérie.

La luzerne des oasis : résistante à la chaleur et à la salure

Parmi les autres variétés expérimentées en Algérie, on peut citer :

Arizona qui présente une bonne productivité en sec et en vert .

Hairy Peruvian et Grimm qui sont de productivité moyenne.

Sonora et ***Moapa***, très productives.

D'autres variétés étrangères ont donné des résultats satisfaisants en culture sèche et irriguée, comme la ***luzerne du Turkistan***, résistante à la sécheresse et de forte productivité (anonyme, 1979).

4.5- Stade végétatif

Au cours de son développement, la plante passe par différents stades végétatifs :

S1 : cotylédons : à la levée vont d'abord émerger 2 cotylédons

S2 : émission des premières feuilles cotylédonaires ou unifoliées

S3 : feuilles trifoliées : les feuilles suivantes sont composés de 3 folioles rattachées la tige par un pétiole.

Au cours de son développement, la première tige grandit en produisant des feuilles alternées. Les feuilles sont en général de type trifolié mais il existe des variétés dites multifoliées à 4, 5, 6 voire 7 folioles portées sur un pétiole. Des feuilles portant jusqu'à 11 folioles ont déjà été observées.

S4 : émission de bourgeons formateurs de tiges

S5 : croissance des bourgeons en tiges feuillées : le bourgeon axillaire de la première feuille unifoliée se développe pour donner une tige secondaire.

Deux autres tiges secondaires démarrent la suite depuis le niveau des cotylédons . les luzerne de type non dormant produisent plus de tiges secondaires à partir du niveau des cotylédons que les types dormants dont la croissance est stoppée en hiver. C'est cet ensemble de tiges qui va former le collet. Le développement des tiges suit un ordre bien précis. On distingue des tiges primaires, secondaires et tertiaires.

S6 : élongation des entrenoeuds avec croissance de plus en plus rapide. Apparition des boutons floraux : stade bourgeonnement. Les fleurs apparaissent entre le 6^{ème} et le 14^{ème} entrenoeud en fonction des conditions du milieu et de leur déterminisme génétique.

S7 : floraison, fécondation, maturité de graines : l'accroissement en matière sèche se poursuit suivant une courbe en S, jusqu'à la pleine floraison. Dès l'apparition des boutons floraux, l'élongation est très ralentie. Parallèlement, la proportion de matière sèche s'accroît dans la plante entière, mais celle des feuilles (riche en protéine) diminue.

4.6- Intérêt de la plante

La pauvreté des sols d'Afrique du Nord et la rareté des sources de matières azotées destinées aux animaux justifient l'introduction des légumineuses fourragères telles que la luzerne, le trèfle, le pois et le soja dans l'assolement (anonyme, 1979).

La luzerne fournit une production de matière sèche élevée même dans les régions déficitaires en eau et son fourrage est riche en matière azotée (Plancquaert, 1968).

Adem (1989) signale qu'en Algérie, il existe une dichotomie entre la céréaliculture dans la zone Nord (300 à 500 mm de pluie) et l'élevage ovin relégué en zone steppique (250 mm de pluie). Le cheptel ovin ne peut survivre uniquement sur les maigres ressources de la steppe. Les apports de fourrage sec et les migrations estivales vers le nord restent nécessaires. Pour l'intégration céréaliculture-élevage, la création des pâturages annuels de Medicago au dépend des jachères improductives (moins de 250 UF/ha) était impérative et a débuté dès octobre 1972. Ces pâturages améliorés contribueraient à réduire un déficit de 3milliards d'UF pour l'ensemble des ruminants (Adem, 1986).

L'intérêt des légumineuses fourragères réside également dans le rôle important qu'elles jouent dans l'amélioration des qualités physiques et chimiques des sols cultivés. Les luzernes enrichissent le sol en azote organique. Poste (1969, in Adem, 1974) a comparé en Australie occidentale les effets du trèfle souterrain et de la luzerne pérenne, utilisés comme précédent cultural, sur le rendement du blé. Les résultats obtenus apparaissent dans le tableau suivant.

Tableau n°1 : Pourcentage d'augmentation des rendements de blé après quelques légumineuses

Précédent cultural	Rendement en blé en %	
	1 ^{ère} année	2 ^{ème} année
<i>M. littoralis</i>	132	138
<i>M. scutellata</i>	120	118
<i>M. truncatula</i>	132	118
<i>Trifolium Subterraneum</i>	131	130
<i>M.sativa</i>	118	116
Végétation spontanée	100	100

La luzerne a la capacité d'assurer sa nutrition azotée grâce à la fabrication symbiotique mais également par la voie de l'absorption racinaire de l'azote minérale du sol.

Lorsque la quantité d'azote minérale du sol est importante, l'absorption de cet azote minérale est majoritaire et la luzerne complète son alimentation par la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique. Les conclusions du groupe « Fertilisation azotée des légumineuses » du CORPEN, pour la luzerne, sont les suivantes :

La fertilisation azotée minérale ou par des produits organiques n'a d'effet ni sur le rendement ni sur la qualité (teneur en protéines) de la luzerne.

Par son enracinement profond et sa pérennité, ses besoins en eau et l'utilisation privilégiée de l'azote minérale présent dans le sol, la luzerne en place limite sensiblement les lessivages des nitrates.

Cultivée pour la production de foin, la luzerne est utilisée depuis quelques décennies par un nombre croissant d'usines de déshydratation pour la fabrication d'un aliment d'excellente qualité.

Au cours des années 80, la luzerne était cultivée sur 32 millions d'hectares à travers le monde (Hanson et al. 1988). Elle est utilisée sous forme de fourrages déshydratés ou de farines dans l'alimentation animale.

Au-delà de cette fonction de base, les scientifiques s'intéressent aux vertus d'un de ses constituants protéiques, la rubisco. Celle-ci pourrait avantageusement remplacer les protéines de soja dans la nutrition humaine car elle est beaucoup plus riche en acides aminés essentiels et se rapproche davantage des protéines laitières.

4.7 - Effet du stress hydrique

La luzerne a d'importants besoins en eau, vu son système racinaire très profond et développé à la ligne.

Slatyer (1969) cité par Moise (1976) indique que, généralement, les effets néfastes d'un excès ou d'un manque d'eau se font sentir avec le plus d'acuité dans les parties de la plante qui ont une vitesse de

croissance élevée. Il conclut qu'il existe certains stades physiologiques où la plante est plus sensible à ces effets de l'eau. Cette constatation est applicable à la luzerne destinée à la production de graines, mais pour la production de fourrage, il ne semble pas y avoir de stade de sensibilité bien différenciée (Moïse, 1976).

La quantité d'eau nécessaire à l'élaboration d'un kilogramme de matière sèche dépasse une tonne lorsque l'approvisionnement est insuffisant mais atteint 600 kg à l'optimum. Sans irrigation, la luzerne peut provoquer un assèchement profond du sol (Camille, 1980).

D'après Stambery (1955, in Moïse, 1976), il y a peu de différence de rendement quand l'irrigation se fait dans les limites de 25 à 75% de la réserve en eau utilisable du sol. D'après ce même auteur, les meilleurs rendements peuvent être escomptés lorsque l'humidité du sol se situe entre 35 et 85% de la réserve en eau utilisable et se trouve dans les zones actives des racines.

Travaillant sur *Medicago sativa*, Kemper et Amemiya (1957, in Carter and Sheaffer, 1983) ont trouvé que le taux de croissance relative de la luzerne diminue considérablement lorsque son potentiel hydrique décroît.

Travaillant aussi sur *Medicago sativa*, Gist et Mott (1957, in Bula et Massengal, 1972), ont constaté que la croissance de la partie aérienne est réduite par le stress hydrique. La croissance de tiges est plus affectée que celle des feuilles. Le nombre de tiges par plant, l'élongation des tiges, le nombre d'entrenœuds par tige, la longueur des entrenœuds et des ramifications sont tous réduits par le stress hydrique (Luky et Texas, 1967 ; Gist et Mont, 1958 in Bula et Massengal, 1972 ; Perry et Larson, 1974 ; Brown et Tanner, 1983 ; Duru et Langlet, 1993) ont montré que la compétition pour l'eau et la lumière s'accompagne, chez la luzerne, d'une réduction du rendement et d'un accroissement du rapport " feuilles / tiges" sauf en cas d'ombrage important.

La valeur énergétique de la luzerne est déterminée essentiellement par le rapport " feuilles / tige " car les feuilles sont plus riches en nutriments facilement utilisables par les animaux.

Selon Moïse (1976), sous l'effet d'un déficit hydrique, la floraison de la luzerne est plus précoce et la hauteur de végétation est plus faible qu'en conditions humides. Ce même auteur signale également que le déficit hydrique pourrait augmenter le rapport feuilles/tige.

Travaillant sur des espèces de luzerne annuelles, Siakhène (1984) a remarqué que le stress hydrique diminue la croissance de l'ensemble de l'appareil végétatif. La hauteur des plans de 4 espèces a été négativement affectée par le déficit hydrique.

Vough (1971, in Moïse, 1976) a remarqué chez *Medicago sativa* soumise à la sécheresse, une augmentation du nombre de feuilles

La taille moyenne des folioles atteint seulement 1 cm² durant la saison sèche contre 4 cm² en fin de saison humide (Christian, 1977). Ce même auteur a trouvé que la densité des stomates augmente sous l'effet du stress hydrique. Siakhène (1984) a noté une diminution considérable de la surface foliaire dès le début du déficit hydrique, une diminution du nombre des feuilles a été également notée.

La réduction de la disponibilité en eau affecte fortement le développement de plantules. Le développement de l'appareil végétatif et celui des racines sont pareillement affectés : la hauteur des tiges, leur nombre, le poids des racines et celui de l'ensemble feuilles plus tiges diminue. La taille, la surface, le poids sec et le taux de croissance des feuilles diminuent également (Mauries, 1998).

Brown et Tanner (1983) ont observé une fermeture des stomates de la luzerne durant la période du stress hydrique pour arrêter les pertes d'eau. Pour sa part, Hall (1978, in Brown et Tanner, 1983) a constaté un flétrissement et une diminution de la conductance des stomates quand le potentiel hydrique foliaire de la luzerne atteint - 20 bars.

Un essai de stress hydrique a été réalisé sur 10 populations algériennes de *Medicago intertexta*. Les résultats ont montré une grande variabilité entre les différentes populations. Pour l'ensemble des populations néanmoins, le stress hydrique a causé une réduction significative de la quantité de matière sèche.

De même, ces travaux ont montré que les teneurs en sucres foliaires augmentent pour un stress de 5 jours, puis diminuent lorsque le stress se prolonge. Des corrélations significatives entre les caractères physiologiques et phénologiques ont été mises en évidence. Les populations précoces dans le cycle de floraison et de fructification produisent plus de matière sèche racinaire (Laouar et al. 1999).

Par ailleurs, des travaux réalisés sur quelques populations de *Medicago truncatula* soumises à un stress hydrique à partir du début de la floraison jusqu'à la fin du cycle, ont montré un taux de régression de la surface foliaire de 34,88%. Le stress hydrique a également causé une réduction importante de la teneur relative en eau.

Les plantes stressées ont, par ailleurs, réagi par l'augmentation des quantités de sucres solubles et de proline (Mefti et al. 2000).

5-Profondeur de semis

Parmi les problèmes qui ont des conséquences néfastes sur la production végétales dans les zones semi-arides, la profondeur de semis et les réserves hydriques du sol au moment du semis sont parmi les plus importants (Day, 1970).

Différentes profondeurs de semis et des stocks d'eau variées peuvent altérer la levée des plantes ainsi que leur développement pendant le stade plantule (Kramer, 1983).

Pour le blé, la nouvelle tendance est de semer plus profond pour que la germination et la levée n'ait lieu que si le sol est suffisamment humecté en profondeur afin d'assurer le maintien et la croissance de la jeune plante jusqu'à ce que se produise des précipitations ultérieures (Boubakeur et al ; 1999). Cependant, les semis superficiels offrent de nombreux avantages en diminuant la durée de la phase semis-levée (Eliard ; 1979). D'après le même auteur, en sol léger, il convient d'augmenter un peu la profondeur de semis. D'autre part, il faut semer

et planter d'autant plus superficiellement que la semence est plus petite (luzerne, 1 à 2 cm au maximum).

Lorsque le semis est trop profond, la plante épuise les réserves de la semence avant d'avoir un développement suffisant qui lui permet de vivre de manière indépendante.

Janson (1975) a montré que sous un climat sujet à la sécheresse, le poids racinaire et la profondeur des racines étaient en relation linéaire avec la quantité d'eau donnée, la période et la fréquence des arrosages.

Travaillant sur blé dur, Hurd (1968) et Benlaribi et al (1990) montrent qu'une augmentation de l'axe principal permet une meilleure adaptation à la contrainte d'eau. D'après Grignac (1981), les génotypes de blé dur qui tallent peu ont un système racinaire adventif peu développé, ce qui leur confère une grande sensibilité au stress hydrique.

Un semis trop superficiel ou trop profond entrave la levée ainsi que le taux de levée (Eliard, 1979 ; Couvreur et al, 1985).

Un semis trop superficiel, surtout s'il est mal recouvert, expose les graines à des variations thermiques, à une faible humidité, à l'action du vent et aux prédateurs, il peut également entraîner un mauvais enracinement par dessèchement des graines avant qu'elles n'arrivent à s'implanter (Dihel, 1975).

D'après Soltner (1985), un semis assez profond (4 à 6 cm) conduit à un tallage retardé.

Lupton et Binghaïm (1970), Cholick et al (1977), Pepe et Welsh (1979) ont émis l'hypothèse selon laquelle il n'existe pas de relations génétiques simples entre paramètres racinaires (volume, masse, profondeur) d'une part et paramètres de développement végétatif aérien d'autre part.

Ces hypothèses ont été confirmées par Dib et Monneveux (1991) qui notent l'absence de relations entre enracinement et précocité.

Concernant les légumineuses, l'un de leurs avantages réside dans l'ameublissement du sol grâce à un système racinaire très développé qui, dans le cas de la luzerne, s'enfonce très profondément dans le sol dont il exploite les couches inférieures.(Gondé et al, 1980)

La luzerne est assez résistante à la sécheresse grâce à un système racinaire profond, (Anonyme, 1969 ; Peterson, 1972 ; Moïse, 1976). Une étude agro écologique du médicago a montré que le pourcentage de levée est inversement proportionnel à la teneur en argile et à la profondeur de semis Adem, 1978).

PARTIE II : MATERIELS ET METHODE

1- Matériel végétal

Deux variétés de luzerne cultivées pérennes sont étudiées.

- variété **dessica**, d'origine australienne, fournie par l'ITELV* .
Un test de germination a été effectué et nous avons obtenu un taux de germination de 80%.
- variété **moapa** : disponible sur le marché local. Originaire des USA, elle présente un degré de tolérance au gel faible. Rondia et al (1984) la signalent comme étant une variété qui donne de bon résultats. Taux de germination obtenu 65%

2- Méthodes

2.1- Protocole expérimental adopté

2.1.1- Préparation de la culture

2.1.1.1- Sol et récipients utilisés

Le sol utilisé provient des parcelles expérimentales de l'ancien site du département d'agronomie de Batna.

La terre prélevée sur une couche de 20 cm de profondeur a été séchée puis homogénéisée.

Elle présente une texture limono argileuse (argile : 20%, limon fin : 35%, limon grossier : 24%, sable fin : 15%, sable grossier : 6%), un ph de 8,4 et une capacité de rétention en eau de 50%.

Les pots de culture utilisés sont en plastique de forme conique (diamètre au sommet 25 cm, diamètre à la base 20 cm, hauteur 28 cm) et d'une capacité de 12 kg

2.1.1.2- Fertilisation

Chaque pot a reçu :

* Institut Technique d'Elevage

- 1,87 g d'engrais PK « 20 : 25 » correspondant à un apport de 120 unités de P_2O_5 et 150 unités de K_2O par hectare
- 0,19 g d'ammonitrate 33% (20 unités / ha) permettant le démarrage des jeunes plants avant la formation des nodosités

2.1.1.3- Densité de semis :

Le semis a été effectué le 13 mars 2003 à raison de 20 graines par pot. Après la levée (2 semaines) un éclaircissage basé sur l'homogénéité de la répartition du stade de développement a permis de réduire la densité à 5 plants par pot. Soit une densité finale de 16 pots par m^2 c'est-à-dire 80 plants par m^2 . en plein champ, on adopte un peuplement de 64 à 124 plants $p\ m^2$ (Gorden, 1978 in Chaadja, 1983).

2.1.2- Traitements étudiés :

2.1.2.1.: stress hydrique

Chacune des deux variétés étudiées est soumise à 3 régimes hydriques différents:

- S_0 (Traitement témoin sans déficit hydrique) : le sol est maintenu à 100% de sa capacité de rétention en eau. Ce régime est considéré comme témoin.

- S_1 (déficit hydrique modéré) : Le sol est maintenu à 50% de sa capacité de rétention

- S_2 (déficit hydrique prononcé) : Le sol est maintenu à 25% de sa capacité de rétention.

Jusqu'à un mois après semis, l'ensemble de pots a reçu la même dose d'arrosage. Par la suite, les deux types de restriction d'eau S_1 et S_2 sont appliqués. La teneur en eau du sol est déterminée par des pesées quotidiennes des pots. La culture est conduite sous abri plastique.

2.1.2.2-: profondeur de semis

Trois profondeurs de semis sont considérées :

T (semis normal ou témoin) : les graines sont localisées à une profondeur comprise entre 1 et 2 cm. Cette profondeur est celle adoptée en plein champ (Eliard, 1979). Elle correspond au traitement témoin.

P₁ (semis modéré) : les graines sont disposées à une profondeur comprise entre 2 et 3 cm

P₂ (semis profond) : les graines sont enfouies à une profondeur comprise entre 3 et 4 cm

La culture est conduite en plein air (sans abri). L'ensemble des pots reçoit la même dose d'arrosage au fur et à mesure des besoins jusqu'à la fin de l'essai.

2.1.3- dispositif expérimental adopté

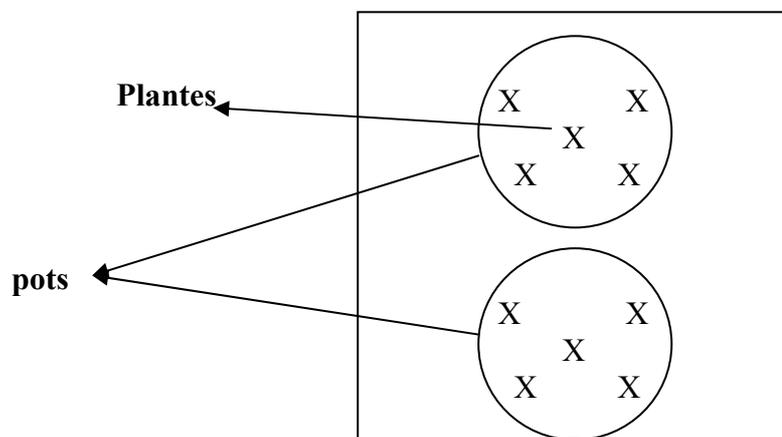
Les deux essais « profondeur de semis » et « stress hydrique » sont suivis séparément. Chaque essai comprend un total de 60 pots (2 variétés x 2 pots/ variété x 3 variantes du traitement x 5 répétitions) disposés en « split-plot ». Les traitements représentent les sous blocs. Les variétés correspondent aux parcelles élémentaires. Les répétitions indiquent les blocs.

Fig a : dispositif en split-plot adopté

Bloc	S2/P2		S1/P1		S0/T	
	Variétés		Variétés		Variétés	
I	V1	V2	V1	V2	V1	V2
II	V2	V1	V2	V1	V1	V2
II	V1	V2	V1	V2	V2	V1
I	V1	V2	V1	V2	V1	V2
V	V2	V1	V2	V1	V1	V2

V1 : variété dessica
V2 : variété moapa

Fig.b : parcelle élémentaire (1 variété)



2.2 - Paramètres mesurés

Les paramètres que nous avons mesurés au cours de cette étude ont été retenus vue leur sensibilité au stress hydrique. Les mesures ont été effectuées au stade pleine floraison qui est considéré atteint lorsque 16 tiges sur 20 prises au hasard ont des fleurs épanouies (taux de floraison de 80 %) (Mauriès, 1998).

Le tableau suivant (Mauriès, 1998) montre les différents stades physiologiques de la luzerne.

Tableau 2 : stades physiologiques de la luzerne.

Stade	Description
Végétatif	Absence de floraison
Début de bourgeonnement	Apparition des boutons floraux. On peut sentir le bourgeon floral sous les doigts en saisissant l'extrémité d'une tige. Sur 20 tiges cueillies au hasard, 4 présentent des boutons floraux, soit un taux moyen de 25%
Bourgeonnement	Sur 20 tiges cueillies au hasard, 16 ont des boutons floraux à leur extrémité, soit un taux moyen de 80%
Début de floraison	Sur 20 tiges cueillies au hasard, 10 présentent un liseré violet soit un taux moyen de 50%
Floraison	Sur 20 tiges cueillies au hasard, 16 ont des fleurs épanouies, soit un taux moyen de 80%

Par ailleurs, il est à remarquer que, concernant le 2^{ème} essai, c'est-à-dire la profondeur de semis, nous n'avons pas trouvé d'études faites dans le sens de nos travaux. Considérant que la graine semée à des profondeurs allant au-delà de 2 cm va se retrouver dans des conditions extrêmes auxquelles elle doit faire face. De ce point de vue, on peut considérer que la plante est dans une situation de stress (Leclerc, 1999). Pour cela, nous avons donc retenu les mêmes paramètres que pour le stress hydrique.

2.2.1- Longueur cumulée des plantes (L)

La longueur totale des tiges est mesurée sur les 5 plantes de chaque pot, toutes les semaines, à partir du début du traitement jusqu'au stade pleine floraison.

2.2.2- Biomasse sèche (BS)

Les feuilles et les tiges des plantes coupées au collet sont séparées. La matière sèche des deux parties est déterminée après passage à l'étuve réglée à 80°C. Une fois les échantillons complètement secs (on vérifie cela par une constance du poids), leur poids sec est déterminé à l'aide d'une balance de précision électronique.

2.2.3- Surface foliaire (Sf)

La surface foliaire est estimée par la méthode de Paul et al. (1979) qui consiste à :

- placer la feuille sur du papier calque
 - découper les contours de la feuille
 - peser la partie du calque représentant la feuille (**Pf**)
-)
- déterminer par pesée le poids (**Pq**) correspondant à une surface **sq** connue d'un carré du même papier calque
 - déduire la surface de la feuille **Sf** par la formule suivante :

$$Sf = (Pf - Sq) / Pq$$

2.2.4- Turgescence relative des feuilles TR

La mesure de la turgescence relative a été faite par la méthode décrite par Barrs (1968). Les feuilles coupées à la base du limbe sont pesées immédiatement pour obtenir leur poids frais (**PF**). Ces feuilles sont mises, par la suite, dans de l'eau distillée à l'obscurité pendant 24 heures puis pesées de nouveau pour obtenir le poids de la pleine turgescence (**PPT**). Les échantillons sont enfin mis à l'étuve réglée à 80 degrés pendant 24 heures et pesées pour avoir leur poids sec (**PS**). La turgescence des feuilles est déduite par la formule suivante :

$$TR\% = [(PF - PS) / (PPT - PS)] \times 100$$

2.2.5- Teneur en chlorophylle (TC)

La teneur en chlorophylle a été déterminée par la méthode de Mackiney (1941). Il s'agit de broyer 100 mg de

matière fraîche en présence d'acétone à 80%. Après filtration, on mesure la densité optique au spectrophotomètre à 663 et 645 nm. Les concentrations en chlorophylle sont déduites par la formule suivante :

$$\text{chl a} = 12 (\text{Do } 663) - 2,67 (\text{Do } 645)$$

$$\text{chl b} = 22,5 (\text{Do } 645) - 4,68 (\text{Do } 663)$$

2.2.6- teneur en proline des feuilles (TP)

La méthode utilisée est celle de Trolls et Lindsley (1955) simplifiée par Rascio et al. (1987). Cette méthode consiste à placer des échantillons de 100 mg de matière fraîche dans des tubes à essai contenant 2 ml de méthanol à 40%. L'ensemble est porté à 85° dans un bain marie pendant une heure (les tubes sont recouverts de papier aluminium afin d'éviter la volatilisation de l'alcool). Après refroidissement, on prélève 1ml de l'extrait auquel on ajoute 1ml d'acide acétique, 25 mg de ninhydrine et 1ml de mélange (120 ml d'eau distillée + 300 ml d'acide acétique + 80 ml d'acide orthophosphorique de densité 1,7). La solution obtenue est portée à ébullition pendant 30mn. La couleur vire au rouge, on refroidit et on ajoute 5 ml de toluène. Deux phases se séparent : la phase supérieure contient la proline et la phase inférieure sans proline. Après avoir récupérer la phase supérieure (colorée en rouge), on ajoute du NaSO₄ à l'aide d'une spatule afin d'éliminer l'eau qu'elle contient. La dernière étape consiste à mesurer la densité optique au spectrophotomètre à une longueur d'ondes de 528 nm. La valeur obtenue est convertie en concentration en proline par le biais d'une « courbe étalon » préalablement établie à partir d'une série de solutions de concentrations en proline connues.

2.2.7- Teneur en sucre soluble des feuilles (TS)

Pour le dosage des sucres solubles, nous avons utilisé la méthode au phénol de Dubois et al (1956). Selon cette méthode, à 100 mg de matière fraîche, placés dans des tubes à essai, on ajoute 3ml d'éthanol à 80% pour l'extraction des sucres. On laisse à température ambiante pendant 48 heures. Au moment du dosage, les tubes sont placés dans une étuve à 80° C pour faire évaporer l'alcool. Dans chaque tube, on ajoute 20 ml d'eau distillée. C'est la solution à analyser.

Dans des tubes à essai propre, on introduit 1 ml de la solution à doser auquel on ajoute 1 ml de solution de phénol à 5% (le phénol est dilué dans de l'eau distillée). Les tubes sont

soigneusement agités. On ajoute alors 5 ml d'acide sulfurique concentré à l'aide d'une burette dont le jet tombe brutalement sur la surface du liquide. la température atteint alors environ 110°C. Après une agitation rapide (agitateur vortex) les tubes sont maintenus pendant 45mn à 5°C. Après un séjour de 30mn à l'obscurité, les mesures d'absorbance sont effectuées à une longueur d'ondes de 485 nm. Enfin des résultats des densités optiques sont rapportés sur une courbe étalon des sucres solubles (exprimée en glucose).

Partie III: RESULTATS ET DISCUSSIONS

1- INFLUENCE DU STRESS HYDRIQUE

1.1- Action sur les paramètres de croissance

1.1.1- Longueur cumulée de la tige

1.1.1.1- Dynamique de croissance

Globalement, la longueur cumulée des la tige augmente rapidement au cours des 15 premiers jours de mesure. Au-delà de la 2^{ème} semaine (7^{ème} semaine après semis), la vitesse d'élongation des plantes s'affaiblie. Ce comportement concerne les deux variétés et les trois intensités de stress hydrique appliquées (fig. 1 et 2).

Les plantes des 2 variétés soumises aux différentes doses d'arrosage, expriment dans l'ensemble des allures de croissance en longueur voisines. Indépendamment de la variété et du degré de restriction de l'eau, les courbes d'évolution de la hauteur se caractérisent par un démarrage accéléré, atteignant en moyenne 1,36 cm / jour à la seconde semaine, suivi par un rythme moins soutenu et plus ou moins régulier au cours des trois dernières semaines de stress (0,78 à 1,11 cm / jour) (fig.2).

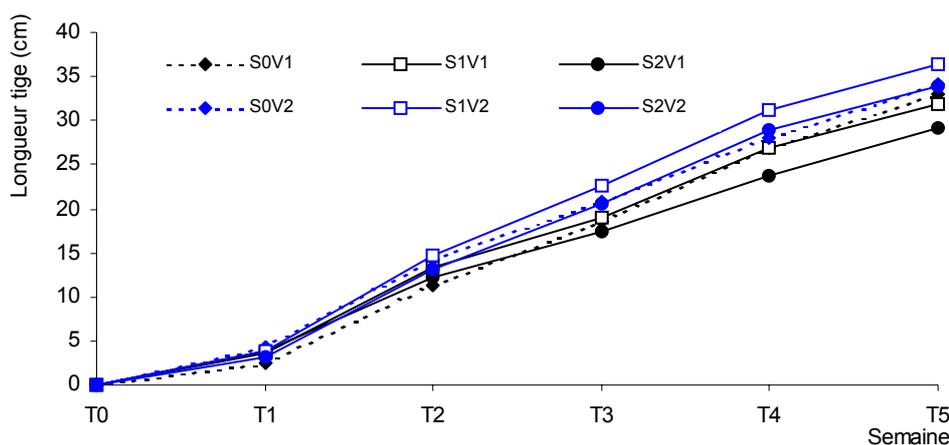


Fig.1: Evolution de la longueur moyenne cumulée de la tige de la plante en fonction de la durée du stress hydrique.

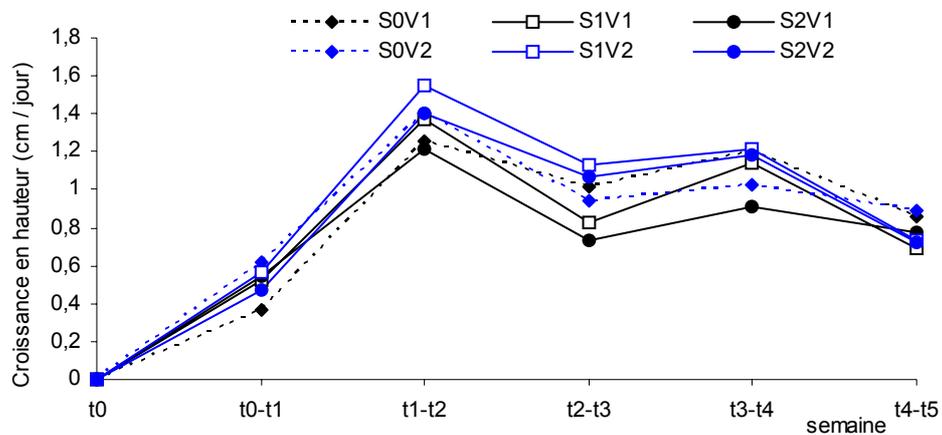


Fig.2: Evolution de la vitesse de croissance en longueur de la tige en fonction de la durée du stress

1.1.1.2-Comparaison valeurs moyennes

1.1.1.2.1- Influence du régime hydrique

L'analyse de la variance montre que la longueur moyenne hebdomadaire de la tige de la luzerne n'est pas influencée significativement par une restriction hydrique (tableau 3). Les écarts par rapport au témoin ne sont que de 5,22 à -3,82 % pour respectivement le régime d'irrigation moyen et sec (tableau 4).

Bien que la longueur moyenne des plantes soumises au stress 50 % et celle des plantes arrosées avec une dose de 25 % de la capacité au champ soient statistiquement proches, le sens d'action des deux restrictions appliquées diffère. En effet, le régime 50 % stimule l'élongation de la tige alors que celui 25 % la réduit (fig.3).

Notons que le taux d'amélioration induit par le régime moyen de 50 % tend à diminuer progressivement avec l'âge de la culture, passant de 10,4 % après une semaine de traitement à 1,6 % à l'issue de la 5ème semaine (Fig.4). En revanche, le nanisme provoqué par un déficit en eau plus prononcé (25 %) s'accroît à mesure que la plante devient âgée. Le taux de raccourcissement de la tige varie de 0,6 après 2 semaines de stress sévère à 6,0 % au bout de 35 jours de traitement. Pour les 2 variétés réunies, la modalité 50 % engendre une augmentation moyenne hebdomadaire de la longueur la tige de l'ordre de 5,22 % et celle 25 %, un nanisme de 3,82 % (tableau 4)

Tableau 3: Analyse de variance de la longueur hebdomadaire moyenne de la tige, signification de F et groupes homogènes des moyennes

Source de variation	F calculé et signification	Régime hydrique, variété	Longueur hebdomadaire moyenne de la tige (cm)	Groupe statistique
Régime hydrique	2.16 ^{NS}	100 % (S0)	19,35	A
		50 % (S1)	20,36	
		25 % (S2)	18,61	
Variété	12.47 ^{***}	Moapa (V2)	20,66	A
		Dessica (V1)	18,22	B

NS : Non significatif , *** : Significatif à 1 pour 1000

Tableau 4 : Taux moyen d'augmentation de la longueur hebdomadaire moyenne cumulée de la tige des 2 variétés, en fonction de l'intensité du déficit hydrique

Stress hydrique (% capacité au champ)	Augmentation longueur hebdomadaire tige (% témoin)		
	Variété dessica (V1)	Variété moapa (V2)	moyenne
50 % ou S1(moyen)	02.91	07.27	5.22
25 % ou S2 (sec)	- 06.26	-01.66	- 3.82
moyenne	- 01.68	02.81	0.67

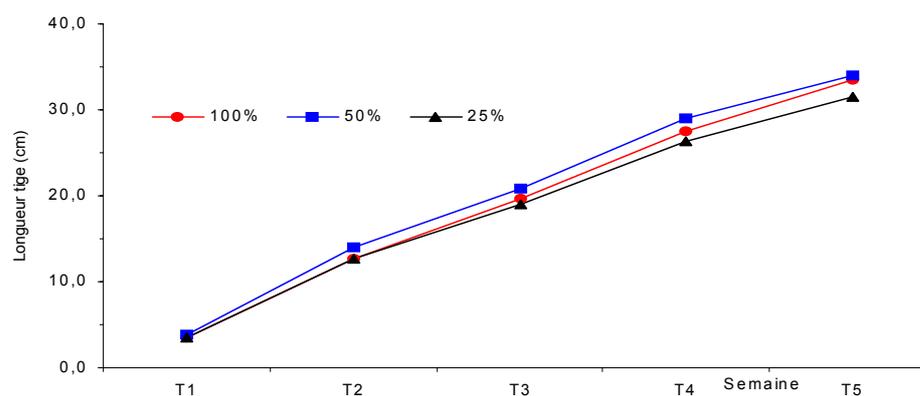


Fig. 3: Evolution de la longueur moyenne cumulée de la tige de la plante sous les différents régimes hydriques en fonction du temps

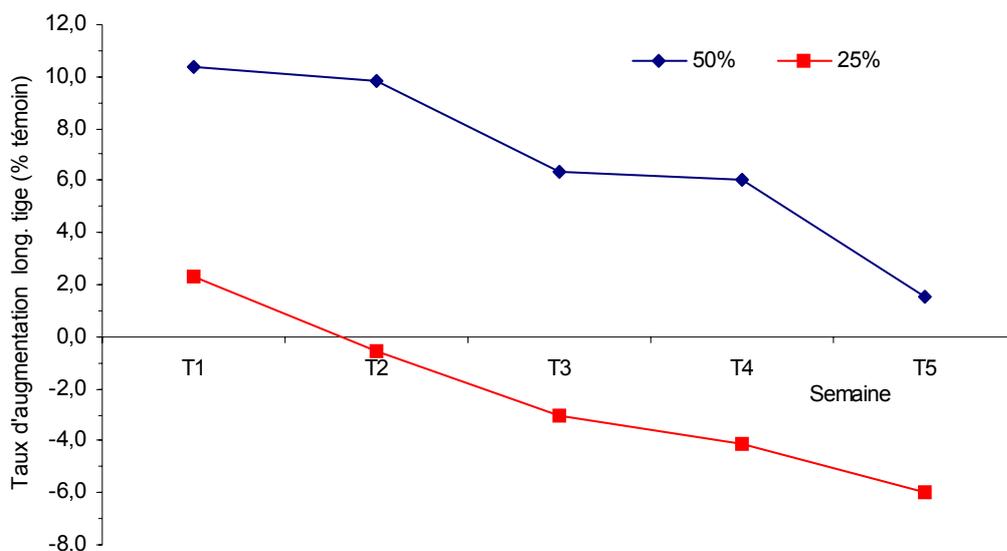


Fig. 4: Evolution du taux d'augmentation de la longueur moyenne de la tige sous les différents stress hydriques.

1.1.1.2.2- Influence variétale

Contrairement au facteur régime hydrique, la réaction des 2 variétés testées est significativement différente. La comparaison des moyennes par le test de Newmann et Keuls, toutes modalités d'irrigation confondues (tableau 3) indique que la variété 2 exprime une croissance hebdomadaire en longueur significativement plus grande que celle de la variété 1 (en moyenne 20,66 cm, contre 18,22 cm pour V1). La supériorité de la seconde variété se manifeste sous tous les régimes hydriques appliqués, y compris celui humide (100 % CC). Cependant, en condition non stressante elle s'estompe avec le temps, passant de 41,7 % (1,80 cm) durant la première semaine du traitement à 3,80 % (1,30 cm) à l'issue de la 5ème et s'amplifie lorsque la sécheresse s'accroît et la durée du traitement augmente (fig.5).

Le fait que la variété 2 produit plus de longueur que la Variété 1 sous un régime non restrictif, suggère que sa supériorité en conditions stressantes ne soit pas totalement liée à sa capacité de résistance au manque d'eau. Son potentiel productif de nature plus élevé que celui de V1 y contribue aussi. En effet, l'analyse des taux d'augmentation liés à la contrainte hydrique (fig.6) montre que la résistance de la variété 2 ne dépasse celle de la variété 1 que seulement au-delà de la 2ème semaine de culture. Les 2 variétés testées présentent en fait des comportements inverses. La résistance de la variété 1 est précoce et supérieure à celle de la variété 2 durant les 15 premiers jours de traitement, celle de V2 est tardive et plus forte que celle de V1 après la 2ème semaine de stress (Fig.6). La première variété (Dessica) perd progressivement

sa résistance, alors que la seconde (Moapa) la renforce avec la durée de la contrainte hydrique.

La variété Moapa (V2) est plus intéressante que Dessica (V1). Cette variété plus productive se met certes difficilement en place en milieu moins arrosé, mais sa capacité à surmonter l'insuffisance durable de l'humidité est relativement plus grande.

Sous la modalité 50 %, la variété Moapa a augmenté sa longueur cumulée moyenne hebdomadaire de 7,27 %, contre 2,91 % pour Dessica (tableau 4). En régime sec, Moapa n'a perdu que 1,66 % de sa longueur, contre 2,91 % pour Dessica. Tous stress confondus, la variété Moapa réussit à améliorer la longueur de sa tige de 2,81 % et Dessica la raccourcit de 1,68 % par rapport à leur témoin respectif.

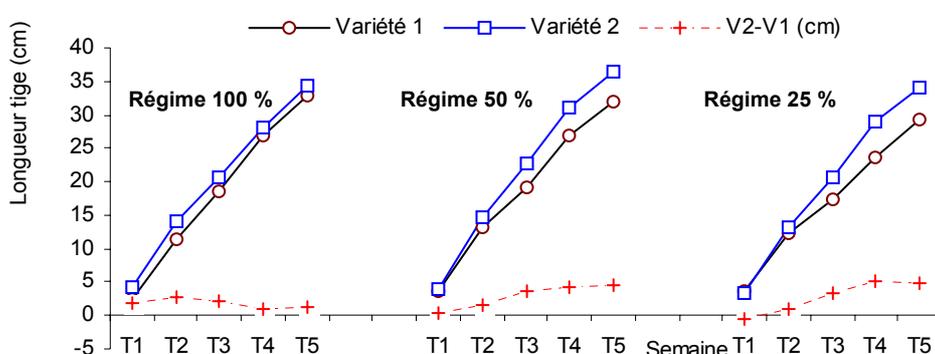


Fig. 5: Evolution de la longueur hebdomadaire de la tige des 2 variétés sous les différents régimes hydriques.

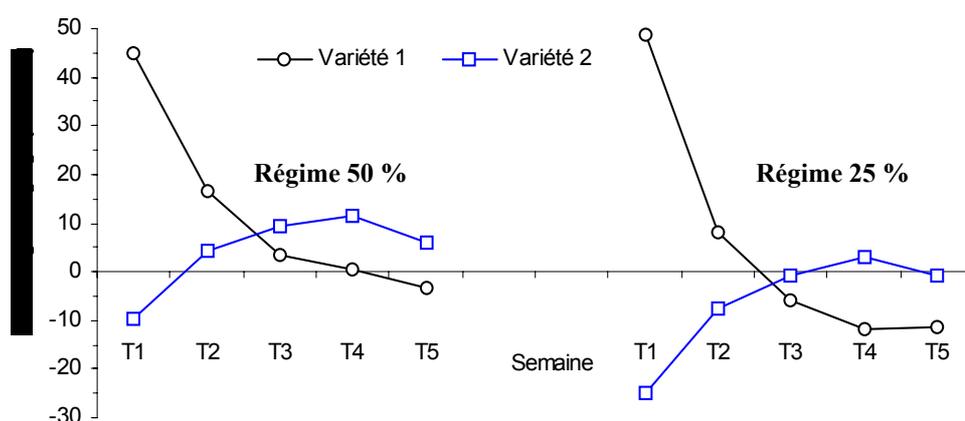


Fig. 6: Evolution du taux d'augmentation de la longueur hebdomadaire de la tige des 2 variétés sous les différents stress hydriques.

1.1.1.3- Discussions

Nous avons montré qu'une restriction de la quantité de l'eau de 50 % cc favorise l'élongation de la tige de la luzerne, en comparaison avec le régime non limitant. La réduction de la croissance de la luzerne en condition humide a été signalé aussi par Mauries (1998). Chokairi et Chlyah (1994) ont observé sur maïs pendant la période sèche une activation de la croissance plus importante que celle du témoin irrigué.

Lorsque la sécheresse s'intensifie (25 % cc), les plantes manifestent un certain nanisme. Le raccourcissement de la tige est une caractéristique générale des plantes soumises à une contrainte hydrique plus ou moins forte (May et Milthorpe, 1962, in Nemmar, 1983). Ce phénomène a été observé chez plusieurs espèces cultivées comme chez la luzerne (Carter et Schiffer, 1983 ; Gist et Moll, 1957, in Bula et Massengale, 1972 ; Moise, 1976 et Siakhene, 1984), le Soja (Vidal et al, 1981) et le Tournesol (Liana et al, 1972, in Nemmar, 1983)

1.1.2- Surface foliaire

1.1.2.1- Effet du régime d'arrosage

Une restriction du régime hydrique se traduit au niveau de la surface foliaire des 2 variétés confondues, par une légère augmentation quand elle est modérée (+1,46 %) et surtout par une diminution lorsqu'elle est plus sévère (-12,13 %). Globalement, une diminution des apports d'eau de 50 à 75 % de la capacité au champ provoque une perte de la surface du limbe de 0,26 cm²/feuille, équivalente à 5,34 %. Cependant, les écarts enregistrés entre les moyennes des 3 types d'arrosage restent non significatifs (tableau 5 et 6).

Tableau 5: Analyse de variance de la surface foliaire, signification de F et groupes homogènes des moyennes.

Source de variation	F calculé et signification	Régime hydrique, variété	Surface foliaire moyenne (cm ²)	Groupe statistique
Régime hydrique	2,67 ^{NS}	100 % (S0)	4,78	A
		50 % (S1)	4,85	
		25 % (S2)	4,20	
			4,52	
Variété	0,43 ^{NS}	Moapa (V2)	4,69	A
		Dessica (V1)	4,54	

NS : Non significatif au seuil de 5 %

Tableau 6 : Taux moyen de perte de la surface foliaire moyenne des 2 variétés, en fonction de l'intensité du déficit hydrique

Stress hydrique (% capacité au champ)	Perte de la surface foliaire (% témoin)		
	Variété dessica (V1)	Variété moapa (V2)	moyenne
50 % ou S1(moyen)	- 9,50	6,07	- 1,46
25 % ou S2 (sec)	15,33	9,31	12,13
moyenne	2,91	7,69	5,34

1.1.2.2- Effet variétal

En considérant les moyennes des 3 modalités hydriques réunies, l'analyse de variance montre que les surfaces foliaires moyennes des 2 variétés, sont très proches. Avec une surface foliaire de 4,69 cm², la variété Moapa ne dépasse Dessica (4,54 cm²) que de 3,20 % (tableau 5). Cet avantage de V2 sur V1 s'observe en milieu humide (100 % CC) et sec (25 % cc) (fig.7). En revanche, en régime modéré, c'est la variété Dessica qui donne des feuilles plus grandes (5,07 contre 4,64 cm² pour V2).

La résistance des 2 variétés au stress appliqué est appréciée par le taux de perte par rapport à leur témoin respectif.

En culture moyennement stressée, la variété Dessica augmente de 9,50 % sa surface foliaire et Moapa la réduit de 6,07 % (tableau 6, fig.7). Lorsque la sécheresse est plus sévère, les 2 variétés réagissent par une diminution de la surface de leur limbe. Toutefois, Dessica est plus concernée que Moapa par cette limitation (15,33 % de perte pour Dessica, 9,31 % pour Moapa). En d'autres termes, la variété Dessica résiste mieux que Moapa à un manque d'eau modéré, mais devient plus sensible lorsque le déficit hydrique s'aggrave. La variété Dessica est mieux adaptée au stress modéré, celle Moapa à une restriction d'eau plus sévère. En moyenne, Moapa est plus sujette que Dessica à une sécheresse allant de 50 à 75 % de la capacité au champ du sol. Sa perte en limbe est environ 2,7 fois supérieure à celle de Dessica (tableau 6, fig.7).

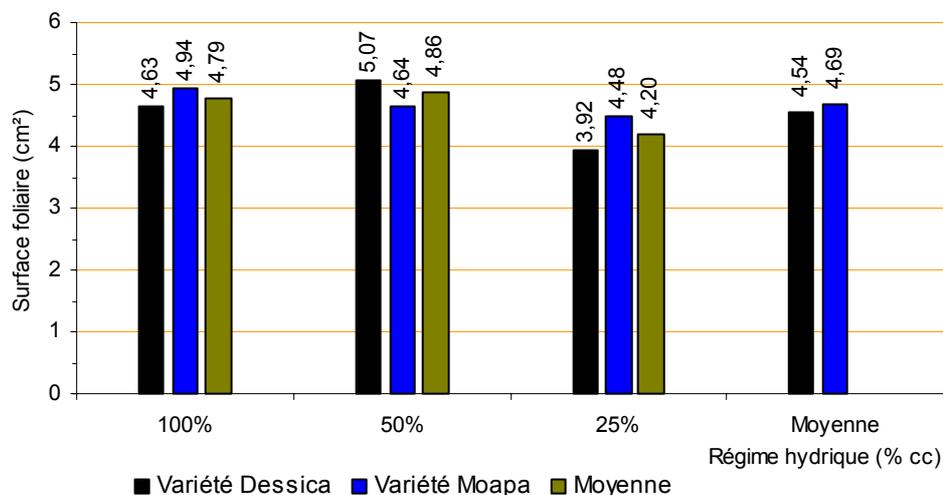


Fig. 7: Surface foliaire des 2 variétés en fonction des différents régimes hydriques

1.1.2.3- Discussions

L'augmentation de la surface foliaire chez les plantes de blé soumises au stress modéré et sévère a été rapportée également par Adjab (2002).

La réduction de la surface du limbe enregistrée chez les 2 variétés sous le régime plus restrictif est très souvent associée à un évitement de la contrainte hydrique (Keim et Kroustard, 1981 ; Fussel et al, 1991). Darera et al (1969) pensent que la diminution de la surface du limbe est un trait majeur des plantes visant à limiter leurs besoins en eau, lorsque celle-ci est très insuffisante.

Les résultats obtenus sur la luzerne soumise à un régime d'arrosage de 25 % cc confirment ceux de Mefti et al, (2000) ; Christian (1977) établis sur la même espèce et de Moursi et al (1979) sur *Vicia faba*.

La variété Moapa (V2) semble mieux supporter une restriction de l'eau allant jusqu'à 75 % de la capacité au champ du sol, sans modifier sensiblement sa surface foliaire.

En réalité, les caractères morphologiques analysés (longueur de la tige, surface foliaire) ne sont pas influencés par la sécheresse. Les deux variétés supportent sans grands dommages une restriction d'eau allant jusqu'à 25% cc. Ces résultats sont en accord avec ceux de Stambery (1955, cité par Moïse, 1976) qui montre qu'il y a peu de différence de rendement chez la luzerne quand l'irrigation se fait dans les limites de 25% à 70% de la réserve en eau utilisable du sol. Ceci a été également rappelé par Vidal et al (1981) concernant le soja.

1.1.3- Biomasse sèche aérienne totale par plante

Les plantes du lot témoin des 2 variétés réunies produisent une biomasse plus grande que celle des plantes stressées. La restriction d'eau de 50 à 75 % de la capacité au champ se traduit donc par une baisse très significative de la production moyenne de matière sèche aérienne, de 0,47 g / plante, correspondant à 24,61 % (tableau 7 et 8). Prises à part, les 2 intensités de stress exercent des effets dépressifs comparables, équivalant à une perte de biomasse sèche totale / plante de 26,18 à 23,04 % (tableau 8).

Tableau 7: Analyse de variance de la biomasse sèche aérienne, signification de F et groupes homogènes des moyennes.

Source de variation	F calculé et signification	Régime hydrique, variété	Biomasse sèche moyenne / plante (g)	Groupe statistique
Régime hydrique	5,87 **	100 % (S0)	1,91	A
		25 % (S2)	1,47	B
		50 % (S1)	1,41	
Variété	3,16 ^{NS}	Moapa (V2)	1,71	A
		Dessica (V1)	1,49	

NS : Non significatif au seuil de 5 %, ** : significatif à 1 %

Tableau 8 : Taux moyen de perte de la biomasse sèche aérienne / plante chez les 2 variétés, en fonction de l'intensité du déficit hydrique

Stress hydrique (% capacité au champ)	Perte de la biomasse sèche / plante (% témoin)		
	Variété dessica (V1)	Variété moapa (V2)	moyenne
50 % ou S1(moyen)	35,42	16,77	26,18
25 % ou S2 (sec)	31,77	14,66	23,04
moyenne	33,59	15,71	24,61

Tous régimes hydriques confondus, les biomasses totales / plant produites par chacune des 2 variétés sont peu différentes (V1 = 1,49 g/plant, V2 = 1,71 g / plant, tableau 7). Ce fort rapprochement est plus fort sous un apport d'eau non limitant (fig. 8). En conditions stressantes, les 2 variétés réagissent par des pertes de leur poids total. Cependant, Moapa est deux fois plus tolérante que Dessica et ce pour les 2 niveaux de restriction hydrique appliqués (tableau 8).

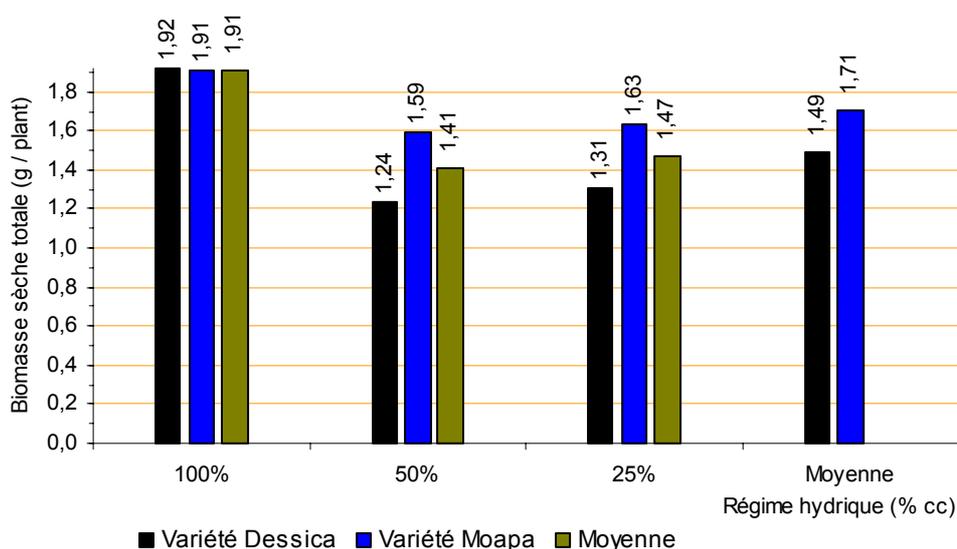


Fig. 8: Biomasse sèche aérienne totale par plant des 2 variétés en fonction du régime d'irrigation.

1.1.4- Biomasse sèche des feuilles.

L'analyse de la variance indique que les différences entre les biomasses des feuilles des plantes des 3 modalités d'irrigation sont différentes significativement (tableau 9). Les plantes stressées produisent moins de biomasse foliaire en comparaison avec le régime hydrique non limitant. Les pertes dues au déficit hydrique modérée sont plus élevées que celles d'une restriction prononcée. Les modalités 50 % et 25 % réduisent le poids du feuillage de 28,44 % et 22,94 % respectivement (tableau 10, fig.9).

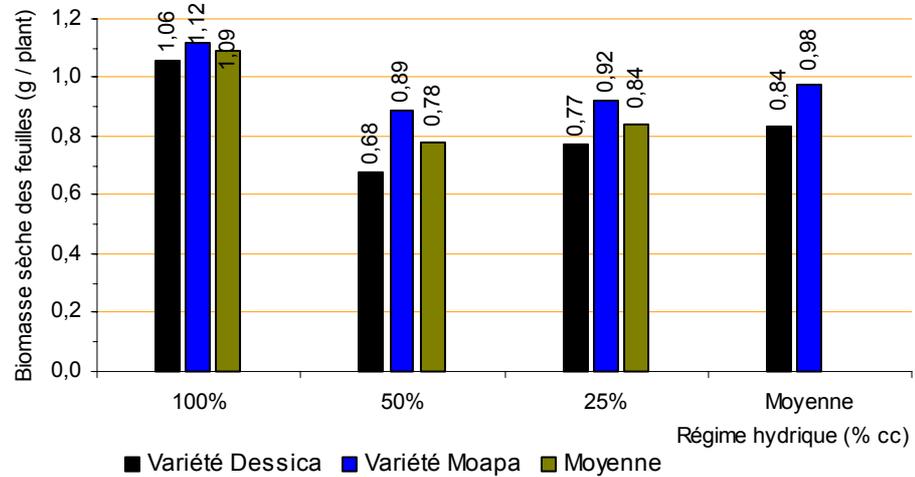


Fig.9 : Influence du régime hydrique sur la biomasse moyenne des feuilles produites par plante.

Tableau 9: Analyse de variance de la biomasse sèche des feuilles par plant, signification de F et groupes homogènes des moyennes.

Source de variation	F calculé et signification	Régime hydrique, variété	Biomasse sèche moyenne des feuilles (g/plant)	Groupe statistique	
Régime hydrique	3,82 *	100 % (S0)	1,09	A	
		25 % (S2)	0,84	0,81	AB
		50 % (S1)	0,78		A
Variété	2,21 ^{NS}	Moapa (V2)	0,98	A	
		Dessica (V1)	0,84		

NS : Non significatif au seuil de 5 %, * : significatif à 5 %

Tableau 10 : Taux moyen de perte de la biomasse sèche des feuilles chez les 2 variétés, en fonction de l'intensité du déficit hydrique

Stress hydrique (% capacité au champ)	Perte de la biomasse sèche des feuilles (% témoin)		
	Variété dessica (V1)	Variété moapa (V2)	moyenne
50 % ou S1(moyen)	35,85	20,54	28,44
25 % ou S2 (sec)	27,36	17,86	22,94
Moyenne	31,60	19,20	25,69

Sous les 3 régimes réunis, les 2 variétés produisent des quantités de feuilles peu différentes statistiquement équivalentes ($V1 = 0,84 \text{ g / plant}$, $V2 = 0,98 \text{ g / plant}$, tableau 8). Cependant, en conditions stressantes, elles réagissent différemment. La variété Moapa ($V2$) est nettement plus tolérante que Dessica ($V1$) et ce pour les 2 niveaux de stress. Les taux de réduction liés au manque d'eau sont de 20,53 à 17,86 % pour Moapa et 35,85 à 27,36 % pour Dessica (tableau 10).

La limitation de la production de matière sèche foliaire lorsque les quantités d'eau d'irrigation sont limitées est un phénomène connu chez diverses espèces cultivées. Liana et al, 1972 (in Nemmar, 1983) l'ont observé chez le tournesol. Moursi et al (1979) l'ont constaté également chez la fève. De même, les conclusions établies par Laouar et al (1999) sur *Médicago intertexta* vont dans le même sens que celles obtenues dans la présente étude.

Mauries (1998) signale également la diminution du poids sec et du taux de croissance des feuilles de luzerne en condition de stress hydrique

1.1.5- Biomasse sèche de la tige

Comme pour le feuillage, la biomasse de la tige de la luzerne est globalement influencée négativement par l'insuffisance de l'eau (tableau 12). Le poids sec / plant chute d'environ 25 % pour les 2 variétés réunies. Les écarts entre les 2 intensités de stress sont insignifiants (régime 50 % cc induit 24,10 % de réduction, celui 25 % cc une baisse de 25,30 %, (tableau 11, fig. 12).

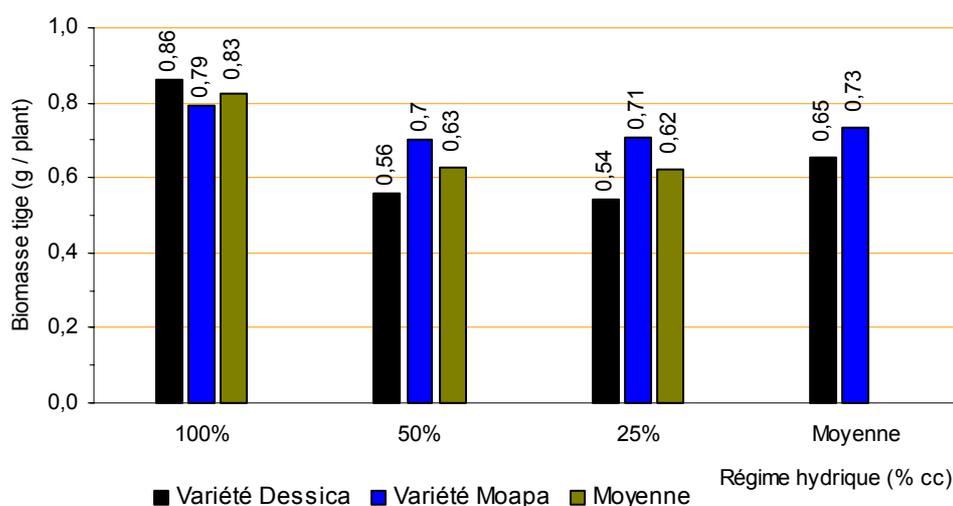


Fig.10 : Influence du régime hydrique sur la biomasse moyenne de la tige produite par plante.

Tableau 11: Analyse de variance de la biomasse sèche de la tige, signification de F et groupes homogènes des moyennes.

Source de variation	F calculé et signification	Régime hydrique, variété	Biomasse sèche moyenne de la tige (g/plant)	Groupe statistique
Régime hydrique	4,15 *	100 % (S0)	0,83	A
		25 % (S2)	0,62	B
		50 % (S1)	0,63	
Variété	0,93 ^{NS}	Moapa (V2)	0,73	A
		Dessica (V1)	0,65	

NS : Non significatif au seuil de 5 %, * : significatif à 5 %

Tableau 12 : Taux moyen de perte de la biomasse sèche de la tige chez les 2 variétés, en fonction de l'intensité du déficit hydrique

Stress hydrique (% capacité au champ)	Perte de la biomasse sèche de la tige (% témoin)		
	Variété dessica (V1)	Variété moapa (V2)	moyenne
50 % ou S1(moyen)	34,88	11,39	24,10
25 % ou S2 (sec)	37,21	10,13	25,30
Moyenne	36,04	10,76	24,70

Sous les 3 modalités confondues, les 2 variétés expriment des poids secs de tige peu différents. La tige de Dessica pèse 0,65 g, celle de Moapa 0,73 g (tableau 11).

En conditions stressante, modérée et forte, la variété Moapa (V2) semble plus résistante que Dessica (V1). Les taux de diminution des poids tige sont de 11,39 à 10,13 %, contre 34,88 à 37,21 % pour Dessica (tableau 12, fig. 10).

1.1.6- Rapport biomasse sèche feuilles / biomasse sèche des tiges

Au stade de récolte considéré (floraison), les 2 stress hydriques n'ont pas modifié significativement la répartition de la biomasse entre les feuilles et la tige des 2 variétés réunies (tableau 13, fig 11). Le régime 50 % cc n'a induit qu'une faible diminution équivalente à 5,18 %, expliquée par le poids des feuilles plus sensible que celui de la tige de la variété Moapa (tableau 14, 10 et 12). La modalité 25 % cc induit plutôt une très légère augmentation du rapport feuilles / tige (2,22 %, tableau 14), due à la baisse du poids de la tige notamment chez la variété Dessica. L'accroissement du rapport feuilles / tige chez la luzerne soumise à une restriction hydrique a été également observé par Moise (1976) et Duru et Lauglet (1993), Gist et Moll in Bula et Massengale (1972) et Mauries (1998)

L'effet variétal est négligeable lorsqu'on considère les moyennes des 3 régimes confondus. Les deux variétés expriment des rapports feuilles / tige pratiquement identiques ($V1 = 1,33$; $V2 = 1,34$) (tableau 13, fig 11). Cependant, dans les conditions stressantes moyenne et intense, les 2 variétés révèlent une divergence. La variété Dessica augmente son rapport feuilles / tige

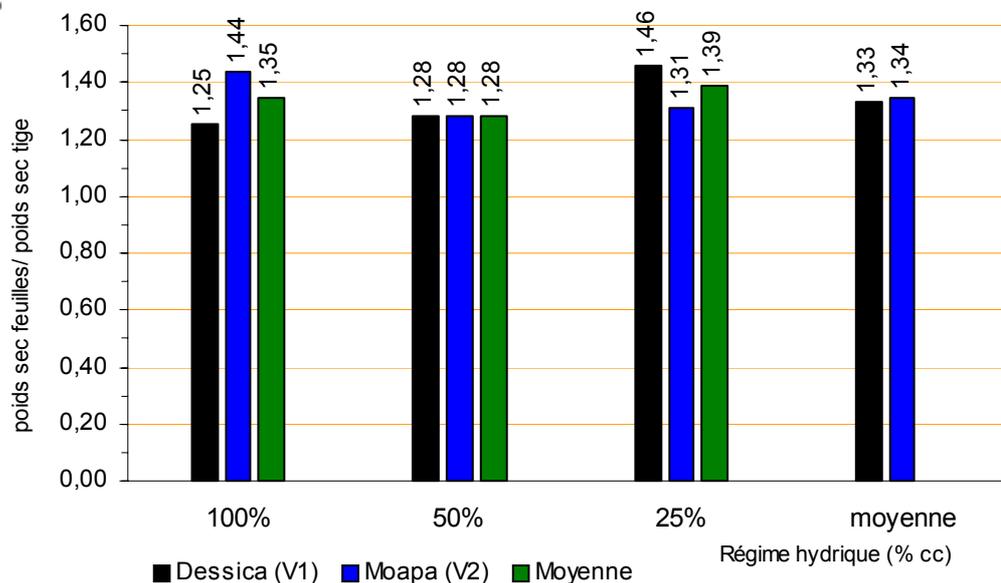


Fig. 11: variation du rapport biomasse sèche feuilles / biomasse sèche tige chez les 2 variétés en fonction de l'intensité du stress hydrique.

Tableau 13: Analyse de variance du rapport poids sec des feuilles / poids sec tige, signification de F et groupes homogènes des moyennes.

Source de variation	F calculé et signification	Régime hydrique, variété	Poids sec feuilles / poids sec tige	Groupe statistique
Régime hydrique	0,26 ^{NS}	100 % (S0)	1,35	A
		25 % (S2)	1,38	
		50 % (S1)	1,28	
Variété	0,01 ^{NS}	Moapa (V2)	1,34	A
		Dessica (V1)	1,33	

NS : Non significatif au seuil de 5 %,

Tableau 14 : Taux moyen de diminution du rapport biomasse sèche des feuilles / biomasse tige chez les 2 variétés, en fonction de l'intensité du déficit hydrique

Stress hydrique (% capacité au champ)	Diminution rapport MS sèche feuilles / MS tige (% témoin)		
	Variété dessica (V1)	Variété moapa (V2)	moyenne
50 % ou S1(moyen)	-2,40	11,11	5,18
25 % ou S2 (sec)	-16,80	9,03	-2,22
Moyenne	-9,60	10,07	1,48

1.1.7 – Discussions

L'effet du stress hydrique sur la biomasse sèche aérienne a été significatif avec une meilleure tolérance chez la variété moapa. Les feuilles et les tiges ont subi une diminution de leur poids sec. Nous notons que le rapport biomasse sèche des feuilles / biomasse sèche des tiges a légèrement augmenté chez la variété dessica bien que la différence ne soit pas significative. Nous pensons que la diminution du poids sec des feuilles par plante est dû à une diminution du nombre de feuilles. Les chercheurs ont noté chez le pois qu'un déficit hydrique entraîne un arrêt précoce de l'émission de nouvelles feuilles (INRA, 2000). Il est signalé que la plante ajuste sa taille à l'eau disponible dans le milieu en réduisant la surface et/ou le nombre de ses feuilles (INRA 2000). La diminution du poids sec des tiges est attribuée à notre avis à une diminution du nombre de ramification chez les plantes stressées, ceci a déjà été observé chez la luzerne annuelle (Siakhène, 1984)

1.2- Action sur les paramètres physiologiques

1.2.1- Turgescence relative des feuilles

Ce paramètre n'est pas suffisamment influencé par la restriction hydrique. Les valeurs moyennes des 3 régimes d'arrosage sont pratiquement égales (tableau 15, fig.12). Les écarts des modalités stressantes par rapport au régime témoin ne dépassent pas 1,26 % (tableau 16).

Par ailleurs, sous les 3 régimes réunis, l'écart entre les 2 variétés reste non significatif, même si la variété Moapa présente un léger avantage sous le traitement humide (tableau 15, fig. 12). En culture sèche (25 % cc), les feuilles de la variété Dessica ont tendance à réagir par une légère augmentation de leur turgescence, alors que celles de Moapa expriment une baisse également faible.

La Variété Dessica paraît donc tolérer relativement plus le déficit hydrique que Moapa, en ajustant mieux son potentiel hydrique, notamment lorsque la réserve en eau du sol atteint un seuil critique.

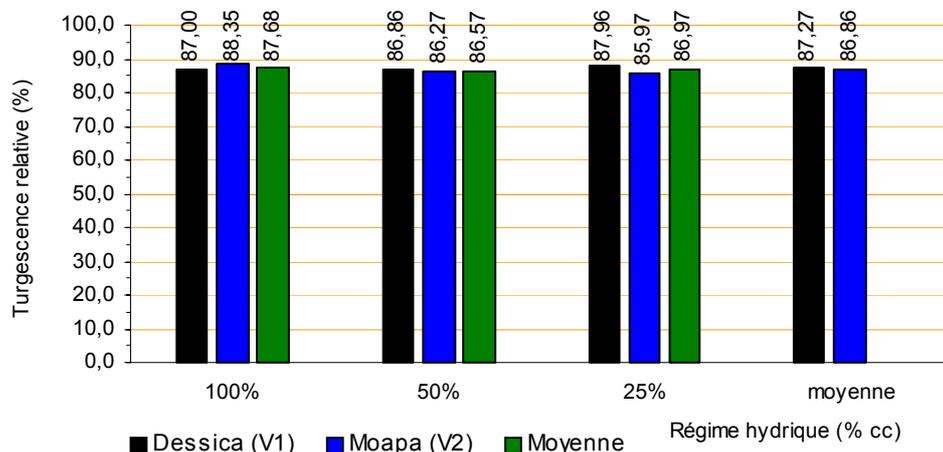


Fig. 12: variation de la turgescence relative des feuilles chez les 2 variétés en fonction du régime hydrique.

Tableau 15: Analyse de variance de la turgescence relative des feuilles, signification de F et groupes homogènes des moyennes.

Source de variation	F calculé et signification	Régime hydrique, variété	Turgescence relative des feuilles (%)	Groupe statistique
Régime hydrique	0,48 ^{NS}	100 % (S0)	87,68	A
		25 % (S2)	86,97	
		50 % (S1)	86,57	
Variété	0,19 ^{NS}	Moapa (V2)	86,87	A
		Dessica (V1)	87,28	

NS : Non significatif au seuil de 5 %,

Tableau 16 : Taux moyen de diminution de la turgescence relative des feuilles chez les 2 variétés, en fonction de l'intensité du déficit hydrique

Stress hydrique (% capacité au champ)	Diminution de la turgescence relative des feuilles (% témoin)		
	Variété dessica (V1)	Variété moapa (V2)	moyenne
50 % ou S1(moyen)	0,16	2,35	1,26
25 % ou S2 (sec)	-1,01	2,69	0,81
Moyenne	-0,42	2,52	1,03

De nombreux travaux ont été réalisés sur les conséquences du manque d'eau sur la turgescence relative des feuilles de différentes espèces cultivées. Leurs conclusions sont souvent convergentes. Rascio et al (1987), en travaillant sur blé, ont montré que les effets du stress hydrique sur la turgescence relative ne sont apparents que si la restriction est sévère, de même Ait Kaki et Brinis (1997). Selon Sanchez Diaz et Kramer (1971) et Levitt (1972), toujours sur blé, les plantes résistantes au stress hydrique présentent une faible perte d'eau par unité de surface foliaire et une augmentation de leur potentiel hydrique foliaire, en comparaison avec celles sensibles. Nemmar (1983) et Brinis (1995) sont parvenus à la même conclusion, les variétés de blé qui ont une TR importante sont plus tolérantes à la sécheresse.

Le maintien d'un niveau élevé de la TR serait probablement lié à une bonne capacité d'ajustement osmotique permettant la préservation de l'intégrité structurale et fonctionnelle des tissus (Blum, 1988).

Semiani (1997) a expliqué le maintien d'une TR élevée chez une variété de blé tendre en conditions sèches par sa haute capacité à accumuler des solutés et/ou à une faible élasticité des tissus. Il conclut également que la chute de la TR en fonction du niveau de stress est un caractère dépendant du génotype.

Le suivi de la teneur en eau relative d'une variété de blé dur et d'une variété de blé tendre a démontré que le blé dur maintenu en régime déficitaire perd davantage d'eau, par contre lorsque les besoins sont satisfaits, on ne décèle pas de différence notable entre les deux variétés Melkiche et al (1993).

Le maintien d'une turgescence relative élevée présente de nombreux avantages (Alhakimi et al, 1993):

- maintien sous certaines conditions de la croissance
- régulation de l'ouverture stomatique
- maintien de l'activité photosynthétique

Il permet par ailleurs à la plante d'éviter la déshydratation de ses tissus, ceci peut être le résultat d'une absorption efficace de l'eau du sol grâce à un système racinaire très développé (Hsiao et Acevedo, 1974 in El Djaafari et al, 1995)

1.2.2- Teneur en chlorophylle des feuilles

1.2.2.1- Résultats

La fig.13 et le tableau 18 montrent qu'un important manque d'eau dans le sol (25 % cc) entraîne une baisse de 2,95 % de la teneur moyenne en chlorophylle totale des feuilles chez des deux variétés réunies. Par contre, leur rapport chlorophylle a / chlorophylle b moyen augmente de 9,54 % sous le même régime (fig.14, tableau 18). L'inverse est observé en culture moyennement irriguée. Toutefois, sur le plan statistique, les écarts entre les régimes sont peu significatifs pour les deux paramètres (tableau 17).

Tableau 17: Analyse de variance de la teneur en chlorophylle totale des feuilles (mg/100 mg feuilles fraîches) et du rapport chl a / chl. b, signification de F et groupes homogènes des moyennes.

Source de variation	F calculé et signification		Régime hydrique, variété	moyenne (groupe stat)			
	Chl. A + b	Ch.a / ch.b		Chl. a + b		Ch.a / ch.b	
Régime hydrique	0,12 ^{NS}	1,54 ^{NS}	100 % (S0)	18,61	A	2,62	A
			50 % (S1)	18,82		2,55	
			25 % (S2)	18,07		2,87	
Variété	0,56 ^{NS}	4,18 [*]	Dessica (V1)	18,01	A	2,84	A
			Moapa (V2)	18,99		2,51	B

NS = non significatif au seuil de 5 %, * = significatif au seuil de 1 pour 1000

Tableau 18 : Taux moyen de diminution de la teneur en chlorophylle et du rapport chl.a / chl.b des feuilles chez les 2 variétés, en fonction de l'intensité du déficit hydrique

Stress hydrique (% capacité au champ)	Diminution de la chlorophylle totale et du rapport chl.a/ chl.b (% témoin)					
	Variété dessica (V1)		Variété moapa (V2)		Moyenne	
	Ch.a + ch.b	Ch. a / b	Ch.a + ch.b	Ch. a / b	Ch.a + ch.b	Ch. a / b
50 % ou S1(moyen)	15,37	-14,23	-20,50	18,15	-1,13	2,67
25 % ou S2 (sec)	15,82	-22,90	-12,20	2,96	2,95	-9,54
Moyenne	15,60	-18,58	-16,40	10,56	0,91	-3,43

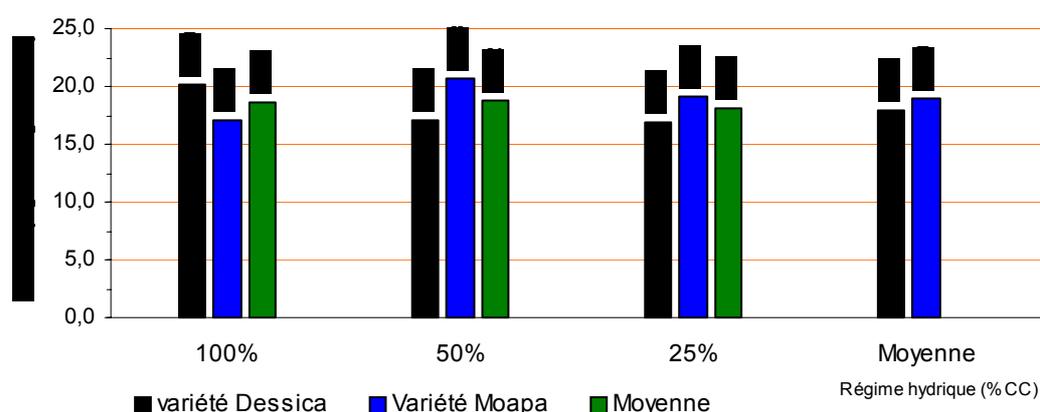


Fig. 13: variation de la teneur des feuilles en chlorophylle totale (a + b) chez les 2 variétés, en fonction du régime hydrique.

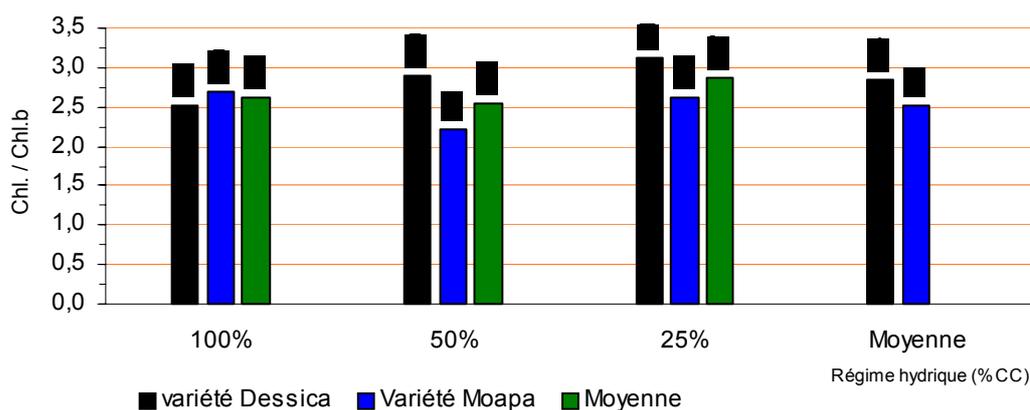


Fig. 14: variation du rapport chlorophylle a / chlorophylle b dans les feuilles des 2 variétés, en fonction du régime hydrique.

Au niveau variétal, on note que, sous tous régimes hydriques confondus, la variété Dessica produit un peu moins de chlorophylle et exprime un rapport chl. a / b significativement plus élevé que Moapa (tableau 17, fig. 13 et 14). Par ailleurs, les deux paramètres sont modifiés par une restriction

hydrique chez les deux variétés. Cependant, l'ampleur et le sens des écarts enregistrés entre elles varient avec le régime et le paramètre considérés.

En culture irriguée à 100 % de la capacité au champ, comparée à la variété Moapa, les feuilles de Dessica sont relativement plus riches en chlorophylle et leur rapport chl.a / chl.b est plus légèrement inférieur. En sol moins humide, les divergences entre les variétés sont encore plus nettes. En effet, il ressort qu'à l'inverse de la variété Moapa, Dessica s'appauvrit en chlorophylle et augmente son rapport chl.a / chl.b (fig.13 et 14, tableau 18). La réaction de la variété Dessica à la sécheresse par une réduction de sa chlorophylle est si forte qu'elle devient moins riche que Moapa placée dans les mêmes conditions restrictives (fig.13).

1.2.2.2- Discussions

Le dosage de la teneur en chlorophylle a et b, la déduction de rapport chl.a / chl.b, établies chez les deux variétés cultivées sous différents régimes hydriques, révèlent que la luzerne en sol maintenue entre 50 et 25 % de sa capacité au champ est perturbée. Les plantes très stressées réagissent par une baisse de leur teneur en chlorophylle et une augmentation de rapport chl. a / b. Les écarts enregistrés par rapport au témoin sont comparables pour les deux paramètres.

Le comportement des deux variétés aux deux stress testés diffère. La variété Dessica a tendance à lutter contre l'insuffisance hydrique en diminuant sa concentration en chlorophylle et en augmentant son rapport chl.a/chl.b. Dans les mêmes conditions, la variété Moapa adopte une stratégie inverse.

La divergence dans le comportement des variétés de la luzerne a été mise en évidence également par Siakhène (1984) qui a observé que 2 ont réagi par une diminution de leur teneur en chlorophylle et 2 par une augmentation. Ait Kaki (1992) a abouti à la même conclusion chez le blé dur.

La baisse de la teneur en chlorophylle chez la variété Dessica durant la période de sécheresse serait la conséquence de la réduction de l'ouverture des stomates (Brown et Tanner,1983) visant à limiter les pertes en eau par évaporation et par la même l'augmentation de la résistance à l'entrée du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse (Slatyer, 1974). L'économie de l'eau se traduit une turgescence relative moins affectée par le stress que celle de Moapa, conduisant à une dilution de la chlorophylle.

L'augmentation de la teneur en chlorophylle notée chez la variété Moapa quand elle est moins arrosée, serait probablement la conséquence de la réduction de la taille des cellules foliaires sous l'effet du stress hydrique qui engendre une plus grande concentration (Siakhene, 1984). Cette hypothèse est renforcée par la réduction de teneur relative en eau des feuilles et de la surface foliaire chez cette variété, ainsi que par la biomasse sèche moins affectée que celle de Dessica en conditions stressantes.

Le rapport chl.a / chl.b est un bon indicateur du seuil de tolérance au stress hydrique. Guettouche (1990) rapporte que plus ce paramètre est élevé plus les variétés sont tolérantes au déficit en eau. Ces résultats nous conduisent à conclure que la variété Dessica s'adapte mieux à la sécheresse que Moapa.

1.2.3- Teneur en proline et en sucres solubles des feuilles

1.2.3.1- Résultats

Comparées aux plantes arrosées à 100 % de la capacité au champ, celles soumises à une restriction hydrique produisent plus de proline et de sucres dans leur feuillage. Un déficit hydrique plus grave amplifie davantage l'accumulation de la proline dans les tissus foliaires, atteignant pratiquement le double de celle du témoins (757,15 contre 345,72 $\mu\text{g} / 100 \text{ mg}$ feuilles, soit 119,01 % d'augmentation). Ce rythme n'est pas suivie par la teneur en sucres qui augmente plus sous un stress moyen que sous une sécheresse plus accentuée (70,98 et 44,49 % d'augmentation respectivement en régime moyen et sec) (tableau 20 et fig.15).

En sol moyennement arrosé, les 2 variétés réunies concentrent plus la proline que les sucres. Le taux d'augmentation de la proline étant de 28,92 % et celui des sucres de 70,98 %, soit un rapport de 2,5 (tableau 20). L'inverse se produit en sol plus sec (l'augmentation de la proline est 119,01 %, celle des sucre de 44,49 %, donc un rapport de 2.6).

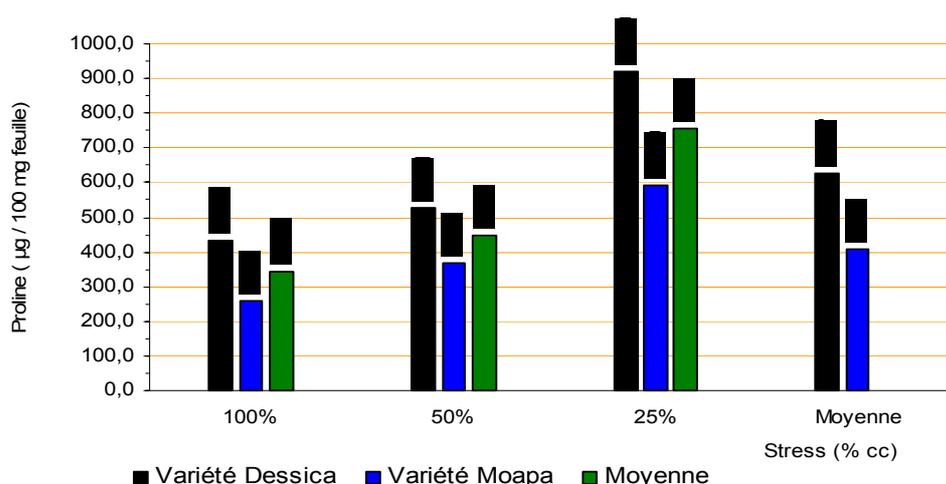


Fig. 15: *variation de la teneur en proline dans les feuilles fraîches des 2 variétés, en fonction du régime hydrique.*

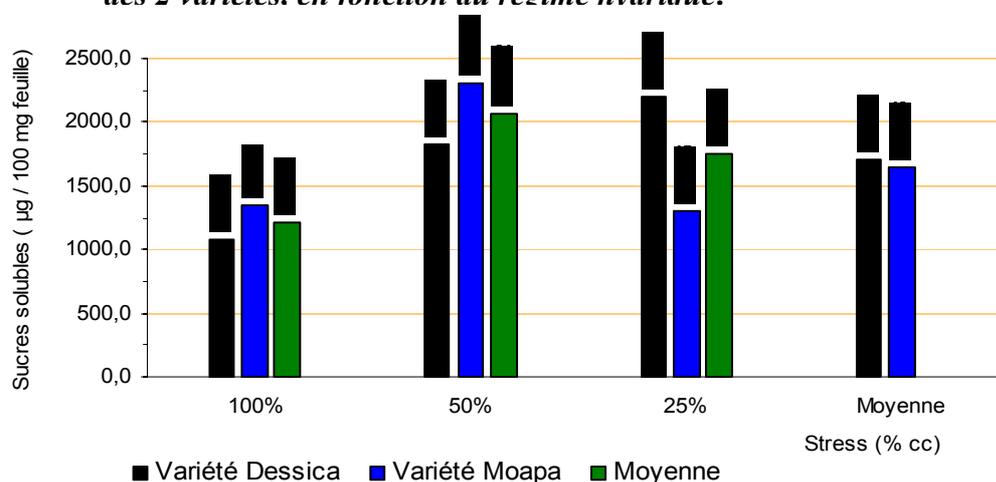


Fig. 16: *variation de la teneur en sucres solubles dans les feuilles fraîches des 2 variétés, en fonction du régime hydrique.*

Tableau 19: Analyse de variance de la teneur en proline et en sucres solubles des feuilles ($\mu\text{g} / 100 \text{ mg}$ feuilles fraîches), signification de F et groupes homogènes des moyennes.

Source de variation	F calculé et signification		Régime hydrique, variété	Moyenne en $\mu\text{g}/100 \text{ mg}$ (groupe stat)			
	Proline	Sucres		Proline		Sucres	
Régime hydrique	34,41 ***	69,35 ***	100 % (S0)	345,72	B	1207,97	C
			50 % (S1)	445,71		2065,42	A
			25 % (S2)	757,15	A	1745,35	B
Variété	27,84 ***	0,81 NS	Dessica (V1)	626,67	A	1699,96	A
			Moapa (V2)	405,71	B	1645,86	

NS = non significatif au seuil de 5 %, * = significatif au seuil de 5 %

Tableau 20 : Taux moyen d'augmentation de la teneur en proline et en sucres solubles des feuilles chez les 2 variétés, en fonction de l'intensité du déficit hydrique

Stress hydrique (% capacité au champ)	Augmentation teneur en proline et en sucres feuilles (% témoin)					
	Variété Dessica (V1)		Variété Moapa (V2)		Moyenne	
	Proline	Sucres	Proline	Sucres	Proline	Sucres
50 % ou S1(moyen)	21,05	70,79	42,22	71,14	28,92	70,98
25 % ou S2 (sec)	111,84	104,41	131,12	-3,41	119,01	44,49
Moyenne	66,45	87,60	86,67	33,87	73,97	57,74

Sur le plan variétal, les valeurs moyennes des 3 modalités d'apport d'eau indiquent que les feuilles de Dessica sont plus riches en proline et en sucres que celles de Moapa (fig.15 et 16). Cependant, l'analyse de variance montre que ces deux variétés ne diffèrent significativement que pour la proline (tableau 19). Les feuilles de Dessica contiennent en moyenne 626,27 et celles de Moapa 405,71 μg de proline / 100 mg de matière fraîche (fig.15). Leur teneurs moyennes en sucres sont dans le même ordre, de 1699,96 et 1645,86 $\mu\text{g} / 100 \text{ mg}$, donc très proches (fig.16). Ce rapprochement des 2 variétés par leur teneur moyenne en sucres sous les 3 modalités, masque l'effet régime hydrique.

En effet, l'analyse des résultats par régime montre que certes Dessica produit significativement plus de proline que Moapa sous tous les régimes hydriques appliqués (fig. 15). Mais, sa teneur en sucres est plus faible que celle de Moapa en absence de stress (-25,11 %) et sous une restriction hydrique modérée (-25,36 %). Dans les conditions plus sèches (25 % cc), elle synthétise près de 41 % de sucres en plus que Moapa.

L'évaluation de la tolérance à la sécheresse, exprimée par les taux d'augmentation par rapport au témoin (tableau 20), révèle que les deux

variétés adoptent comme pour la chlorophylle un comportement différent selon la gravité du déficit en eau du sol et le paramètre physiologique considéré.

En culture moins stressée (50 % cc), l'augmentation de la teneur en proline de la variété Dessica est deux (2) fois plus faible que celle de Moapa (21,05 %, contre 42,22 %, tableau 20). Dans les mêmes conditions, les deux variétés expriment un même taux d'augmentation en sucres.

Lorsque le déficit hydrique du sol est plus critique (25 % cc), les 2 variétés augmentent encore plus leur composition en proline. Leurs teneurs en cet acide aminé ont pratiquement doublé et sont statistiquement équivalentes (111,84 % et 131,12 %). Dans le même milieu le gain en sucres de Dessica est beaucoup plus élevé (104,41 %, contre une réduction de 3,41 % pour Moapa).

1.2.3.2 - Discussions

En sol arrosé entre 50 et 25 % de sa capacité au champ, les deux variétés réunies réagissent en moyenne par une augmentation plus ou moins importante de la synthèse à la fois de la proline et des sucres. Cette réaction se maintient et s'amplifie avec l'intensité de la contrainte hydrique, chez les deux variétés pour la proline, chez Dessica, seulement pour les sucres.

L'accumulation simultanée ou non de ces deux solutés suivant la variété et le degré de stress, permet aux plantes de supporter le manque d'eau, en maintenant leur turgescence relative foliaire moins perturbée que possible et leur intégrité cellulaire préservée (Bensalem, 1993). Le processus de concentration des sucres solubles et / ou de la proline dans les tissus foliaires des plantes stressées est reconnu comme une caractéristique d'adaptation (Kameli et Losel, 1995 ; Deraissac, 1992). C'est une composante non moins importante de l'ajustement osmotique observée chez de nombreuses espèces cultivées comme le blé (Munns et Weir, 1981 ; Gaudilliere et Barcelo, 1990 ; Johnson-Flanagan et al, 1992 ; Adjab, 2002 ; Adjab et Khezane, 1998) ainsi que chez la luzerne (Mefti et al, 2000).

La variété Moapa à réagit par une augmentation des sucres importante et équivalente à celle de Dessica en présence d'un déficit hydrique moyen et une légère baisse sous le régime sec. Un tel comportement a été également remarqué chez l'espèce *intertexta* du même genre par Laouar et al (1999) qui a noté une augmentation des sucres quand le stress ne dure que 5 jours et une baisse quand celui-ci est prolongé. A ce propos, les chercheurs retiennent l'hypothèse qu'une orientation des sucres vers les racines contribuerait au maintien, voire à l'augmentation de la croissance de celle-ci (INRA, 2000).

En somme, les deux variétés accumulent différemment les deux métabolites en fonction de la sévérité des restrictions en eau. En régime moyen, dessica se distingue de Moapa par sa plus faible accumulation en proline sous le régime moyen et sa très forte concentration en sucres en milieu plus sec. En stress élevé, l'augmentation de la proline chez Moapa au

détriment des sucres ne semble pas être suffisante au maintien de sa turgescence relative qui diminue même faiblement, de 2,7 % (tableau 16).

Sous les deux stress confondus, la variété Dessica a tendance survivre en misant plus sur l'augmentation des sucres (87,60 %) que sur celle de la proline (66,45 %). L'inverse se produit chez Moapa (augmentation : proline = 86,67 %, sucres = 33,87 %).

Il ressort finalement que les modalités d'ajustement osmotique varient en fonction de la variété, comme l'ont remarqué Morgan (1984) et Blum (1988) et même avec l'intensité du stress appliqué.

L'ajustement osmotique apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation à la sécheresse, il peut intervenir à tous les stades du développement et il n'a que peu ou pas d'incidences sur le rendement (Monneveux et Thise, 1997)

Les résultats obtenus concernant le dosage des sucres et de la proline confirment la capacité d'osmorégulation des deux variétés étudiées. A cette capacité, on associe en général la stabilité du rendement et la tolérance (Monneveux et al, 1992).

2 - Influence de la profondeur de semis

2.1 - Action sur les paramètres de croissance

2.1.1 - Longueur de la tige

En général, nous observons une augmentation importante de la hauteur de la tige jusqu'à la 2^{ème} semaine de mesure. Par la suite, il y a un ralentissement dans le rythme de développement. Les 2 variétés présentent pour les 3 traitements des allures de développement identiques, à savoir une accélération suivie par une diminution de la vitesse de croissance (fig.17 et 18).

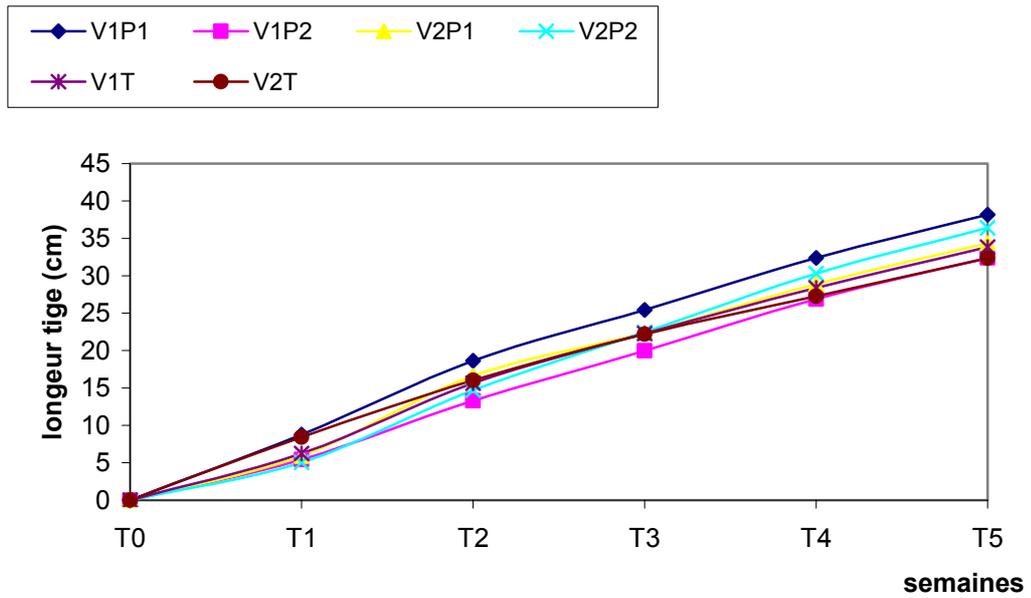


Fig.17 : évolution de la longueur moyenne cumulée de la tige en fonction de la profondeur de semis

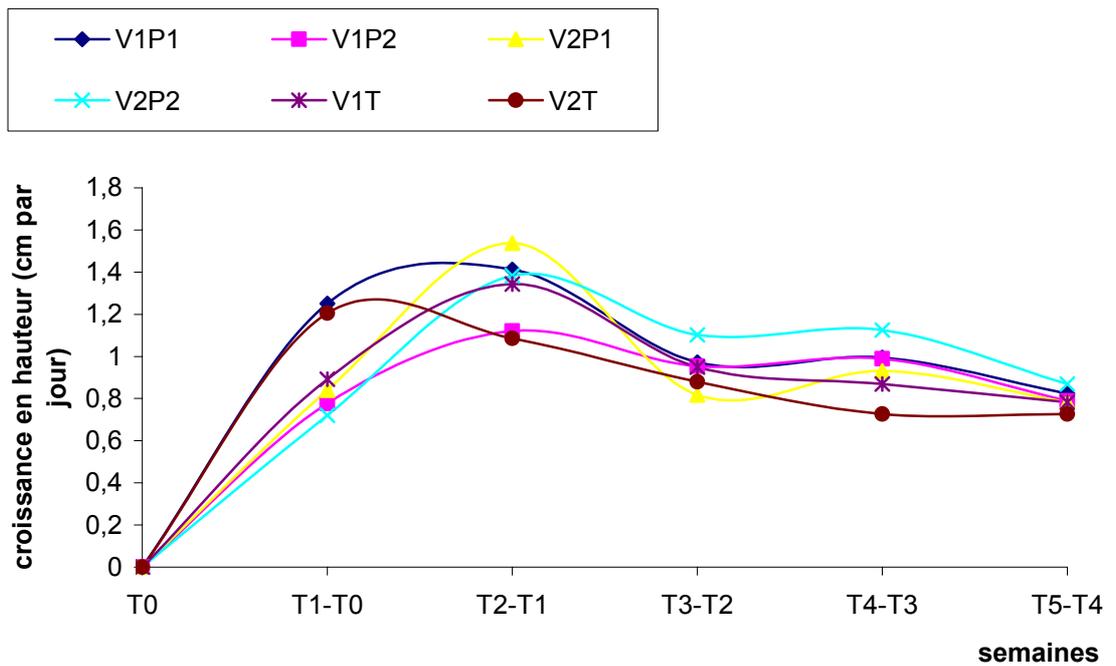


Fig.18 : Evolution de la vitesse de croissance en longueur de la tige en fonction de la profondeur de semis

L'analyse de variance démontre que ni la profondeur de semis ni le facteur variétal n'ont influencé significativement la hauteur de la tige. (tableau 21).

Nous obtenons en fin de traitement, pour les 2 variétés, des tiges de longueurs égales à savoir 34,8 cm pour dessica et 34,37 pour moapa (tableau 21)

Tableau 21 : Analyse de variance de la longueur hebdomadaire moyenne de la tige, signification et groupes homogènes des moyennes

source de variation	F calculé et signification	Profondeur de semis, variété	Longueur hebdomadaire moyenne de la tige	groupe statistique
Profondeur	0,76 ^{NS}	1 à 2 cm (T)	33,1	A
		2 à 3 cm (P1)	36,26	
		3 à 4 cm (P2)	34,4	
			35,3	
Variété	0,04 ^{NS}	dessica (V ₁)	34,8	A
		moapa (V ₂)	34,37	

NS non significatif

Tableau 22 : Taux moyen d'augmentation de la longueur hebdomadaire cumulée de la tige des 2 variétés en fonction de la profondeur du semis

profondeur de semis (cm)	augmentation de la longueur hebdomadaire de la tige (% témoin)		
	Variété dessica (V ₁)	variété moapa (V ₂)	Moyenne
2 à 3 (P1)	12,76	6,18	9,47
3 à 4 (P2)	-4,25	12,48	4,115
moyenne	4,25	9,33	6,79

Toutes variétés confondues, la hauteur de la tige pour les 2 traitements à la première semaine est inférieure à celle du traitement témoin (tableau 22). Ceci peut être expliqué par le temps nécessaire à la plantule pour immerger du sol qui est plus important.

Pour la profondeur moyenne, la hauteur de la tige dépasse celle du témoin dès la 2^{ème} semaine, par contre, pour la profondeur plus accentuée, elle demeure inférieure à celle du témoin jusqu'à la 3^{ème} semaine. Avec un rythme de développement plus accéléré par rapport à celui du témoin, la hauteur de la tige est plus importante en semis profond et modéré en fin de traitement (tableau 23).

Tableau 23 : Evolution de la hauteur de la tige des 2 variétés confondues en fonction du temps

profondeurs de semis (cm)	Hauteur de la tige en cm				
	1ère semaine	2ème semaine	3ème semaine	4ème semaine	5ème semaine
2 à 3 (P1)	7,32	17,64	39,00	30,64	36,28
3 à 4 (P2)	5,24	14,00	21,18	28,60	34,40
1 à 2 (Témoin)	7,34	15,84	22,24	27,82	33,10

2.1.2 - Surface foliaire (SF):

Du point de vue statistique, l'effet profondeur de semis n'est pas significatif, de même nous n'avons pas observé de différence variétale (tableau 24). Il est à signaler cependant une légère augmentation de la surface foliaire de 22,07% en semis moyen (P1) et de 3,05% en semis profond (P2) équivalent à 0,5 cm² /feuille en moyenne (12,56%) (tableau 25)

Tableau 24 : Analyse de la variance de la surface foliaire, signification de F et groupes homogènes des moyennes

source de variation	F calculé et signification	Profondeur de semis, variété	surface foliaire en (cm ²)	groupe statistique
Profondeur	2,75 ^{NS}	1 à 2 cm (T)	4,02	A
		2 à 3 cm (P1)	4,94	
		3 à 4 cm (P2)	4,15	
Variété	0,46 ^{NS}	dessica (V ₁)	4,48	A
		moapa (V ₂)	4,25	

NS non significatif

Tableau 25 : Taux moyen de gain de la surface foliaire moyenne des 2 variétés en fonction de la profondeur de semis.

profondeur de semis (cm)	Gain de surface foliaire (% témoin)		
	Variété dessica (V ₁)	variété moapa (V ₂)	Moyenne
2 à 3 (P1)	32,72	11,43	22,07
3 à 4 (P2)	4,32	1,79	3,05
moyenne	18,52	6,61	12,56

En réalité, les deux variétés développent des surfaces de limbes égales (4,48 pour dessica et 4,25 pour moapa)

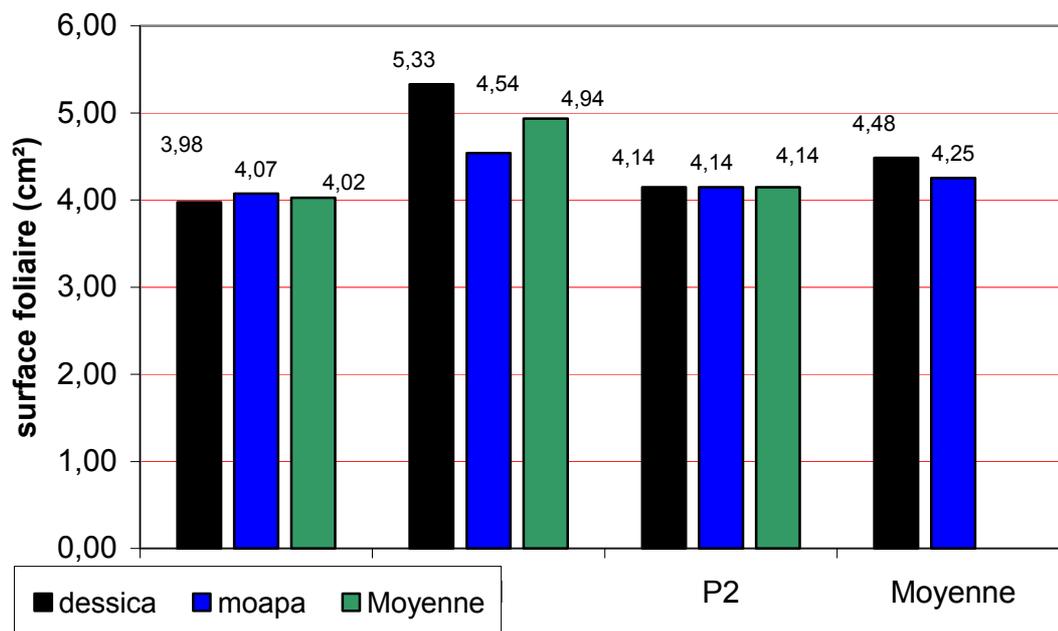


Figure 19 : Surface foliaire des 2 variétés en fonction des différentes profondeurs de semis.

2.1.3 - Biomasse sèche aérienne totale par plante

Le facteur variétal ainsi que le facteur profondeur de semis n'ont pas influencé significativement le poids de la biomasse sèche aérienne (tableau 26). Tous traitements confondus, les poids de la matière sèche aérienne sont proches chez les 2 variétés (1,69g/plante pour dessica et 1,74g/plante pour moapa)

Tableau 26 : Analyse de variance de la biomasse sèche aérienne, signification de F et groupe homogène des moyennes

source de variation	F calculé et signification	Profondeur de semis, variété	Longueur hebdomadaire moyenne de la tige	groupe statistique
Profondeur	0,67 ^{NS}	1 à 2 cm (T)	1,50	A
		2 à 3 cm (P1)	1,68	
		3 à 4 cm (P2)	1,96	
Variété	0,01 ^{NS}	dessica (V ₁)	1,69	A
		moapa (V ₂)	1,74	

NS non significatif

Tableau 27 : Taux moyen de gain de la biomasse sèche aérienne / plante chez les 2 variétés en fonction de la profondeur de semis

profondeur de semis (cm)	Gain de biomasse / plante (% témoin)		
	Variété dessica (V ₁)	variété moapa (V ₂)	Moyenne
2 à 3	0,00	25,36	12,68
3 à 4	11,65	52,17	31,91
moyenne	5,91	38,76	22,33

Nous notons cependant un accroissement du poids sec aérien surtout en semis prononcé. Il y a en moyenne, pour les deux variétés, un gain de 0,33g/plante correspondant à 22,33% (tableau 27). Chez la variété dessica, le poids de la biomasse sèche aérienne reste pratiquement constant (avec une augmentation de 5,91%). Chez la variété moapa, l'augmentation est plus importante (38,76%) (tableau 25). Le poids le plus élevé est développé par cette variété en semis prononcé (Fig.20)

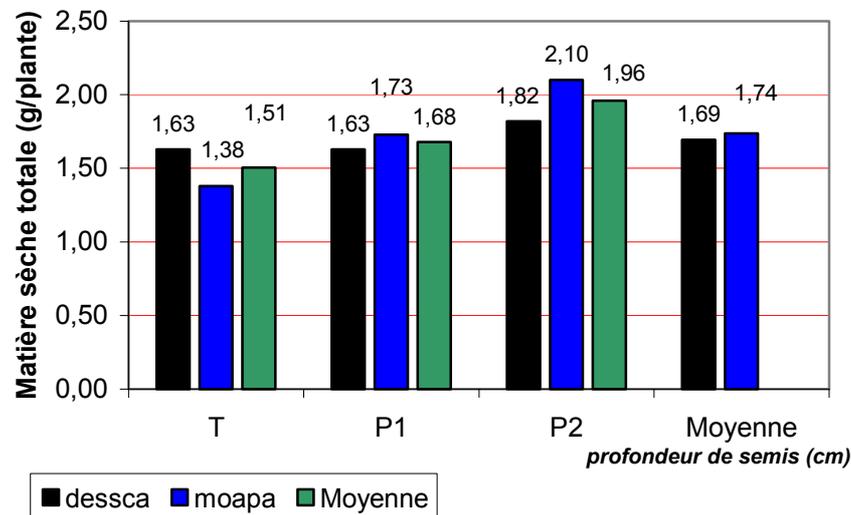


Figure 20 : Matière sèche aérienne totale par plante des 2 variétés en fonction de la profondeur de semis

2.1.4 - Biomasse sèche des feuilles

La profondeur de semis a eu pour effet une diminution du poids sec des feuilles chez la variété dessica (-5,93%) et une forte augmentation du même paramètre chez la variété moapa (45,59%) (tableau 29). En moyenne, pour les 2 variétés, l'augmentation de la profondeur de semis a provoqué une augmentation du poids sec des feuilles de 0,16g/plante correspondant à 19,83% . Ces différences demeurent toutefois non significatives (tableau 28).

Tableau 28 : Analyse de variance de la matière sèche des feuilles, signification de *F* et groupes homogènes des moyennes

source de variation	F calculé et signification	Profondeur de semis, variété	Poids secs des feuilles (g/plante)	groupe statistique
Profondeur	0,92 ^{NS}	1 à 2 cm	0,82	A
		2 à 3 cm	0,92	
		3 à 4 cm	1,00	
Variété	3,11 ^{NS}	dessica (V ₁)	0,84	A
		moapa (V ₂)	0,99	

NS non significatif

Tableau 29 : Gain de biomasse sèche des feuilles des 2 variétés en fonction de la profondeur de semis

profondeur de semis	Gain de biomasse sèche des feuilles (% témoin)		
	Variété dessica (V ₁)	variété moapa (V ₂)	Moyenne
2 à 3 cm	-9,66	39,20	14,77
3 à 4 cm	-2,20	51,98	24,89
moyenne	-5,93	45,59	19,83

Bien que leur réaction soit opposée, les 2 variétés produisent en moyenne des poids secs des feuilles peu différents (0,84 g/plante pour dessica et 0,99 g/plante pour moapa). La supériorité de la variété dessica en traitement témoin, par rapport à la variété moapa, est perdue en profondeurs plus grandes (Fig.21, tableau 28).

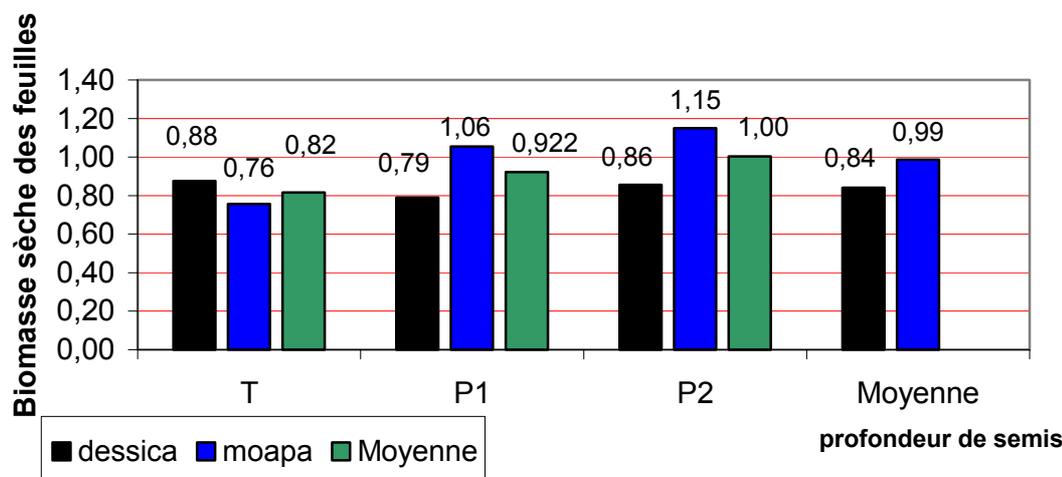


Figure 21 : Biomasse sèche des feuilles par plante des 2 variétés en fonction de la profondeur de semis

2.1.5 - Biomasse sèche des tiges :

Contrairement au poids sec des feuilles, le poids sec des tiges augmente chez les 2 variétés avec la profondeur de semis. Cet accroissement atteint 25,09% en moyenne (tableau 31), ce qui correspond à un gain de 0,36 g/plant. Tous traitements confondus, c'est la variété dessica qui, grâce à sa supériorité en traitement témoin, donne le poids des tiges le plus élevé (fig.22) malgré un taux d'augmentation plus important de la variété moapa (tableau 31). Cependant, l'analyse statistique ne révèle pas de différences significatives pour le facteur variétal ainsi que pour le facteur profondeur de semis (tableau. 30).

Tableau 30 : Analyse de la variance de la matière sèche des tiges, signification de *F* et groupes homogènes des moyennes

source de variation	F calculé et signification	Profondeur de semis, variété	biomasse sèche des tiges (g/plante)	groupe statistique
Profondeur	2,45 ^{NS}	1 à 2 cm	0,70	A
		2 à 3 cm	0,76	
		3 à 4 cm	0,97	
Variété	0,68 ^{NS}	dessica (V ₁)	0,85	A
		moapa (V ₂)	0,77	

NS non significatif

Tableau 31 : Gain de biomasse sèche des tiges des 2 variétés en fonction de la profondeur de semis

profondeur de semis	Gain de biomasse sèche (% témoin)		
	Variété dessica V ₁	variété moapa V ₂	Moyenne
2 à 3 cm	11,84	6,34	9,09
3 à 4 cm	25,00	57,79	41,09
moyenne	18,42	31,76	25,09

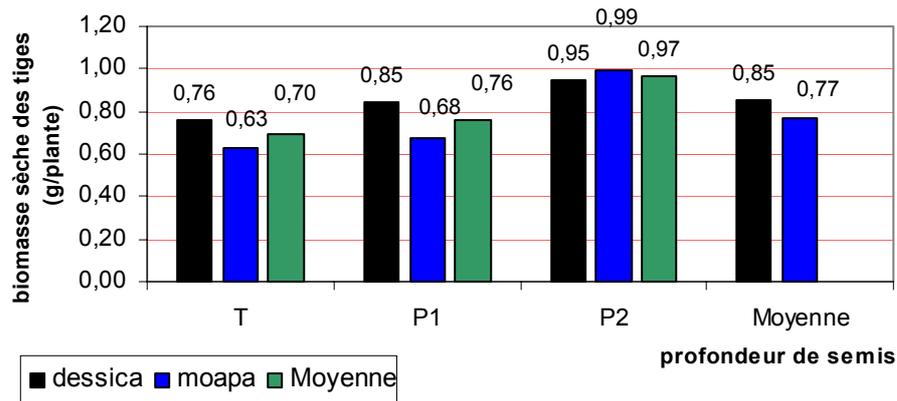


Fig.22 : Biomasse sèche des tiges par plante des 2 variétés en fonction de la profondeur de semis

2.1.6 - Rapport biomasse sèche des feuilles/biomasse sèche des tiges

Les résultats statistiques révèlent pour ce paramètre une différence variétale (tableau 32) avec diminution de ce rapport chez la variété dessica et une augmentation chez la variété moapa. (tableau 33, fig.23)

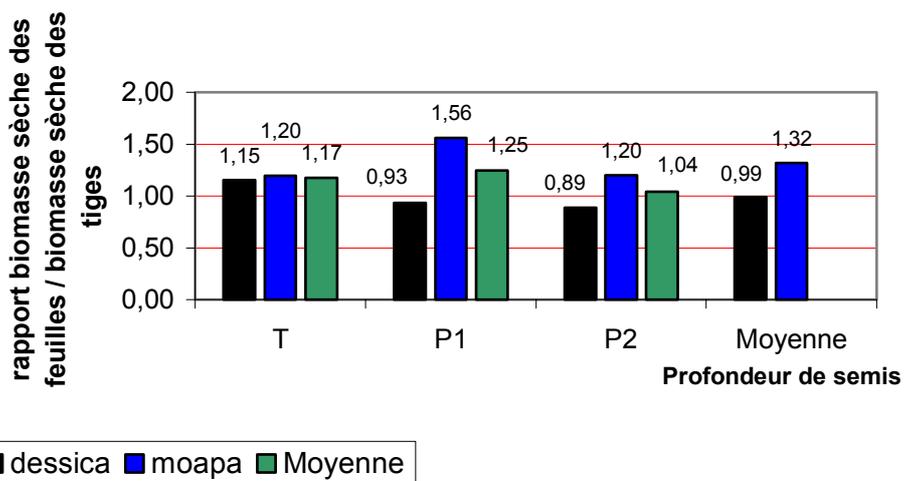


Figure 23 : Biomasse sèche des feuilles / biomasse sèche des tiges. Variation en fonction de la profondeur de semis

En moyenne, pour les deux profondeurs de semis et les deux variétés, il y a eu perte sur le rapport de -2,92% (tableau 33). L'analyse statistique ne révèle pas de différence significative entre les différents traitements appliqués alors que ce paramètre a significativement augmenté chez la variété moapa (tableau 32). Le rapport le plus élevé est obtenu chez la variété moapa aussi bien en profondeur de semis modérée qu'en profondeur prononcée (fig.23)

Tableau 32 : Analyse de variance du poids sec des feuilles / poids sec des tiges, signification de F et groupes homogènes des moyennes

source de variation	F calculé et signification	Profondeur de semis, variété	poids sec des feuilles/ poids sec des tiges	groupe statistique
Profondeur	0,37 ^{NS}	1 à 2 cm	1,18	A
		2 à 3 cm	1,24	
		3 à 4 cm	1,04	
			1,14	
Variété	9,94 ^{***}	dessica (V ₁)	0,99	A
		moapa (V ₂)	1,31	B

NS non significatif, *** significatif à 1 pour 1000

Tableau 33 : Gain sur le rapport de biomasse sèche

profondeur de semis	Gain sur le rapport de biomasse sèche des feuilles / biomasse sèche des tiges (% témoin)		
	Variété dessica V ₁	variété moapa V ₂	Moyenne
2 à 3 cm	-18,99	30,50	5,75
3 à 4 cm	-23,24	0,04	-11,59
moyenne	-21,11	15,27	-2,92

2.2 - Discussion :

Les paramètres de croissance étudiés n'ont pas été influencés significativement par les différentes profondeurs de semis appliquées. Un effet variétal a été dégagé sur le rapport poids sec des feuilles/poids sec des tiges.

Cependant, nous notons une hauteur de tige inférieure en semis profond en début de mesure qui pourrait s'expliquer par une durée de levée plus longue. Un rythme de croissance plus accéléré par rapport au témoin conduit à une tige plus longue.

Ces résultats sont confirmés ceux de Boubakeur et al (1999) sur blé qui montrent que chaque augmentation de la profondeur de semis de 1cm provoque 1 jour de retard de levée et entraîne un allongement plus important du coléoptile. De même Soltner (1985) qui conclut qu'un semis profond du blé (4 à 6 cm) conduit à un tallage retardé.

L'augmentation de la surface foliaire a été également plus importante en semis moyen. C'est, en définitive, la variété dessica, en profondeur moyenne, qui développe la tige la plus longue et la surface de limbe la plus grande.

Pour ce qui est de la biomasse sèche aérienne totale, c'est la variété moapa (V2) qui donne le poids le plus élevé bien que ces différences ne soient pas significatives. Le poids sec des feuilles a subi une réduction chez la variété dessica, ce qui conduit à une diminution du rapport poids sec des feuilles / poids sec des tiges alors que chez la variété moapa, ce rapport a, au contraire, augmenté.

Le développement de la tige chez la variété dessica s'est fait, au dépend de celui des feuilles alors que chez moapa, c'est l'inverse qui s'est produit.

2.3 - Actions sur les paramètres physiologiques

2.3.1 - Turgescence relative des feuilles

La turgescence relative demeure pratiquement constante, chez les deux variétés, quelque soit la profondeur de semis (Fig.24).

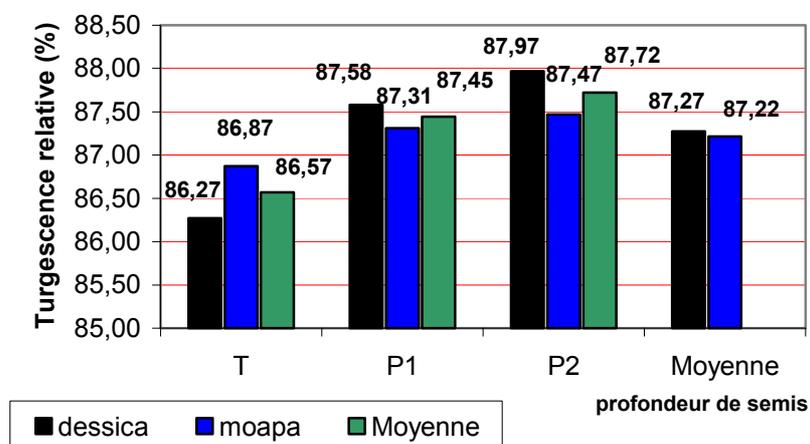


Fig.24 : Turgescence relative des 2 variétés en fonction de la profondeur de semis

En moyenne, les 2 variétés ont des turgescences égales (87,27 pour dessica et 87,22 pour moapa). On note une légère augmentation de 1,16% en moyenne sans présence toutefois de différence significative pour le facteur variétal ainsi que pour le facteur profondeur de semis (tableau 34 et 35)

Tableau 34 : Analyse de la variance de la turgescence relative, signification de F et groupes homogènes des moyennes

source de variation	F calculé et signification	Profondeur de semis, variété	Turgescence relative (%)	groupe statistique
Profondeur	1,44 ^{NS}	1 à 2 cm	86,57	A
		2 à 3 cm	87,45	
		3 à 4 cm	87,72	
			87,58	
Variété	0.54 ^{NS}	dessica (V ₁)	87,27	A
		moapa (V ₂)	87.22	

NS non significatif

Tableau 35 : Taux moyen d'augmentation de la turgescence relative des feuilles chez les 2 variétés en fonction de la profondeur de semis

profondeur de semis	Gain de turgescence relative (% témoin)		
	Variété dessica (V ₁)	variété moapa (V ₂)	Moyenne
2 à 3 cm	1,50	0,50	1,00
3 à 4 cm	1,95	0,69	1,32
moyenne	1,73	0,60	1,16

2.3.2 - Teneur en Chlorophylle totale des feuilles (chl a+b)

Un effet variétal significatif se dégage pour ce paramètre avec une augmentation moyenne de 34,28% chez la variété dessica et une réduction de 0,88% chez la variété moapa (tableau 36 et 37). En moyenne, il y a une augmentation de 16,7% par rapport à la teneur témoin (tableau 37). La teneur en chlorophylle la plus élevée est détenue par la variété dessica en semis moyen (29,9 µg/mg de feuilles fraîches) (fig.25)

Tableau 36 : Analyse de variance de la concentration en chlorophylle a+b, signification de F et groupes homogènes

source de variation	F calculé et signification	Profondeur de semis, variété	Turgescence relative (%)	groupe statistique
Profondeur	2,86 ^{NS}	1 à 2 cm	21,77	A
		2 à 3 cm	24,48	
		3 à 4 cm	26,14	
			25,31	
Variété	6,41 ^{**}	dessica (V ₁)	26,03	A
		moapa (V ₂)	22,22	B

NS non significatif, ** significatif à 5 pour 100

Tableau 37 : Taux moyen d'augmentation de la teneur en chlorophylle a+b des 2 variétés en fonction de la profondeur de semis

profondeur de semis	augmentation de la teneur en chlorophylle a+b (% temoin)		
	Variété dessica (V ₁)	variété moapa (V ₂)	Moyenne
2 à 3 cm	41,52	-15,17	13,18
3 à 4 cm	27,04	13,42	20,23
moyenne	34,28	-0,88	16,70

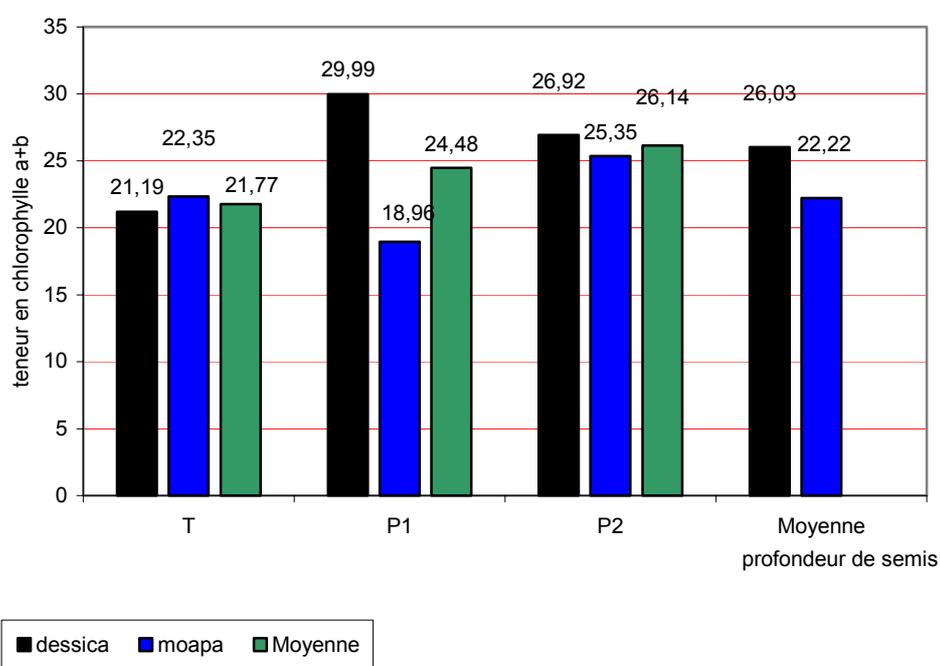


Fig. 25 : Teneur en chlorophylle chez les deux variétés en fonction de la profondeur de semis (µg/100mg de feuilles fraîches)

2.3.3 - Teneur en proline et en sucres solubles des feuilles

La profondeur moyenne a eu pour effet une augmentation de la concentration en sucre (6,18%) et en proline (2,82%). La profondeur accentuée a fait diminuer la teneur en sucre (-19,10%) et en proline (-0,92%) (tableau 40).

Les concentrations en sucre des deux variétés pour les 3 traitements sont très proches. 161,51 µg/mg pour dessica et 167,76 µg/mg pour moapa.

Pour la teneur en proline, c'est également la variété moapa qui présente la concentration la plus grande (fig. 26 et 27).

Statistiquement, ces variations ne sont pas significatives (tableau 38)

Tableau 38 : Analyse de variance des concentrations en sucres, signification de F et groupes homogènes

source de variation	F calculé et signification	Profondeur de semis, variété	Concentration en sucres ($\mu\text{g}/100\text{mg}$)	groupe statistique
Profondeur	0,35 ^{NS}	1 à 2 cm	172,27	A
		2 à 3 cm	182,69	
		3 à 4 cm	138,93	
			160,81	
Variété	0,21 ^{NS}	dessica (V_1)	161,51	A
		moapa (V_2)	167,76	

NS non significatif

Tableau 39 : Analyse de variance des concentrations en proline, signification de F et groupes homogènes de moyennes

source de variation	F calculé et signification	Profondeur de semis, variété	Concentration en proline ($\mu\text{g}/100\text{mg}$)	groupe statistique
Profondeur	0,45 ^{NS}	1 à 2 cm	26,12	A
		2 à 3 cm	26,89	
		3 à 4 cm	25,97	
			26,43	
Variété	0,23 ^{NS}	dessica (V_1)	22,86	A
		moapa (V_2)	29,79	

NS non significatif

Tableau 40: Taux moyen d'augmentation de la teneur en sucres solubles et en proline en fonction de la profondeur de semis

profondeur de semis	Augmentation de la teneur en sucres solubles et en proline des feuilles (%témoin)					
	Variété dessica V_1		variété moapa V_2		Moyenne	
	Sucres	proline	Sucre	Proline	sucres	proline
2 à 3 cm	11,22	1,34	1,13	4,3	6,18	2,82
3 à 4 cm	-21,19	-3,34	-17,00	1,5	-19,10	-0,92
moyenne	-4,99	-1,00	-7,94	2,90	-6,46	0,95

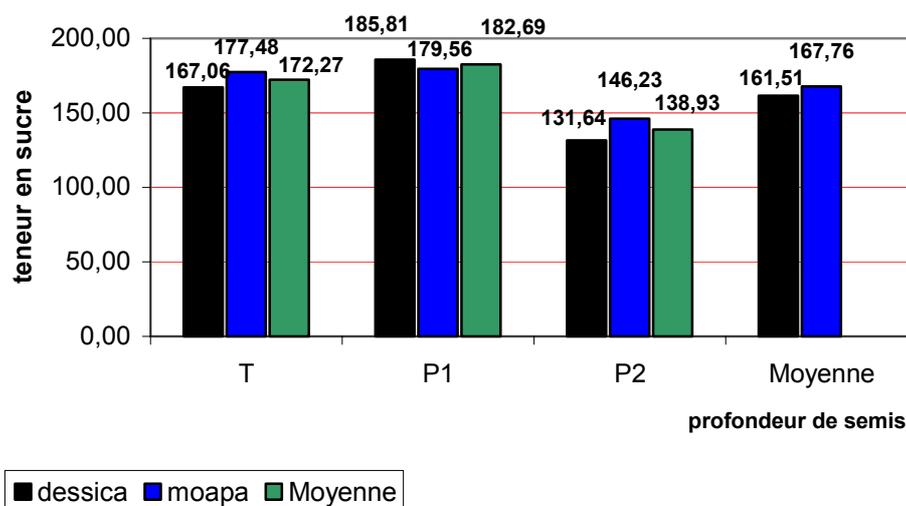


Fig.26 : Teneur en sucres solubles des 2 variétés en fonction de la profondeur de semis

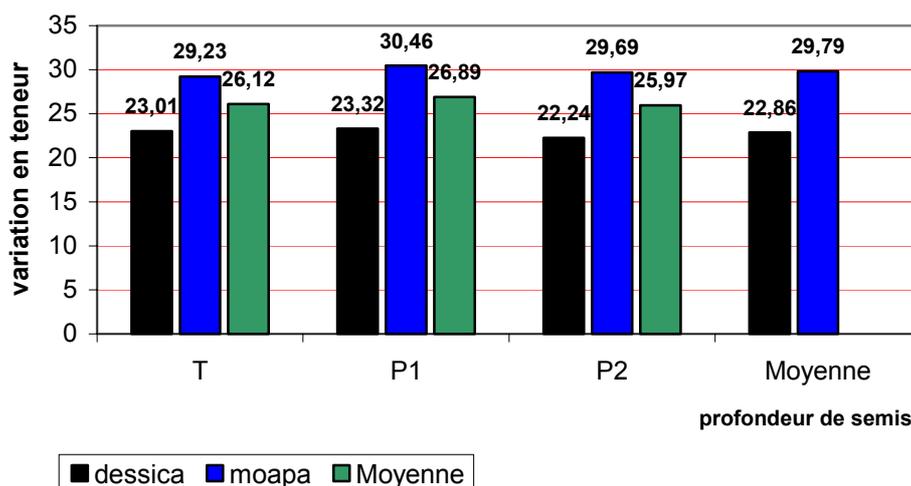


Fig. 27 : Variation des teneurs en proline des deux variétés en fonction de la profondeur de semis

2.3.4 - Discussion :

Les différentes profondeurs de semis pratiquées n'ont pas eu d'effet significatif sur les paramètres physiologiques mesurés. Un effet variétal significatif a été observé pour la teneur en chlorophylle a+b avec une augmentation chez la variété dessica et une diminution chez la variété moapa.

En moyenne, il y a eu un gain en chlorophylle a+b de 16,9% par rapport au traitement témoin chez les deux variétés confondues.

Nous notons également une diminution de la teneur en sucres solubles des feuilles de - 6,46%. Cette diminution serait le résultat d'une remobilisation des sucres vers les tiges. Du fait que la tige devient plus longue quand le semis est plus profond, les réserves nutritives au niveau de la semence risquent de ne pas être suffisantes pour assurer la croissance d'une tige longue et vigoureuse (Boubakeur et al. 1999).

Conclusion

Plusieurs mécanismes rendent compte de la capacité de survie à la sécheresse. Des expérimentations ont été réalisées sur des espèces (dactyle, luzerne) utilisées pour la production fourragère ou la protection des sols dans les milieux méditerranéens. Ces travaux mettent en évidence que la survie à la sécheresse est corrélée avec la précocité, le ralentissement physiologique de la croissance des parties aériennes, un système racinaire plus développé en profondeur et une accumulation de sucres (INRA, 2000). Les résultats obtenus dans le présent travail confirment ces travaux et expliquent le comportement général des deux variétés étudiées.

L'accommodation à la restriction d'eau s'est traduite par une diminution de la biomasse sèche aérienne. Cette diminution est d'autant plus importante que le stress est plus sévère. La réduction de la biomasse sèche aérienne est la conséquence d'une diminution du poids sec des feuilles et du poids sec des tiges avec maintien du rapport poids sec des feuilles / poids sec des tiges constant et donc une conservation de la qualité alimentaire. En réalité, cette accommodation par baisse de production tend à minimiser le besoin en eau de la plante.

Les caractères physiologiques mesurés traduisent également une tolérance au manque d'eau dans le sens où il y a eu :

- maintien de la teneur en chlorophylle : signalons cependant pour ce paramètre, une différence variétale pour le rapport chl a / chl b traduisant une meilleure tolérance chez la variété moapa
- maintien d'une turgescence relative élevée au niveau foliaire qui est souvent liée à la capacité d'ajustement osmotique
- un taux de proline nettement plus élevé chez les deux variétés par rapport à leurs témoins non stressés.
- une augmentation de la teneur en sucres solubles foliaires chez la variété dessica et chez la variété moapa en stress modéré. La détermination de la teneur en sucres solubles chez cette même variété en stress prononcé nous fait penser à une orientation des sucres vers les racines.

Pour le deuxième aspect de ce travail, (profondeur de semis), les résultats montrent qu'une profondeur allant jusqu'à 4cm, lorsque le sol est suffisamment humecté, ne présente pas de contrainte pour la plante. Cette profondeur n'a engendré aucune variation significative sur les traits morphologiques et physiologiques. Elle permet, en outre, d'éviter les inconvénients d'un semis superficiel. Elle semble plutôt convenir aux deux variétés étudiées en favorisant légèrement la croissance en hauteur.

Les graines ayant été enfoncées plus profondément seraient mieux protégées et profiteraient d'avantage de l'humidité du sol.

Les possibilités de l'extraction de l'eau étant étroitement liées à la dynamique de croissance des racines (Richards et Passioura ; 1981), ceci ouvre la voie à une étude approfondie du système racinaire avec des humidités de sol différentes.

Nous pensons qu'il serait intéressant d'envisager l'implantation de ces deux variétés pour la création de prairies artificielles destinées à l'alimentation

du bétail ainsi qu'à l'utilisation de leurs ressources génétiques pour l'amélioration de la tolérance de la luzerne à la sécheresse.

Bibliographie

Al Hakimi, A ; Monneveux, P ; 1993 « Caractères d'enracinement et capacité de maintien de la turgescence chez les espèces primitives tetraploïdes de blé. Utilisation de ces caractères pour l'amélioration génétique de la tolérance à la sécheresse chez le blé dur » in « Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne, diversité génétique et amélioration varietale » colloque INRA, 1994

Aboussouan-Seropian, C; Planchon, C; 1984 "Réponse de la photosynthèse de deux variétés de blé à un déficit hydrique foliaire", rev.Sci. Des productions végétales et de l'environnement, 5, pp.639-644

Abdelguerfi, A ; 1994 « Auto ecologie de quelques légumineuses spontanées d'intérêt fourrager et pastoral en Algérie » in « Facteurs limitant la fixation symbiotique dans le bassin méditerranéen », Montpellier, les colloques de l'INRA, 77, pp.229-238

Acevedo, E; Conesa, A.P, Monneveux, P; Srivastava, J.P; 1989 "Physiology-breeding of winter cereals for stressed mediterranean environments", INRA Stat.Biocimatologie, pp.50-66

Adem, L ; 1974 « Etude du comportement des luzernes annuelles (écotypes locaux et populations étrangères) dans les régions de Sétif, Médéa, Tiaret et Alger » Thèse ing agr INA, El Harrach, p.95

Adem, L; 1978 "Etudes agroécologiques du Medicago" Master of sciences, Wait Instit Adelaid (Australie) Rev Céréale, 7, pp.1-2

Adem,L; 1986: "Connaissance des races ovines de la steppe algérienne", séminaire internationale sur la stratégie générale d'aménagement et de développement de la steppe et des zones arides, Tebessa, Algérie, 26-30 avril 1986, pp.191-214

Adem,L; 1989: "synthèse de la recherche sur les espèces annuelles de medicago en Algérie", note présentée au XVIème congré international des herbages, France

Adem, R; Ferrah, A; 2002 "Les ressources fourragères en Algérie: déficit structurel et disparités régionales", document du Gredaal

Adjab, M; Khezane, S. ; 1998: "Etude de l'héritabilité de la proline chez un croisement de blé dur Triticum durum. Desf", Diplôme d'études supérieures en amélioration des plantes. Université Badji Mokhtar Annaba, 32 p.

Adjab,M; 2002: "Recherche des traits morphologiques, physiologiques et biochimiques d'adaptation au déficit hydrique chez différents génotypes de blé dur Triticum durum Desf", Mémoire de magistère, faculté des sciences, Université Badji Mokhtar, Annaba , 84 p.

Adjahossou, D.F; 1983: "Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le palmier à huile (*Elaeis Guineensis* jacq), thèse de doctorat d'Etat en sciences naturelles, Université Paris VII, 203 p.

Ait Kaki, Y, **Brinis**, L 1997 "Tolérance au déficit hydrique chez le blé dur. Stratégie adaptative, amélioration et stabilité du potentiel génétique", Rev.Sci et tech, 178, pp.25-31

Ait Kaki, Y ; 1992 « Etude des mécanismes d'adaptation morphophysologiques et biochimiques chez différentes variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf), mémoire de Magistère, Université de Annaba, 110 p.

Anonyme, 1969 "la culture en sec de la luzerne" Fiche technique 3, Minis de l'agric. Tunisie, p.24

Anonyme, 1979 : "les légumineuses fourragères: la luzerne (*Medicago sativa*), rev. Céréaliculture 10. pp 27-31

Bammoun, A; 1997: "Contribution à l'étude de quelques caractères morphophysologiques, biochimiques et moléculaires chez 13 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 Institut des sciences de la nature, université des sciences et de la technologie Houari Boumédiène, pp.

Barrs, H; 1968 : "determination of water deficit in plant tissues" in "Water deficit and plant growth", Koslowski, T. (ed) Academy Press, New York, pp.235-238

Benlaribi,M; **Monneveux**, P.H, **Grignac**, PH; 1990 "Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf) Agr 10, pp.305 -322

Bensalem, M; 1993 : "Etude comparative de l'adaptation à la sécheresse du blé, de l'orge et du tritical", ed.INRA, Paris, colloque n°64. pp.276-297

Bensalem, M; et **Vieira Da Silva**, J.P; 1991 : "Polymorphisme variétal de résistance à la sécheresse chez les céréales à paille: cas du blé" in l'amélioration des plantes pour l'adaptation au milieu aride", ed. AUPEL-UREF, John Libbet, Paris, pp.25-34

Bensari, M; **Calme**, S.J et **Viala**, G. 1990 : "répartition du carbone fixé par photosynthèse entre l'amidon et le saccharose dans la feuille de soja: Influence d'un déficit hydrique: plant physiol.Biochimie, 28, pp.113-124

Bidinger, F et **Witcombe**, J.R; 1989 : "Evaluation of specific deshydration tolerance traits for improvement of drought resistance" in "Drought resistance in cereals, Baker, F.W.G (ed) Cab international, Walling ford, pp.151-264

Blum, A et **Ebercon**, A;1976 : "Genotypic reponse in sorghum to drought stress...Frel proline accumulation and drought resistance" crop-sci (16)

Blum, A;1988 : "Plant breeding for stress environments » in « Evaluation de la variabilité génétique des caractères d'adaptation à la sécheresse chez les espèces tétraploïdes sauvages et cultivées du blé » (Al Hakimi, A). Thèse pour l'obtention du diplôme de l'école pratique des hautes études v(ENSA, INRA de Montpellier)

Bootsma, A; Boisvert J.B; Dejong, R, Baier, W; 1996 "la sécheresse et l'agriculture canadienne, une revue des moyens d'action", rev. Sécheresse, 7, pp.277-285

Boubaker, M; Benhammouda, M, Gdiri, H; 1999 "Réponse du blé dur au stress hydrique et à la profondeur de semis pendant le stade jeune plante" cahiers sécheresse, Vol 10, n°1, pp.35-38

Brunis, L ; 1995 « effet du stress hydrique sur quelques mécanismes morpho-physiologiques et biochimiques de traits d'adaptation et déterminisme génétique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf)» doct. Sci. physiologie végétale et amélioration génétique des plantes, Université Annaba, 156 p.

Brown, P.W and Tanner, C.B; 1983 "Alfalfa stem and leaf growth during water stress" *Agro*,75, pp.779-804

Bula, R.J and Massengale, M.A; 1972 "environnemental physiologie" in **HANSAN C.H,**

Camille, M; 1980 "Fourrages", ed. La maison rustique, Paris, 302 p.

Carter, P.R and Sheaffer, C.C; 1983 : "Alfalfa response to soil water deficits.I. Growth, Forage quality, field, water use and water use efficiency. *Crop.Sci.*23, pp.669-675

Casals, M.L; 1996 "Introduction des mécanismes de résistance à la sécheresse dans un modèle dynamique de croissance et de développement de blé dur"Thèse de doctorat en agronomie, INRA Paris Grignon, 86 pages, pp.9-14

Chadjaa, H; 1983 : "Effet de la fertilisation phosphatée sur la croissance et la teneur en N, P et K d'une luzerne *Medicago sativa* L" Thèse d'ingénieur en Agronomie, INRA El Harrach, p.51

Chokairi, M; Chlyah, H; 1994 "Comparaison de la tolérance à la sécheresse chez deux génotypes de maïs marocain. Etude aux niveaux macroscopique, microscopique et moléculaire", ed.AUPELF-UREF. John Libbey, Eurotext, Paris, pp.423-431

Cholick, F.A ; Welsh JR, Vernon-Cole, C; 1977 "Rooting patterns of semi dwarf and tall winter wheat cultivars under dry land field conditions" *crop sci* 17, pp.637-640

Christian, K.R; 1977 "Effects of the environment on the growth of alfalfa", *Adv.Agron.*29, pp.183-219

- Couvreur, F; Gate, P, Ingoate, G, Masse, J;** 1985 "les stades du blé", ed.ITCF, Paris, p.14
- Darera, N.F; Marchall, D.R, Balaam, L.N;** 1969 "Genetic variability in root development in relation to drought tolerance in spring wheat expt." Agric.5, pp.327-337
- Day, A.D; Intalap, S;** 1970 "Some effects of soil moisture stress on the growth of weat" agr. 62, pp.27-28
- Demarly, Y;** 1984: "Mécanismes génétiques de l'adaptation chez les végétaux", Bull.soc.bot.Fr, Actual.Bot., 131, pp.125-137
- Deraissac, M ;** 1992 « Mecanismes d'adaptation à la sécheresse et maintien de la productivité des plantes cultivées » Agr.Tropi.46, 1, pp.29-37
- Dib, A; Monneveux,P ;** 1991 : "Adaptation à la sécheress et notion d'idéotype chez le blé dur. I- Caractères morphologiques d'enracinement", NRA Agro, 12, pp.371-379
- Dib, A; Monneveux,P et Araus, J.L;** 1991 : "Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur. II- Caractères physiologiques d'adaptation", Elsevier, INRA Agro, 12, pp.381-393
- Dihel, R;** 1975 "Agriculture générale" ed. J.B Baillièrè, 2ème édit, 396 p
- Dreier, W;** 1987 "The effects of calcium ions on the proline content of salt stressed plan tissues" Biol Plant (29), pp.307-314
- Dubois, M; Gilles K.A; Hamilton, P.A; Robeg,A and Smith, F;** 1956 "Colometric method for determination of suggars and related substances analytical chemistry, Vol 28, pp.350-356
- Duru, M; Langlet,A;** 1993:"effets de la compétition pour la lumière et du déficit en eau sur l'évolution du rapport feuille/tige de la luzerne", rev. Fourragères 134, pp.199-204
- El Jaafari, S; Lepoivre, P; Semai, J;** 1995 "Implication de l'acide abscissique dans la résistance du blé à la sécheresse", ed.AUPELF-UREF, John Libbey, Eurotext, pp.141-148
- Eliard, J.L;** 1979:"Manuel d'agriculture générale", ed. J.b Baillièrè, Paris, 344 pages.
- Fereres, F;** 1984 "Variability in adaptive mechanisms to water deficits in annual and perenial crop plants" bull soc bot, 131, pp.17-32
- Fisher, R.A et Maurer, R.;** 1978:"Drought resistance in sprong weat cultivars.I.Grain Yield repnses. Aust.J.Agric.Res. 29, pp.897-912

Fussel, L.K; Biokirg, F.R et Bielev, P; 1991 "Crop physiology and breeding for drought tolerance research and development. Field crop Res. 27, pp. 183-199

Gaft, D.F; 1980 : "Photoplastic tolerance of extreme water stress" in "adaptation of plants to water and light temperature stress" (N.C Turner and P.J Kramer) ed. Wiley interscience New York, pp.89-103

Gaudilliere, J.P; Barcelo, M.O; 1990 "Effets des facteurs hydriques et osmotiques sur la croissance des talles de blé » Agronomie,10, pp.32

Gondé, R, Jussiaux, M; 1980 "Cours d'agriculture moderne" ed, La maison rustique, PARIS, 628 p

Grignac, PH; 1981 "Rendement et composantes du rendement du blé d'hiver dans l'environnement méditerranéen français" com sci sem Bari (Italie),pp.185-195

Guettouche, R; 1990: "Contribution à l'identification des caractères morphophysologiques d'adaptation à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum Desf*)" Thèse diplôme d'agronomie approfondie, mise en valeur du Milieu

Hamadache, A; 1991 "Essai comparatif de 11 variétés de luzerne perenne (Medicago sativa) en zone subhumide", revue céréale 24, pp.26-30

Hanks, R.J and Rasmussen, V.P; 1982 "Predicting crop production as related to plant water stress", Adv. Agron, 35, pp.193-205

Hannel, C et Barralis, G; 1982 "Influence de différents régimes hydriques sur la croissance végétative, le poids et la germination d'une mauvaise herbe cultivée en serre *Amaranthus retroflexus L*" Agro 2(9), pp.835-841

Hanson, A.A; Barnes, D.K et Hill, J.R, 1988 "Alfalfa and alfalfa improvement" R.R Editors, Agronomy, 29 ASA, CSSA SSA, 1084 pages.

Hsiao, T.C;1973 "Plant responses to water stress", Ann. Rev.Plant physiol; 24,pp.519-520

Hubac, C; 1967 : "Accroissement chez les plantes de la résistance à la dessiccation par action préalable de la proline CR.Acad.Sci. 264, pp.1286-1288

Hurd, E.A; 1968 "Growth of roots of seven varieties of spring wheat at light and low moisture levels", Agron.Journ; 60, pp.201-205

INRA, 2000; "la résistance des plantes à la sécheresse", Centre de Montpellier

Janson, C.G; 1975 "irrigation of lucerne in its establishment", Season, NZ, J.exp Agric, 3, pp.223-228

Johnson, R.R; Frey, N.H; Moss, D.V; 1974 "effect of water stress on photosynthesis and transpiration of flag leaves and spikes of barley and wheat" Crop, Sci; 14(5), pp.728-731

- Johnson-Flanagan, A.M, Huiven, Z; Mgeng X, Brown D.C.W; Nykiforuk, C.L, Singer, J;** 1992 "For abscissic acid and desiccation hasten embryo development in brassica napus" *Plant. physiol.* 99, pp. 700-706
- Kameli, A et Losel, D.M;** 1995 "Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustmen in weat leaves under water stress" *Plant. Physiol*, 145, pp.363-366
- Keim, D.L et Kroustard, W.E,** 1981 "Drought response of winter wheat cultivars grouth under field stress conditions" *Crop. Sci.*, vol 21; pp.11-14
- Kiès, N;** 1977 "La plante et l'eau ", cours photocopié, INA El Harrach, p.40
- Koslowsky, T.T;**1968 "Water deficits and plant growth", vol.11, Academic Press, New York, P.333
- Kramer, P.J;** 1980 "Drought, stress and the origin of adaptation" in "adaptation of plants to water and high temperature stress (NC Turner and PJ Kramer, ed), Wiley interscience, New York, pp.-21
- Kramer, P.J;** 1983 "Water reactions of plants" Acad Press, New York, NY.pp.360-364,
- Laouar, M., Kiès, N; Abdellaoui, K; Bennour A; Bettahar, N; Kadi, S; Bouza, L; Abdelguerfi A.;** 1999 « Effet du stress hydrique sur le comportement physiologique de dix populations de Medicago intertexta"
- Leclerc, J.C ;** 1999 « **Ecophysiologie végétale** », **PU de St Etienne**
- Le Saint, A.M;** 1969 "Variations comparées des teneurs en proline libre et en glucides solubles en relation avec l'inégale sensibilité au gel des ortganes de plans de choux de Milan, culture pantoise *C.R.Sci. Paris*, pp.310-313
- Levitt J.** 1972 "reponses of plants to environmental stress" Acad. Press New York
- Levitt J.** 1980 "reponses of plants to environmental stress" 2ème éd. Water, radiation, salt and other stresses" physiological Ecology series. Acad. Press New York , pp.205-211
- Lupton, F.G.H, Bingham J;** 1970 "Ann Rep Plant", Breed Inst Cambridge, UK, pp.34-37
- Munns, R et Weir,R ;** 1981 "Contribution of sugars to osmotic adjustment in elongating and expanded zones of wheat leaves during moderat water deficits at two hight levels " *Aust. J. Plant Phisiolo Wheat*, pp.93-105
- Mauriès, M;** 1998 "module de production et gestion du système fourrager" cahier luzerne, C.E.E
- Maximov, N.A;** 1929 "the plant in relation to water" R H yapp, ed. Allen and Unwin, London

Mefti M, Abdelguerfi A., Chebouti A.; 2000 "Etude de la tolérance à la sécheresse chez quelques populations de *Medicago truncatula* L", Gaerth INA, El Harrach, Alger

Melkiche, A, Bouthier, A, Gate, P; 1993 "Analyse comparative des comportements à la sécheresse du blé dur et du blé tendre" colloque n°64, INRA, Paris, pp.299-309

Mengel, K, and Kirkby, E.A; 1979 "Principals of plant nutrition" 2ème éd. Inst. Potash. Inst Switzerland, p.593

Moursi, M.A; El Habbacha, K.M; Shaheen, A.M; 1979 "Photosynthetic efficiency, water and nitrogen contents of *Vicia faba* plant as influenced by water deficit, Field crop abstracts, 32/10 p.733

Morard, P; 1995 "Les cultures hors sol" publications agricoles, Agen

Moise, L; 1976 "Luzerne et facteur climatique" mémoire stagiaire au CIGREF, groupement de Bordeaux, p.342

Mouhouche, B; 1993 "effets de l'intensité du stress hydrique sur les composantes du rendement de la culture de fève (*Vicia faba* L) Revue Céréales et Culture 29, pp.27-30

Monneveux, P.H; Nemmar, M; 1986 "Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre. Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement" Agronomie 6, p.17

Monneveux, P ; Chabbalier, C ; Lewiki, S ; Lafarga, A ; Sambrero, A ; Ontanon, R ; Romagosa, I ; 1992 « Etude du comportement de lignée d'orge dans différentes conditions de sécheresse en Espagne. Estimation du rôle de la capacité d'ajustement osmotique dans l'adaptation à la variabilité environnementale » in « tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale », Colloque INRA, 1964, pp.217-237

Monneveux, P ; Thise, D ; 1997 « La génétique face aux problèmes de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : espoirs et difficultés ». Sécheresse, vol 8, 1, pp.29-37

Moursi, M.A; El Habbacha, K.M; Shaheen, A.M; 1979 "Photosynthetic efficiency, water and nitrogen contents of *Vicia faba* plant as influenced by water deficit, Field crop abstracts, 32/10 p.733

Nedjraoui, D ; 2001 "Algérie" (<http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGP/AGPC/doc/Counprof/Algerie.htm>)

Nemmar, M; 1983 "Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez les variétés de blé dur (*Triticum durum*. Desf) et de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) Evolution des teneurs en proline au cours du cycle de développement", thèse Doct Ing. onpellier, P.108

Oosterhuis, D.M; Walker, S; 1987 "Stomatal resistance measurement as indicator of water deficit stress in wheat and soybeans" South African Journal of plant and soil, 4 (3), pp.113-126

Paul, M.H; **Planchton**, C; **Ecochard**, R; 1979 "Etude des relations entre le développement foliaire, le cycle de développement et la productivité chez le soja" ann amélio plants, 29, pp.479-492

Perry, L.J and **Larson**, K.L; 1974 "Influence of drought on tillering and internode number and length in alfalfa" crop. Sci. Cu, pp.693-696

Pepe, J.F, **Welsh** H.R, 1979 "soil water depletion patterns under dryland field conditions of closely remated high lines of winter wheat", crop, sci, 19, pp.670-680

Peterson, H.B; 1972 "water relationships and irrigation" in C.H.Clarence ed. in Alfalfa sci.and technologie, Am Soc Agron, Madison Wis, pp.469-480

PUGNAIRE, F.I.; ENDOLZ, L.S.; PARDOS, J. , 1993 "Constraints by water stress on plant growth" In: PESSARAKLI, P. **Handbook of plant and crop stress**. New York: Marcel Dekker. p. 247-259. "

Prosperi, J.M; **Guy**, P; **Genier**, G, **Angervian**, M; 1995 "Ressources génétiques des plantes fourragères et à gazon", ed. INRA, Paris

Plancquaert, P; 1968 "Etude sur l'exploitation de la luzerne compte rendu de l'expérimentation réalisée de 1963 à 1967" ITCF, Paris

Rasio, A; **Sorrentinio**, G; **Cedola**, M.C, **Pastore** D, **Wittner**, G; 1987 "Osmotic and elastic adjustment of durum wheat leaves under stress conditions", Genetic Agr (41), pp.427-436

Richards, R.A ; Passiora, J.B ; 1981 « Seminal root morphology and water use of wheat genetic of wheat . Genetic variation» Crop Sci 21, pp.253-255

Rondia, G; **Deker**, A; **Jabari**, M; 1984 "Projet ferme modèle Fritissa", rapport final office de l'élevage et des pâturages Fac Sci Agro de Gremloux, pp.195-198

Sanchez,-Diaz, M.F ; Kramer, P.J ; 1971 « behaviour of corn and sorghum under stress and during recovery. Plant phisiol. 48, pp.613-616

Semiani, M; 1997 "Etude de l'effet du stress hydrique sur quelques processus physiologiques et de croissance de 2 variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L), Rech. Agr. pp.23-32, INRA

Siakhène, N; 1984 "effet du stress hydrique sur quelques espèces de luzerne annuelle" thèse Ing Agr, INA, El Harrach, 90 p.

Singh, T.N, **Paleg**, L.G, **Aspinall**, D; 1973 "stress métabolisme III: variation in reponse water deficit in the barley plant. Aust.J.boil. Sci (26), pp.56-76

Slatyer, R.O; 1974 "The effect of internal water status on plant growth development and yield in : plant response to climatic factors" proc.of upsala symposium, Unesco

Soltner, D; 1999 "les grandes productions végétales " 19ème édition, Sciences et techniques agricoles, p.464

Todd, G.W; 1972 "Water deficit and enzymatic activity, in water stress and plant growth", ed.Kozlovosky, New York Acad.Press

Turner, N.C; 1986 "Adaptation to water deficits : a changing perspective. Aust J.Plant physiol (13), pp.175-190

Turner, N.C; 1979 "Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plant" in "stress physiology in crop plants", (H.W. Musseland et, R.C Staples, ed, Wiley,(interscience) New York, pp.343-372

Vartanian, N; **Lemeé**, G; 1984 "La notion d'adaptation à la sécheresse" Lab du phytotron, CNRS, Gf sur Yvelle

Vidal, A, **Arnand** D.O; Arnoux, M; 1981 "la résistance à la sécheresse du soja: Influence d'un déficit hydrique sur la croissance et la production" Agr 1 (4), pp.295-302