



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université des Frères Mentouri Constantine1
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الإخوة منتوري قسنطينة 1
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département : Biologie Et Ecologie Végétale

قسم : البيولوجيا و علم البيئة النباتية

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biologie physiologie végétale

Spécialité : Biologie physiologie végétale

Intitulé :

Etude de quelques caractères morpho-physiologiques des variétés des blé dur (*Triticum durum* Desf.) Waha et Bousslem et blé tendre (*Triticum astivum* L.) Arz et Hidhab soumis à stress hydrique.

Présenté et soutenu par : *Benlahreche Boutheina et Boumetred Lamia*

Le : 25 /06/ 2018

Jury d'évaluation :

Président du jury : *Pr. BENLARIBI* Université des Frères Mentouri Constantine1
Encadreure : *Pr. KARA YUCEF* Université des Frères Mentouri Constantine1
Examineurs : *MCA . CHIBANI* Université des Frères Mentouri Constantine1

*Année universitaire
2017 - 2018*

Summary :

The objective of this work is to study the effect of water stress and the variability of the response in two varieties of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) And two varieties of common wheat (*Triticum aestivum* L.).

Different physiological, biochemical and morphological parameters under two irrigation levels (100% CC and 15% CC) were studied and evaluated.

The results show that water stress led to a decrease in the relative water content, an accumulation of proline and soluble sugars, and a reduction in leaf area and stubble height of cereals.

The results show that water stress causes the same responses, significantly reducing all morpho-physiological or biochemical parameters in all

varieties of durum wheat and soft wheat. Soft wheat has proved to be more efficient and more resistant to drought than durum wheat.

Key words: water stress, tolerance, durum wheat, soft wheat, osmotic adjustment, field capacity, stressed variety, control variety.

Résumé :

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet du stress hydrique et la variabilité de la réponse chez deux variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et deux variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.)

Différents paramètres physiologiques, biochimiques et morphologiques, sous deux niveaux d'irrigation (100 % de CC et 15 % CC) ont été étudiés et évalués.

Les résultats obtenus montrent que le stress hydrique a entraîné une diminution de la teneur relative en eau, une accumulation de la proline et des sucres solubles ainsi qu'une réduction de la surface foliaire et de la hauteur du chaume des céréales.

Les résultats montrent que le stress hydrique provoque les mêmes réponses, en réduisant sensiblement tous les paramètres d'ordre morpho physiologique ou biochimiques chez toutes variétés de blé dur et de blé tendre. Le blé tendre s'est avéré plus performant et résiste mieux à la sécheresse que le blé dur.

Mots clés : Stress hydrique, tolérance, blé dur, blé tendre, ajustement osmotique, capacité au champ, variété stressé, variété témoin.

التلخيص:

الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير الإجهاد المائي وتوعدا لاستجابة فينو عين من القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.) ونوع عين من القمح اللين (*Triticum aestivum* L.)

تم دراسة وتقييم مختلف العناصر الفيزيولوجية، البيو كيميائية و المورفولوجية تحت مستويين الري (100% و 15% القدرة الحقلية).

أظهرت النتائج أن الإجهاد المائي تسبب في انخفاض محتوى النسيب للمياه، تراكم البرولين والسكريات الذائبة وأيضا نقص في مساحة الورقة وسيقان القمح.

كما بينت هذه النتائج أن الإجهاد المائي يسبب نفسا لإستجابات، والحديشك كبير من جميع أحوال الفيزيولوجية، البيو كيميائية و المورفولوجية عند كل أصناف القمح الصلب والقمح اللين. أكد القمح طريا أنها أكثر فعالية وأكثر مقاومة للجفاف من القمح القاسي.

كلمات البحث: الإجهاد المائي، المقاومة، القمح الصلب، القمح اللين، التكيف التناضحي، القدرة الحقلية، الصنف المجهد، الصنف الشاهد.

REMERCIEMENT

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux. Qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Dr .KARA YOUCEF pour son précieux conseil et son aide durant toute la période du travail.

et Madame Zoghmar Meriem pour son soutien, ses conseils utiles et son gentillesse et pour ses appréciations sur ce travail.

Nous tenons à remercier aussi les membres du jury :

- Pr . Benlaribi Mostafa*
- MCA .Chibani*

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près et de loin à la réalisation de ce travail.

dédicace

A cœur vaillant rien d'impossible, quand il y'a de la soif d'apprendre tout vient à point a qui sait attendre et quand il y'a le souci de réalisé un dessein tout devient facile pour arriver à nos fin.

*Je dédie cet humble travail avec un grand amour et fierté : en premier temps à **Allah** de m'avoir donné la force, le courage afin de pouvoir accomplir ce travail.*

*A la plus belle perle du monde : **ma mère Nadia** pour leur sacrifice, amour, prière et soutien.*

*A l'épaule solide **mon père BRAHIME** pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien.*

Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect; ma considération et mes profonds sentiments envers eux.

*A mes sœurs : **Malek et Douaa** qui n'a cessé d'être pour moi des exemples de persévérance.*

*A toute ma famille pour l'amour et le respect qu'ils m'ont tjr accordée " Al'homme de ma vie « **AMER** » mon Fiancé mon soutien moral et source de joie et de bonheur*

*A mes chères '**Ines**' et '**Nour el houda**' celle qui me supporter qui me remonte le morale celle qui entrain de partager avec moi les larmes et les peines.*

*A mon **binôme LAMIA** à celle qui a toujours tenue avec moi et ma encourager jusqu'à la dernière minute.*

*A mes **collègues de promo** et à tous ceux qui ont contribué de près et de loin pour ce que ce travail soit possible.*

Je vous dis merci beaucoup

... Bouthaina...

Introduction	01
--------------------	----

Partie 1 :ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Généralité sur le blé.....	03
I.1 Historique et origine du blé.....	03
I.2 Production du blé.....	05
I.2.1 Dans le Monde.....	05
I.2.2 En algérie.....	05
I.3 Classification.....	08
I.3.1. Blé dur (triticum durumDesf.).....	08
I.3.2. Blé tender (triticum astivum L .).....	09
I.4. Biologie de la plante céréale	09
I.4.1. Partie aérienne.....	09
I.4.2. Partie souterraine.....	10
II. Stresse hydrique	
II.1.Rôle de l'eau dans la plante	11
II.2.Notion de stresse hydrique.....	12
II.3.Effets du stress hydrique sur les plantes.....	12
II.4.Adaptation du blé à la sécheresse	13
II.4.1. Adaptations morphologiques.....	13
II.4.2.adaptation physiologique	14
II.4.3. Adaptation biochimique.....	15
II.4.4.Accumulation des osmorégulateurs.....	15
• Cas de la proline	15
• Cas des sucres solubles	15
II.5.Stratégies d'adaptation de la plante à la contrainte hydrique	16
II.5.1.Evitement	16
II.5.2.Esquive ou échappement	16
II.5.3.Tolérance à la déshydratation.....	17
Parie 2 : Matériels et Méthodes	
I :Matériels végétales.....	18
I.1. Expérimentations en conditions semi-contrôlées (sous serre).....	18

II. Paramètres étudiés

II.1. Paramètres physiologique

II.1.1. La teneur en eau (TRE).....19

II.2. Paramètre biochimique

II.2.1. Dosage de la proline (PROL)20

- a) l'extraction
- b) La coloration
- c) La séparation
- d) La déshydratation
- e) La lecture

II.2.2. Dosage des sucres solubles24

III. Résultat et discussion

VI. Conclusion

VII. Références bibliographiques

Listes d'abréviation utilisé :

°C : Degré Celsius.

μmol/mg : micro mol /milligramme

Cal /

Cm : Centimètre.

Cm² : Centimètre carré.

Do : La densité optique.

Fao : Organisation des Nations Unies pour l'amélioration et l'agriculture.

g : gramme.

h : heure

ha : hectare.

ICARDA :

MF : matière fraîche.

mg : milligramme.

ml : millilitre.

mn : minute.

MSF : masse de substance fraîche

MSS : masse de substance séchée

MSTM : masse de substance à turgescence maximale

MT : millions de tonnes.

N° : numéro.

nm : nanomètre.

qx : quintaux.

S : stressé

SF : Surface Foliaire

t : témoin.

TRE : Teneur Relative en Eau

V1 : Variété 1.

V2 : Variété 2.

Var : Variété.

Vs : variété stressé

Vs1 : variété stressé 1

X : moyenne.

Y : teneur en proline de matière sèche en ($\mu\text{mol/mg}$).

Listes des figures

Figure 1. Origines du blé selon (Débitons, 2010) .

Figure 02 : Production quinquennale du blé dur (période 1961-2016) ; Source FAO, 2016

Figure 03 :Echelle de Feckes et Zadoks

Figure 04 : Mesure du poids frais des échantillons

Figure 05 :Séchage des échantillons dans l'étuve à 80°C pondant 48h

Figure 06 : a. L'extraction

Figure 07 : b. coloration (lot stressé) / b. coloration (lot témoin)

Figure 08 : c. séparation (lot stressé) / c. séparation (lot témoin

Figure 09 : d. lecture

Figure 10

Figure 11 :L'extraction

Figure 12 :a. Coloration / c. lecture

Figure 13. Variation de la teneur relative en eau chez les deux génotypes de blé tendre sous stress hydrique.

Figure 14: Evaluation de la teneur en proline des deux variétés du blé tendre Soumises à un niveau de stress hydrique sévère (15% du cc)

Figure 15. Variation de la teneur en sucres chez les deux génotypes de blé tendre sous stress hydrique.

Figure16 : Variation de la teneur relative en eau chez les deux génotypes de blé dur sous stress hydrique.

Figure17 : Variation de la teneur en proline chez les deux génotypes de blé dur sous stress hydrique.

Figure18 : Variation de la teneur en sucre chez les deux génotypes de blé dur sous stress hydrique.

Figure 19 : Variation de la surface foliaire chez les deux génotypes de blé tender sous stress hydrique.

Figure 20 : Variation de l hauteur de plant chez les deux génotypes de blé tender sous stress hydrique.

Figure 21 : Evaluation de la surface foliaire des deux variétés de blé dur sous stress hydrique.

Figure 22 : Evaluation de hauteur des plantes des deux variétés de blé dur sous stress hydrique

Liste des tableaux

Tableau 01 : Production des blés mondiaux de 2015 à 2017 .Selon FAOSTAT (2017).....	05
Tableau 02 : Analyse de la variance(ANOVA) chez les deux génotypes étudiés du blé tendre.....	30
Tableau 03: Classification des moyennes et groupes homogènes établis par le test de NEWMAN-KEULS ($\alpha=5\%$), pour les deux génotypes de blé tendre testés.....	31
Tableau 04: Classification des moyennes et groupes homogènes de la teneur en proline établis par le test de NEWMAN-KEULS ($\alpha=5\%$), pour les deux génotypes de blé tendre testés.....	33
Tableau 05: Classification des moyennes et groupes homogènes la teneur en sucre s'établis par le test de NEWMAN-KEULS ($\alpha=5\%$), pour les deux génotypes de blé tendre testés.....	35
Tableau 06 : Analyse de la variance (ANOVA) chez les deux génotypes étudiés du blé dur.....	36
Tableau 07: Classification des moyennes et groupes homogènes la teneur en eau établis par le test de NEWMAN-KEULS ($\alpha=5\%$), pour les deux génotypes de blé dur testés.....	37
Tableau 08: Classification des moyennes et groupes homogènes de la teneur en proline établis par le test de NEWMAN-KEULS ($\alpha=5\%$), pour les deux	

génotypes de blé dur testés.....	39
Tableau 09: Classification des moyennes et groupes homogènes de la teneur en sucre s'établis par le test de NEWMAN-KEULS ($\alpha=5\%$), pour les deux génotypes de blé dur testés.....	41
Tableau 10 : Analyse de la variance(ANOVA) chez les deux génotypes étudiés du blé tendre (caractères morphologiques).....	43
Tableau 11: Classification des moyennes et groupes homogènes de la surface foliaire établis par le test de NEWMAN-KEULS ($\alpha=5\%$), pour les deux génotypes de blé tendre testés.....	43
Tableau 12: Classification des moyennes et groupes de la hauteur de la plante établis par le test de NEWMAN-KEULS ($\alpha=5\%$), pour les deux génotypes de blé tendre testés.....	45
Tableau 13 : Analyse de la variance(ANOVA) chez les deux génotypes étudiés du blé tendre (caractères morphologiques).....	46
Tableau 14: Classification des moyennes et groupes de la surface foliaire établis par le test de NEWMAN-KEULS ($\alpha=5\%$), pour les deux génotypes de blé dur testés.....	47
Tableau 15: Classification des moyennes et groupes de la hauteur de plante établis par le test de NEWMAN-KEULS ($\alpha=5\%$), pour les deux génotypes de blé dur testés.....	49

Introduction

Introduction :

L'eau a un rôle fondamental dans la vie des plantes, dans la mesure où elle conditionne leurs activités physiologiques et métaboliques. Elle est le vecteur des éléments nutritifs de la plante (Riou, 1993). Sa carence affecte la croissance et le développement des cultures en particulier les céréales. Elle est de ce fait le principal facteur limitant de la production végétale dans les régions arides et semi-arides (cas de l'Algérie).

Une céréale est une plante cultivée principalement pour ses grains appelés également (caryopses). Ces derniers sont utilisés en alimentation humaine et animale, souvent moulus sous forme de farine raffinée ou plus ou moins complète, mais aussi en grains entiers. Ces plantes sont aussi consommées par les animaux herbivores sous forme de fourrage. Le terme « céréale » désigne aussi spécifiquement les grains de ces plantes (**Anonyme ,2007**).

En Algérie, le blé est cultivé exclusivement en conditions pluviales dans les plaines intérieures et plus particulièrement dans les hauts plateaux appartenant aux étages bioclimatiques semi arides. Ces zones sont souvent soumises aux effets des aléas climatiques à savoir une augmentation de la température couplée à la baisse des précipitations qui se répercutent inévitablement sur la croissance et le développement des cultures et par voie de conséquence sur leur productivité (**Bouzerzour et al., 2000 ; Chaise et al., 2005**).

La baisse des rendements due principalement à un climat méditerranéen erratique et imprévisible incite l'Algérie à être un grand importateur de blé selon la FAO. Ce constat risque de se maintenir et de se prolonger durant plusieurs années si on ne remédie pas à cette situation de rendements insuffisants.

Cette faiblesse de production de blé en Algérie a toujours été liée aux effets du stress hydrique qui se fait ressentir de manière très importante depuis la dernière décennie (**Chaise et al., 2005**).

La sécheresse constitue en effet l'un des facteurs majeurs intervenant dans la limitation des rendements ; elle affecte fortement la production des cultures notamment celles des céréales des zones arides et semi-arides, caractérisées par des pluies rares et irrégulières et par des températures souvent élevées dépassant les 30 C⁰.

Introduction

L'amélioration des techniques culturales, en particulier l'introduction de l'irrigation et de variétés tolérantes précoces, permet de réduire les effets néfastes du déficit hydrique **(May et Milth, 1962)**.

L'objectif de ce présent travail consiste en une analyse du comportement de deux variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et deux variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) soumises à un stress hydrique afin de dégager les génotypes qui répondent au mieux à nos objectifs, en d'autres termes des génotypes tolérants à la sécheresse. Pour cela, nous avons étudié quelques paramètres physiologiques, biochimiques et morphologiques à savoir :

- La teneur relative en eau constitue un indice de la tolérance à la sécheresse et aussi comme test dans le criblage des variétés. Il permet de connaître le niveau de saturation en eau ou de turgescence de la plante **(Kara, 2000)**.
- L'accumulation de la proline face au stress hydrique suggère la possibilité d'une sélection sur la base de ce caractère des génotypes qui auront une bonne capacité à survivre et un rendement en grains stable en conditions hydriques limitantes **(Bergareche et al., 1993)**.
- L'accumulation des sucres a été mise en évidence par des corrélations observées entre les taux d'élévation de ces osmolytes et l'acquisition de la tolérance à la sécheresse **(Déjardin et al., 1999)**.

Ce mémoire est structuré en deux grandes parties :

Une première partie qui comporte une synthèse bibliographique qui s'articule essentiellement sur des généralités sur le blé dur et le blé tendre, la réponse des plantes en condition de stress hydrique et les mécanismes d'adaptations des plantes face au stress hydrique.

Une deuxième partie composée deux chapitres :

Chapitre I : description du matériel végétal, conditions de culture et les paramètres étudiés.

Chapitre II : traitement des résultats obtenus et leur discussion et enfin perspectives et conclusions générales.

I. Généralités sur le blé :

I.1. Historique et origine du blé :

Depuis la naissance de l'agriculture le blé aliment de base de la nourriture de l'homme constitue l'une des premières espèces cueillies et cultivées par l'homme depuis plus de 7000 à 10000 ans dans le croissant fertile, zone couvrant la Palestine, la Syrie, l'Irak et une grande partie de l'Iran. (Ruel, 2006 ; Croston et Williams, 1981).

Le *Triticum monococcum* L. est un des ancêtres des blés actuels. Le genre *Triticum* se subdivise en fonction du niveau de ploïdie en trois groupes: diploïde, tétraploïde et hexaploïde, avec respectivement 14, 28 et 42 chromosomes (Sakamura, 1918 ; Harlan, 1971). Ces trois groupes sont représentés respectivement, par *Triticum monococcum* L., *Triticum turgidus* sp. *durum* L. Et *Triticum aestivum* L.

Le génome de ces espèces est organisé en une série basique de 7 chromosomes ($X = 7$ chromosomes) qui au cours de l'évolution gardé une certaine homologie, malgré la spéciation chez la famille des Poaceae (Ahnetal., 1993). L'origine génétique du blé dur remonte au croisement entre deux espèces ancestrales *Triticum monococcum* et une graminée sauvage *Aegilops spelloïdes* (Mckee, 1968).

D'après (Feillet, 2000), ces espèces se différencient par leur degré de ploïdie (blés diploïdes : génome AA ; blés tétraploïdes : génomes AA et BB ; blés hexaploïdes : génomes AA, BB et DD) et par leur nombre de chromosomes (14, 28 et 42). La nature polyploïde du génome des blés aurait également contribué au succès de leur domestication (Dubcovsky et Dvorak, 2007).

Partie I : Etude bibliographiques

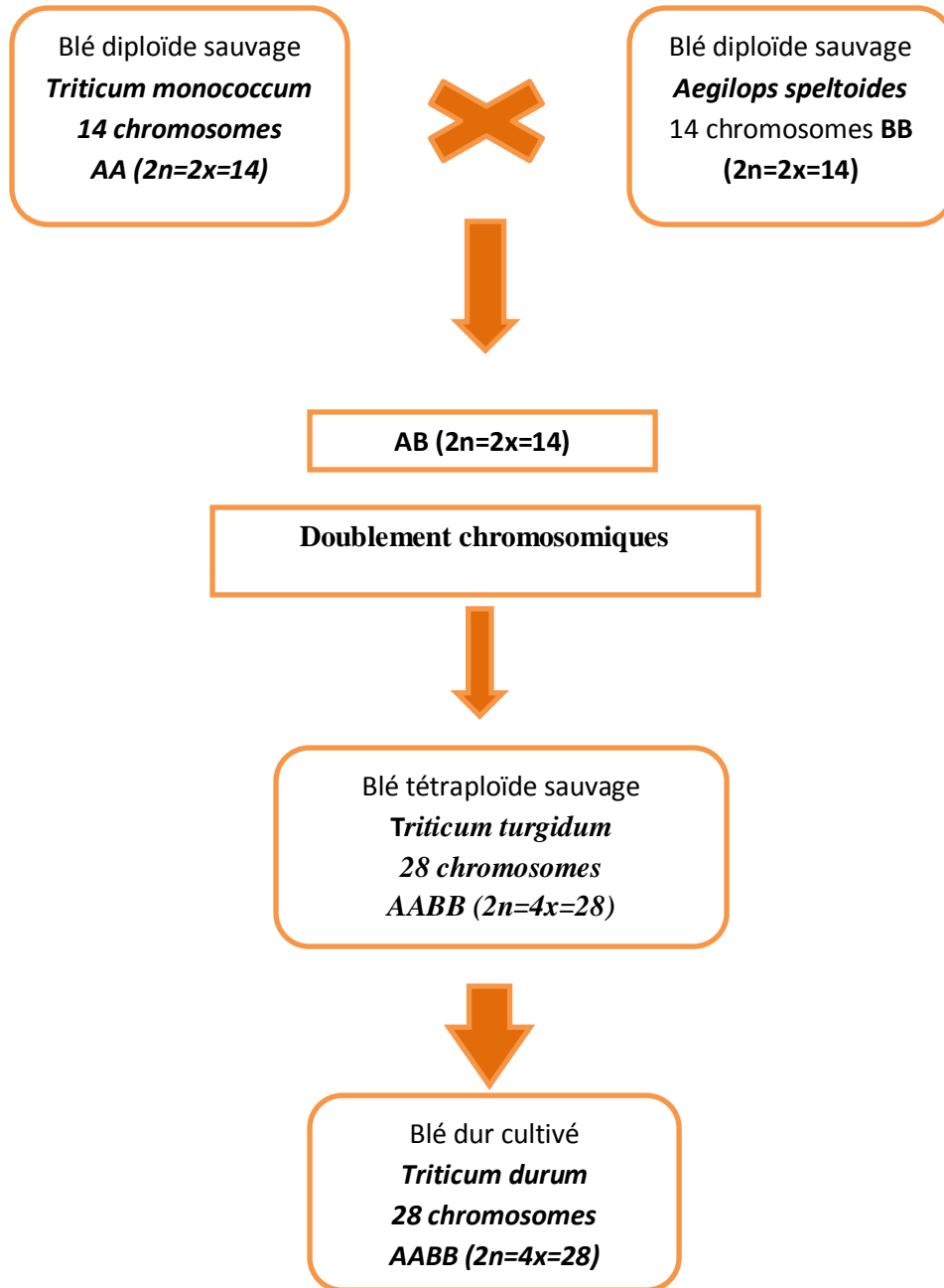


Figure 1. Origines du blé selon (Débitons, 2010.)

Selon (Levy et Feldman, 2002.) la domestication du blé diploïde s'est produite dans le nord du croissant fertile au Proche Orient. Le blé tétraploïde a été domestiqué dans le bassin du Jourdain, plus au sud.

Partie I : Etude bibliographiques

II. La production du blé :

II.1.dans le monde

L'union européenne (principalement l'Italie, l'Espagne et la Grèce) est le plus grand producteur de blé dur, avec une récolte annuelle moyenne de huit millions de tonnes métriques. Le Canada arrive au deuxième rang avec 4,6 millions de tonnes métriques par année, suivi de la Turquie et des États-Unis, avec respectivement 4 et 3,5 millions de tonnes métriques respectivement (**Anonyme, 2002**).

Les grains de blé dur donnent de la semoule qui est utilisée dans la fabrication des pâtes alimentaires (**Jeant *et al.*, 2006**). De plus en Afrique du Nord on utilise aussi cette céréale pour la production de couscous et des pains traditionnels (**Feillet, 2000**).

Tableau 01 : Production des blés mondiaux de 2015 à 2017 .Selon FAOSTAT (2018).

Pays	Production (milliers tonnes) 2015.2016	Production (milliers tonnes) 2016.2017
Union européenne	160000	144658
Chine	130190	128850
Inde	86530	87000
Russie	61044	72500
Etats-unis	56117	62859
canada	27594	31700
Ukraine	27274	26800
Pakistan	25100	25300
Australie	24168	35000
Turquie	19500	17250

Partie I : Etude bibliographiques

I.2 .2. En Algérie

Le blé dur occupe une place centrale dans l'économie Algérienne. Il couvre la moitié de la surface consacrée à l'activité agricole (**Mazouz, 2006**). La superficie moyenne consacrée au blé se situe à environ 1.9 Million hectare. Cette superficie donne un rendement d'environ de 18 qx/ha pour le blé dur et de 17 qx/ha pour le blé tendre (**Chehat, 2012**).

La production algérienne du blé est très instable voire mêmes faible d'une année à l'autre, elle ne couvre que 20 à 25 % des besoins du pays, le reste étant importé (**Anonyme, 2008**). La cause principale de la faiblesse de la productivité (rendement) est la variabilité des conditions climatiques (irrégularités des pluies, sécheresse, hautes températures...etc) (**Chellali, 2007**).

Algérie - Blé - Production (Tonnes)

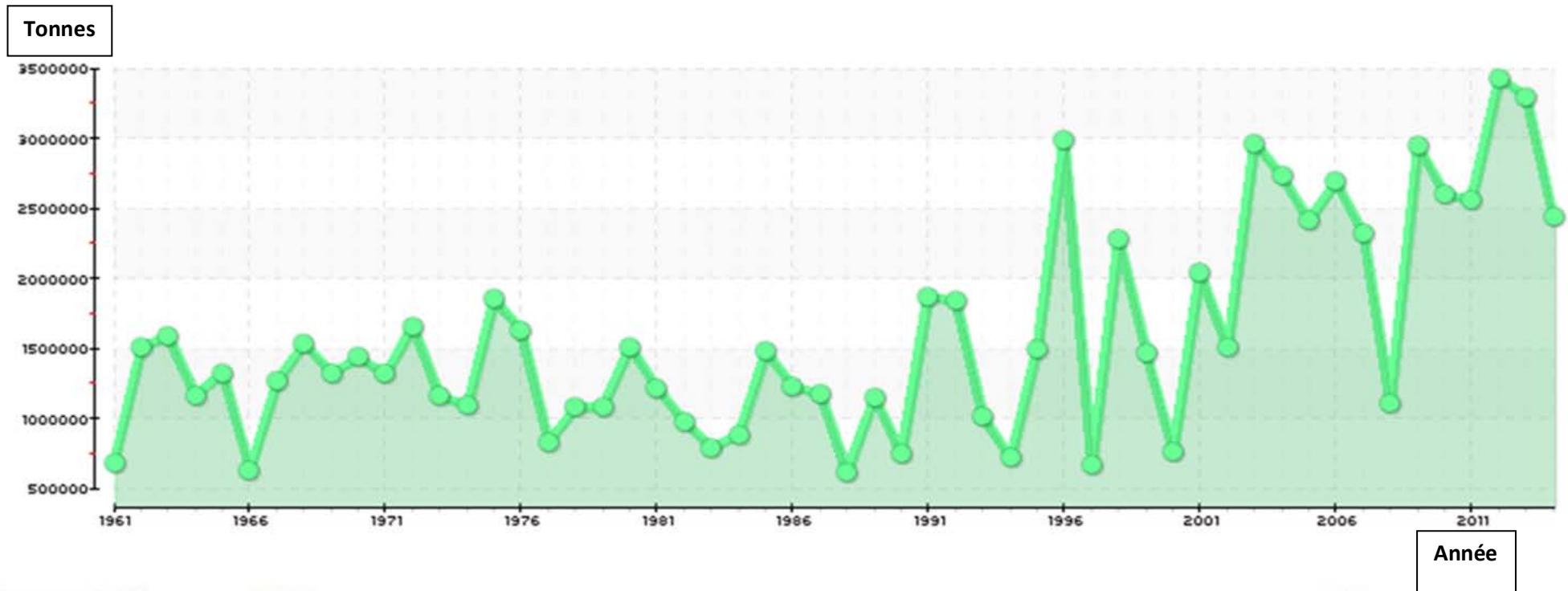


Figure 02 : Production quinquennale du blé dur (période 1961-2014) ; Source FAO, 2016

Partie I : Etude bibliographiques

Selon la courbe, on note cependant que 2012 est l'année la plus productive avec 3 432 231 Tonnes

1988 est l'année la plus faible avec une production calculée en tonnes de 614 420 Tonnes

2014 est l'année moyenne en production du blé avec 2436197 Tonnes.

I.3. Classification du blé :

Le blé appartient à la famille des graminées (Gramineae = Poaceae), qui comprend plus de 10000 espèces différentes (Mac Key, 2005.).

I.3.1. Blé dur (*Triticum durum* Desf.)

Le blé dur est une plante herbacée appartenant au groupe des céréales à paille. C'est une monocotylédone classée de la manière suivante: (Prats, 1960 ; Créte, 1965 ; Feillet, 2000 et Huang *et al.*, 2002).

Embranchement	Angiospermes
Sous embranchement	Spermaphytes
Classe	Monocotylédones
Ordre	Glumiflorales
Super-ordre	Comméliniflorales
Famille	Gramineae
Tribu	Triticeae
Sous tribu	Triticinae
Genre	Triticum
Espèce	<i>Triticum durum</i> Desf.
Classification APG III 2009	
Ordre	<i>Poales</i>
Famille	<i>Poaceae</i>

Selon: (Prats, 1960 ; Créte, 1965 ; Feillet, 2000 et Huang *et al.*, 2002).

Partie I : Etude bibliographiques

I.3.2. Blé tendre

Embranchement	Angiospermes
Sous embranchement	Spermaphytes
Classe	Monocotylédones
Ordre	Glumiflorales
Super ordre	Comméliniflorales
Famille	Gramineae
Tribu	Triticeae
Sous tribu	Triticinae
Genre	<i>Triticum</i>
Espes	<i>Triticum aestivum</i> L.
Classification APG III 2009	
Order	<i>Poales</i>
Famille	<i>Poaceae</i>

Selon (Prats, 1960; Crête, 1965; Feillet, 2000)

I.4. Biologie de la plante céréale :

L'appareil végétatif comprend une partie aérienne et une partie souterraine

I.4.1. Partie aérienne :

L'appareil aérien est formé d'un certain nombre d'unités correspondantes aux talles, partant d'une zone à la base de la plante appelée plateau de tallage, chaque talle après développement complet de la plante est formée de la tige et des feuilles (Clarke *et al.*, 2002).

Le chaume du blé est une tige cylindrique, formée d'entre nœuds séparés par des nœuds plus ou moins saillants. Chaque nœud est le point d'attache d'une feuille. La feuille du blé est simple, allongée, alternée et a nervures parallèles ; elle se compose de deux parties:

- La partie inférieure entourant la jeune pousse qui est la gaine.
- La partie supérieure en forme de lame qui est le limbe.

Partie I : Etude bibliographiques

A. Appareil reproducteur

L'inflorescence du blé est un épi (inflorescence indéfinie). Ce dernier est constitué d'unités de base les épillets. L'épillet est une petite grappe de un à cinq fleurs enveloppées chacune par deux glumelles (inférieure et extérieure). LA grappe est incluse entre deux bractées ou glumes, les fleurs sont attachés sur le rachis. Chaque fleur comporte en général 3 étamines et un ovaire. Les fleurs sont hermaphrodites, le blé est une plante autogame: le pollen d'une fleur pollinise l'ovaire de la même fleur (pollinisation autogame)(Anonyme, 2002).

I.4.2. Partie souterraine (système racinaire)

Le développement de l'appareil racinaire joue un rôle essentiel dans l'alimentation hydrique et minérale de la plante. (Ben salem *et al.*, 1991) notent qu'un appareil racinaire extensif permet au blé de mieux résister à une contrainte hydrique (Baldy,1973 ; Benlaribiet *al.*,1990 et Alidibet *al.*,1992) .

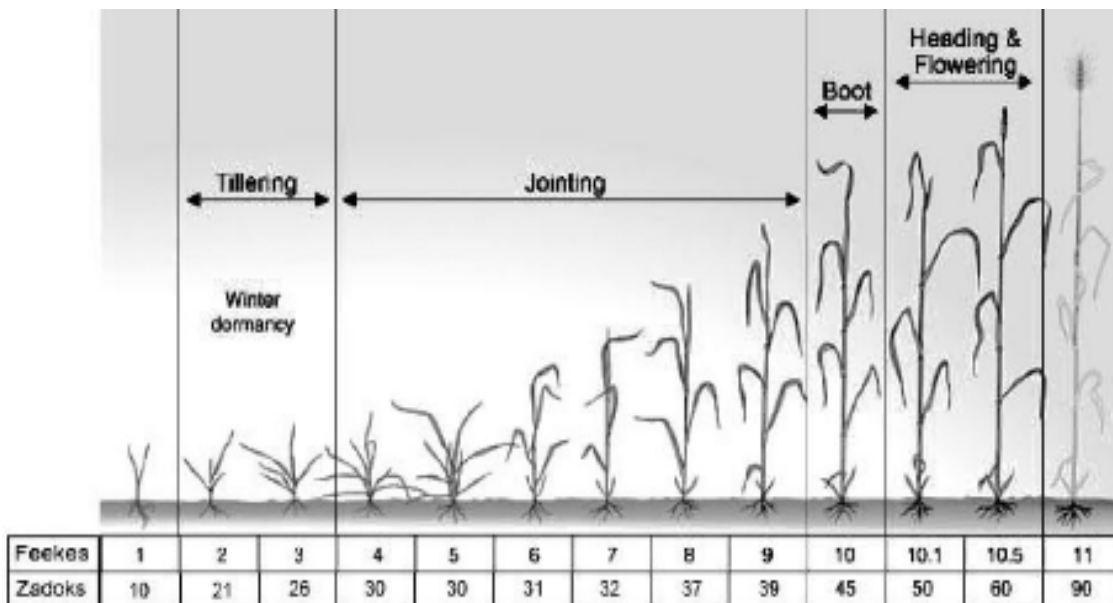


Figure 03 : Echelle de Feekes et Zadoks

(www.mémoire online.com)

Description du stade

- Z21 début du tallage
- Z30 épi à 1 cm
- Z32 deuxième nœud visible
- Z39 apparition de la ligule de la dernière feuille
- Z65 demi-floraison
- Z92 maturité du grain

II. Stress hydrique :

II.1. Rôle de l'eau dans la plante

Pour une croissance satisfaisante de la jeune plantule le sol doit être suffisamment humide

(**Moule, 1971**). Les besoins en eau des plantes sont importants, pour élaborer 1 kg de matière sèche il faut 600 kg d'eau (**Hnatysz et Guais, 1988**). Les besoins en eau des cultures sont liés aux conditions climatiques à la biologie de la plante dans le sol. (**Toutain, 1977**).

L'eau est présente dans le grain sous des formes différentes (**Cruz et al., 1989**) :

1. L'eau de dissolution dans les vacuoles des cellules, C'est une eau qualifiée de « libre ».
2. L'eau d'imbibition associée aux colloïdes.
3. L'eau de constitution très fortement fixée à la molécule.

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 (**Laberche, 2004**):

- contribution au maintien de la structure de la cellule et en particulier de la structure colloïdale du cytoplasme.
- le siège des réactions métaboliques
- intervention dans les réactions métaboliques comme l'hydrolyse ou la photosynthèse,
- permettre la turgescence des cellules et par là même les tissus et les organes.
- Transport des nutriments minéraux et des produits des métabolismes.

II.2. Notion de stress hydrique :

Le stress est l'ensemble des conditions qui provoquent des changements des processus physiologiques

La notion de stress hydrique a été assimilée à la notion de sécheresse qui est définie par l'état de pénurie hydrique dont souffre la culture. Il y a sécheresse dès lors que l'eau devient facteur limitant de la croissance et du rendement. (Bousba et al., 2012).

Le stress hydrique peut se définir comme le rapport entre la quantité d'eau nécessaire à la croissance de la plante et la quantité d'eau disponible dans son environnement. Sachant que la réserve d'eau utile pour la plante est la quantité d'eau du sol accessible par son système racinaire (Laberche, 2004).

Le stress hydrique est défini comme étant une restriction hydrique qui se traduit par une baisse de potentiel de la plante suite à une perturbation de son activité physiologique provoquée par un déficit de consommation en eau. (Mouhouche et Boulassel, 1997).

II.3: Effets du stress hydrique sur la plante :

L'organe qui subit l'effet du déficit hydrique en premier lieu est le limbe de la feuille, il cesse sa croissance, s'enroule et après anthèse accélère sa sénescence si le stress perdure (Kara 2000). En réduisant la taille des feuilles et leur surface verte, le stress hydrique diminue l'indice foliaire et la durée de vie de la feuille et par voie de conséquence la capacité photosynthétique (Turner, 1997).

De nombreuses autres réactions ont été observées au niveau métabolique (accumulation de solutés) ou au niveau de la balance hormonale, l'acide abscissique (ABA) qualifié « hormone de stress » (Hartung et Davies, 1991) synthétisé rapidement et semble avoir un rôle important dans la réponse au stress, dans l'inhibition de la photosynthèse et le ralentissement de la croissance des feuilles (Kara 2000). Le déficit hydrique peut également diminuer la pression de turgescence de la plante et par conséquent provoquer une perte d'eau du contenu cellulaire. Cette perte de l'état de turgescence peut engendrer des effets physiologiques très importants (Gate 1995). Mais la question reste toujours posée, de savoir si ces nombreuses réactions au déficit hydrique ont un rôle effectif dans l'acquisition de la tolérance, ou bien s'ils ne font que marquer un état de stress (Kara 2000). Pour pouvoir répondre à la sécheresse et les mécanismes d'adaptation développés par la plante (Kara 2000).

II.4. Adaptation du blé a la sécheresse :

Pour lutter contre le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu. La résistance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie d'un point de vue physiologique : par sa capacité à survivre et à s'accroître, et d'un point de vue agronomique : par l'obtention d'un rendement plus élevé. **(Hsissou, 1994).**

II.4.1. Adaptations morphologiques

Un système racinaire capable d'extraire l'eau du sol ou en d'autres termes peut explorer un volume de terre important serait un caractère essentiel pour l'adaptation à la sécheresse. Cette caractéristique revêt une importance particulière pour les cultures qui subissent régulièrement des déficits hydriques durant le cycle de croissance **(El Fakhri et al., 2010).**

Pour assurer à la plante la meilleure exploitation possible des réserves en eau, la colonisation racinaire doit pouvoir s'adresser à toutes les couches du sol **(Zoghmar 2007)**. Les racines doivent être distribuées d'une manière homogène. **(Callot, 1984)** cette répartition uniforme ne peut toutefois être retenue comme caractéristique favorable que si le profil est uniforme **(Zoghmar 2007)**.

En tout état de cause, une meilleure alimentation de la plante en eau passe par l'exploration d'un grand volume de sol **(Turner, 1986)**. Il faut cependant souligner la variabilité génétique dans l'espèce blé dure exprimée dans la majorité des études sur l'appareil racinaire **(Zoghmar 2007)**.

La hauteur de la plante apparaît comme un critère de sélection important particulièrement dans les zones semi-arides. **Benmahammed (2005)**. Et Selon **Gatet al. ; (1990)**, la hauteur des tiges enregistre de nettes diminutions en cas de déficit hydrique suivant les variétés.

Fischer et Maurer (1978) mentionnent que le blé haut serait un indice de sensibilité à la contrainte hydrique plus faible comparativement au blé nain et semi – nain.

Partie I : Etude bibliographiques

La surface foliaire détermine progressivement à la fois les quantités d'eau utilisées par la plante sous forme de transpiration et les quantités de carbone fixées par voie photosynthétique (Cooper et al., 1983; Benmahammed et al., 2008).

La feuille est l'organe le plus sensible à la contrainte hydrique, elle change de forme et d'orientation en présence d'un déficit hydrique (Gate et al., 1993). soumise à un déficit hydrique, la feuille est affectée soit par la réduction de sa surface (Brisson, 1996 ; Benlaribi, 1990) soit par la mort de sa partie apicale, soit par son enroulement et son flétrissement total (Blum, 1996).

II.4.2. adaptations physiologiques

La teneur relative en eau (TRE)

La teneur relative en eau correspond à une signification physiologique directe de l'état hydrique du végétal (Collinson et al., 1997). C'est un paramètre physiologique et aussi un indicateur de la résistance des espèces vis-à-vis d'un stress hydrique donné (stress hydrique, hautes températures, salinité) (Berka et Aid, 2009).

Le maintien d'un potentiel hydrique élevé est lié à l'aptitude à extraire l'eau du sol et à la capacité à limiter les pertes d'eau par transpiration (Turner, 1986). Les géotypes qui maintiennent leur TRE élevée lors du stress hydrique seront probablement les plus tolérants et les plus productifs (Sassi et al., 2012).

Les variétés de blé dur semblent présenter une meilleure résistance à la déshydratation foliaire que les variétés de blé tendre. Cette supériorité se manifeste essentiellement au stade de l'épiaison où la diminution de la teneur foliaire en eau chez le blé dur est significativement moins importante que celle enregistrée chez le blé tendre (Alem et al., 2002). Chez d'autres espèces Fahmi et al., (2011) rapportent par exemple qu'en présence d'un stress hydrique, la teneur en eau relative des feuilles de l'arganier Spinoza (*Argania spinosa* L.) augmente de 55.09% à 77.82%.

II.4.3. Adaptations biochimiques

A. Accumulation de la proline

Parmi les acides aminés ayant un impact direct sur les stress hydriques et osmotiques, la proline est l'un des solutés compatibles le plus fréquemment accumulé en réponse à des contraintes environnementales variées et joue un rôle important dans la tolérance des plantes cultivées (Ben Rejeb et al., 2012). L'accumulation de proline est l'une des stratégies adaptatives fréquemment observées chez les plantes pour limiter les effets du stress hydrique. Elle est en effet liée à l'osmorégulation cytoplasmique (Acevedo et al, 1989). Son accumulation dans les feuilles des plantes qui souffrent d'un manque d'eau a été décrite très anciennement (Cornic, 2008). On pense que l'accumulation se fait dans le cytoplasme. (Samars et al., 1995). Un déficit hydrique plus grave amplifie davantage l'accumulation de la proline dans les tissus foliaires, atteignant pratiquement le double de celle du témoin (Hireche, 2006).

B. Accumulation des sucres solubles

Généralement, on pense que l'accumulation de sucres solubles peut avoir comme origine l'hydrolyse de réserves, mais aussi une modification du métabolisme carboné. La dégradation de polysaccharides est une réduction de l'utilisation de carbohydrates plus importante que la réduction de la photosynthèse en conditions de déficit hydrique (Lepoivre, 2003). Différents sucres solubles peuvent être présents dans des tissus bien hydratés, mais le saccharose est préférentiellement accumulé dans les tissus en déshydratation (Dubos, 2001).

Berka et Aïd, (2009) montrent que la teneur en sucres solubles dans les feuilles des plants stressés augmente régulièrement et d'une manière significative en fonction de la diminution de la teneur relative en eau.

La teneur en glucides ne dure cependant pas jusqu'à la fin du déficit hydrique. Benlaribi, (1990) a montré sur deux lignées présumées tolérantes à la sécheresse que la teneur en sucres solubles des feuilles augmentent fortement en début de la phase de contrainte hydrique et diminue ensuite à mesure que s'accroît le déficit. Par ailleurs, les sucres protègent les membranes contre la déshydratation (Schwab et Gaff, 1986) en participant au maintien des réactions de phosphorylation et de production d'énergie. En plus

Partie I : Etude bibliographiques

de ce rôle protecteur des membranes, il protège les processus par lesquels les enzymes sont synthétisées, ce qui impliquerait une meilleure tolérance de la plante à la dessiccation et donc à une meilleure résistance à la sécheresse (**Duffus et Binnie, 1990**).

Chez le blé, les hydrates de carbone solubles ou WSC (Water Soluble Carbohydrates) s'accumulent surtout après l'anthèse dans les tiges et la translocation de ces sucres vers l'épi pendant le remplissage du grain contribue à la formation du poids du grain quand l'assimilation foliaire est réduite par la contrainte hydrique (**Blum et al., 1983**).

Les sucres sont considérés par plusieurs auteurs comme de bons osmorégulateurs (qui peuvent jouer un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation des plantes à la sécheresse (**Morgan, 1984; Zhang et al., 1999 ;Kameli et Losel, 1995; Sanchez et al., 1997**)).

II.5.Stratégies d'adaptation de la plante à la contrainte hydrique :

II.5.1.Evitement

La stratégie d'évitement est permet le maintien d'un potentiel hydrique élevé dans la plante. Ceci peut être obtenu par une réduction de la transpiration s'effectuant par la cuticule et les stomates incomplètement fermés (**BELHASSEN et al., 1995**). La glaucescence, la Pilosité des feuilles ou des liges, la couleur claire des feuilles et la présence des cires qui est un caractère génétique et qui s'extériorise en condition de stress hydrique (**GATE, 1995**).

La réduction de la surface foliaire tend à minimiser les pertes en eau en réduisant la transpiration (**Arraudeau, 1989**) mais peut aussi diminuer le rendement à cause de la réduction de la capacité photosynthétique (**BIDINGER et WITCDMBE, 1989**).

II.5.2.Esquive ou Echappement

L'esquive est des moyen qui permet à la plante d'annuler ou de réduire les effets néfastes du stress hydrique en évitent que le stress ne se produise au cours du cycle et en particulier

pendant ses phase les plus sensible(**Kameli et Losel, 1995; Sanchez et al., 1997**). Les variétés précoces parviennent par exemple à éviter le stress terminal(**Turner,1979**). Ces mécanismes ont été largement exploité par les agriculteurs (semis précoces) et les sélectionneurs (création de génotypes très précoces).Néanmoins, cette stratégie présente

Partie I : Etude bibliographiques

quelque limites (**Blum,1988**).Il existe en effet une relation positive entre la longueur du cycle et la rendement potentiel, qui peut conduire à un plafonnement du rendement des variétés précoces,surtout en année favorable (**Kara ,2000**).

D'autre part, le choix de variétés très précoces et les dates de semis très précoces peuvent conduire à d'autres risquesclimatiques, comme le gel des épis en début de montaison, ou des températures froides (faible rayonnement)pendent la moisson.les inconvénients de cette stratégie conduisent donc à identifier et à envisager d'autres mécanismes physiologiques permettant à la plante de maintenir des rendements élevés en condition de contrainte hydrique. (**Kara,2000**).

II.5.3.Tolérance a la déshydratation

Cette stratégie consiste à maintenir les fonctions de la plante, croissance, transpiration et la photosynthèse, malgré le déficit hydrique (**Jean - pierre et al., 2006**). La tolérance à la déshydratation implique des mécanismes intracellulaires qui visent à préserver l'intégrité structurale et fonctionnelle des tissus lorsque le potentiel hydrique diminue (**Laurent et Sané, 2007**). L'ajustement osmotique est un exemple d'une telle adaptation, il permet le maintien d'une turgescence positive pour des teneurs en eau relativement faible (**Hopkinsw, 2003**).L'ajustement osmotique, consiste en la synthèse des molécules solubles, ce qui se traduit par une plus grande capacité d'attraction et de rétention des molécules d'eau. Ces molécules, appelées osmolytes, ces derniers s'accumulent le plus souvent dans le cytoplasme (**Nabors, 2008**). Cette forte accumulation de solutés ioniques ou organiques dans les cellules provoque une diminution du potentiel osmotique.

Les principales substances accumulées en réponse aux stress osmotiques peuvent être des acides aminés (proline, alanine ...), des sucres (saccharose, tréhalose, fructanes), des ions quaternaires (bétaines, proline - bétaine), des ions inorganiques (K⁺) ou encore des acides organiques (malate, glutamate, citrate), des hormones (acide abscéscique) (**Hopkinsw, 2003**). La nature des osmolytes impliqués dans l'ajustement osmotique est généralement spécifique de l'espèce étudiée. Les solutés organiques ne perturbent généralement pas ou peu le métabolisme des cellules et sont qualifiés à ce titre d'osmolytes compatibles (**Radhouane,2011**).

I. Matériels végétal :

L'étude à portée sur deux variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et deux variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Ces variétés présentent des niveaux de productivité et des comportements différents vis à vis du stress hydrique.

I.1. Expérimentations en conditions semi-contrôlées (sous serre)

Celles-ci étaient destinées à connaître les principaux mécanismes impliqués dans la tolérance au stress hydrique et à préciser les caractéristiques physiologiques des génotypes étudiés.

En conditions semi- contrôlées (serre) ont été analysées :

- les paramètres du statut hydrique : teneur relative en eau à deux niveaux d'humidité de la capacité au champ (100% et 15% de la capacité au champ).

- les paramètres biochimiques : l'accumulation des osmotocums (proline et sucres solubles) .

- les caractères morphologiques de la partie aérienne : hauteur de la plante et surface foliaire(Cm^2).

Les plantules de chaque génotype obtenues après germination sur boîte de pétri, sont repiquées dans des pots en plastique contenant un mélange de sol, sables et compostes.

Chaque lot comporte 4 répétitions par génotype .les pots sont arrosés trois fois par semaine et maintenus a hydratation maximale jusqu'au stade de la quatrième feuille bien développée.

A ce stade les régimes d'irrigation sont modifiés : dans le lot témoin, le sol est maintenu constamment humide, alors que dans le cas des plantes du lot stressé, l'arrosage est interrompu jusqu'à l'obtention d'un déficit hydrique modéré (20 jours d'arrêt d'arrosage).

I.2.Variétés étudiées :

Les principales caractéristiques des génotypes étudiées sont les suivantes :

Chapitre I : Matériels et Méthodes

I.2.1. Variétés du blé dur (*Triticum durum* Desf.)

Waha : Variété créée par l'ICARDA (International Center for Agricultural Research in Dry Areas, Aleppo ; Syria), introduite en Algérie en 1976. C'est une variété précoce de paille courte (inférieure à 100 cm. Elle est recommandée pour les zones céréalières où la pluviométrie annuelle moyenne est supérieure à 400 mm et aux sols profonds (**Boufenare et Zeghouane, 2006**).

Boussellam: C'est une obtention ICARDA. C'est une sélection obtenue à la Ferme de Démonstration de Production de Semences de Sétif. Cette variété est précoce de paille courte (de 90 à 100 cm). L'épi de ce dernier est blanc, compact et de forme pyramidal. Elle est résistante au froid, à la verse, à la sécheresse et aux maladies cryptogamiques. Sa productivité optimale est environ de 38 qx.ha-1 (**Boufenare et Zeghouane, 2006**).

I.2.2. Variétés du blé tendre (*Triticum aestivum* L.)

Hidhab : (neelkant) appelée improprement en Algérie HD1220/3 Kal/nac; sélectionnée à la ferme expérimentale de l'I.T.G.C (el khroub constantine) en 1984. C'est une variété précoce à fort tallage. L'épi est blanc, à barbes noires divergentes, avec une paille moyenne. La tige est creuse, le grain est roux allongé. D'un point de vue tolérance, elle s'avère tolérante à la rouille jaune, brune et noire. Elle se cultive dans les zones sahariennes et les hauts plateaux. (**Zoghmar 2007**).

Arz : est une obtention du CIMMYT, issue du croisement mago 54/Ir_64_IL Tac <<s>> /3 LR 64 III TZ pp /y 54. ELLE a été sélectionnée en 1978 à l'ITGC/ EL KHROUB. Elle est précoce à fort tallage, l'épi est roux allongé avec des barbes divergentes. La paille est moyenne, le grain clair arrondi. Elle est sensible à la rouille brune, jaune et à la carie. Tolérante à la rouille noire à la fusariose et à la septoriose. Elle s'adapte aux zones littorales, les plaines intérieures, résistante à la verse et convient aux différents types de sole (léger ou lourd). Semis : mi-novembre à mi-décembre. (**Zoghmar 2007**).

II. Les paramètres étudiés

II.1. La teneur relative en eau

La teneur relative en eau de la feuille a été déterminée par la méthode décrite par Barr, (1968). Selon laquelle, les feuilles sont coupées à la base du limbe, elles sont pesées immédiatement pour obtenir leur poids frais (MSF), ensuite plongées dans un tube à essai contenant de l'eau distillée pendant 24 h à 4°C afin d'obtenir un taux de réhydratation maximum. La feuille est de nouvelles pesées (MSTM) ; l'échantillon est ensuite mis à sécher à l'étuve à 80°C pendant 48h (MSS)

Les valeurs de la turgescence relative sont déterminées à partir de la formule suivante :

$$\text{TRE (\%)} = [(\text{MSF}-\text{MSS}) / (\text{MSTM}- \text{MSS})].100$$

MSF : masse de substance fraîche

MSTM : masse de substance à turgescence maximale

MSS : masse de substance séchée



Figure 04 : Mesure du poids frais des échantillons



Figure 05 : Séchage des échantillons dans l'étuve à 80°C pendant 48h

II.2.Dosage de la proline

La proline est l'un des vingt principaux acides aminés qui entrent dans la constitution des protéines. La proline est facilement oxydée par la ninhydrine ou tricetohydrindène. C'est sur cette réaction que se base le protocole de mise en évidence de la proline dans les échantillons foliaires (El Jaafari, 1993). La méthode suivie est celle de Trolls et Lindsley, (1955), modifiée par (Dreier et Goring ,1974), et ensuite par (**Monneveux et Nemmar, 1983**).

a. Extraction

Elle consiste à prendre 100 mg de matériel végétal, le 1/3 médian de la feuille étandard dans des tubes à essai contenant 2 ml de méthanol à 40%. Le tout est chauffé à 85°C dans un bain-marie pendant 60mn. (Les tubes sont recouverts de papier aluminium pendant le chauffage pour éviter la volatilisation de l'alcool.)

b.Coloration

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

-1 ml d'acide acétique (CH_3COOH) ; -25 mg de ninhydrine ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_4$) et 1 ml de mélange contenant :

-120 ml d'eau distillée ;

-300 ml d'acide acétique

-80 ml d'acide ortho phosphorique (H_3PO_4 , $d=1,7$).

La solution obtenue est portée à ébullition pendant 30 mn à 100°C, la solution vire au rouge.

c.Séparation

Après refroidissement, 5 ml de toluène sont rajoutés à la solution qui est agitée, deux

Chapitre I : Matériels et Méthodes

Phases se séparent (une phase supérieure à la couleur rouge contient la proline et une phase inférieure transparente sans proline).

d.Déshydratation

Après avoir éliminé la phase inférieure, la phase supérieure récupérée est déshydratée par l'ajout d'une spatule de Sulfate de Sodium Na_2SO_4 anhydre (pour éliminer l'eau qu'elle contient).

e.Lecture

On détermine la densité optique à l'aide d'un spectrophotomètre sur une longueur d'onde de 528nm.

La teneur en proline est calculée suivant l'équation

$$Y=0.62*DO/MS$$

DO : la densité optique

MS : la matière sèche en (mg)

Y : teneur en proline en ($\mu\text{mol}/\text{mg}$)



Figure 06 : a. L'extraction

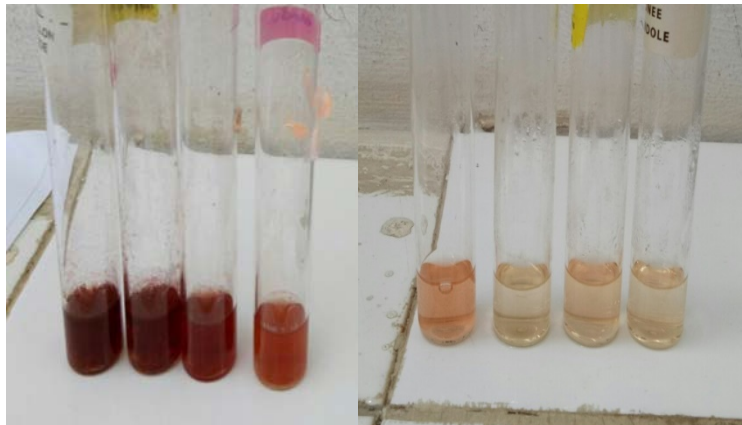


Figure 07 : b. coloration (lot stressé) / b. coloration (lot témoin)

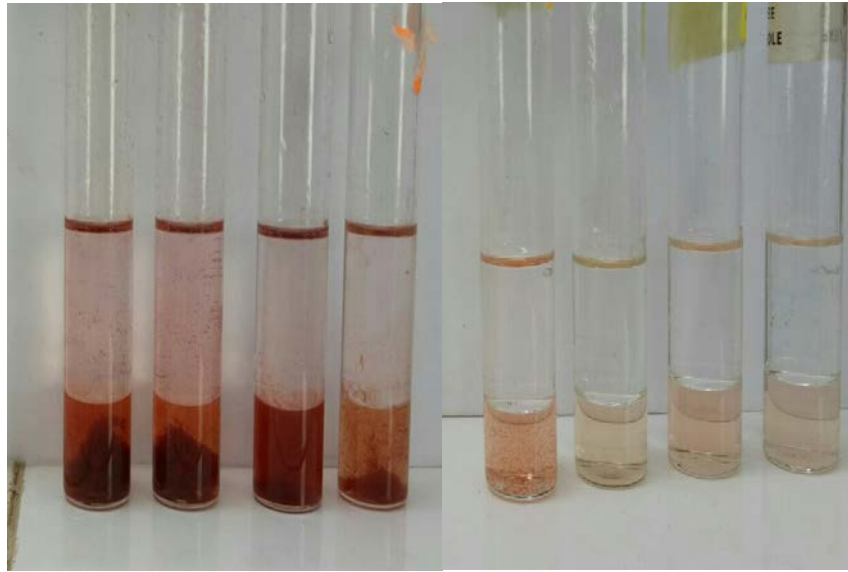


Figure 08 :c. séparation (lot stressé) / c. séparation (lot témoin)



Figure 09 : d. lecture

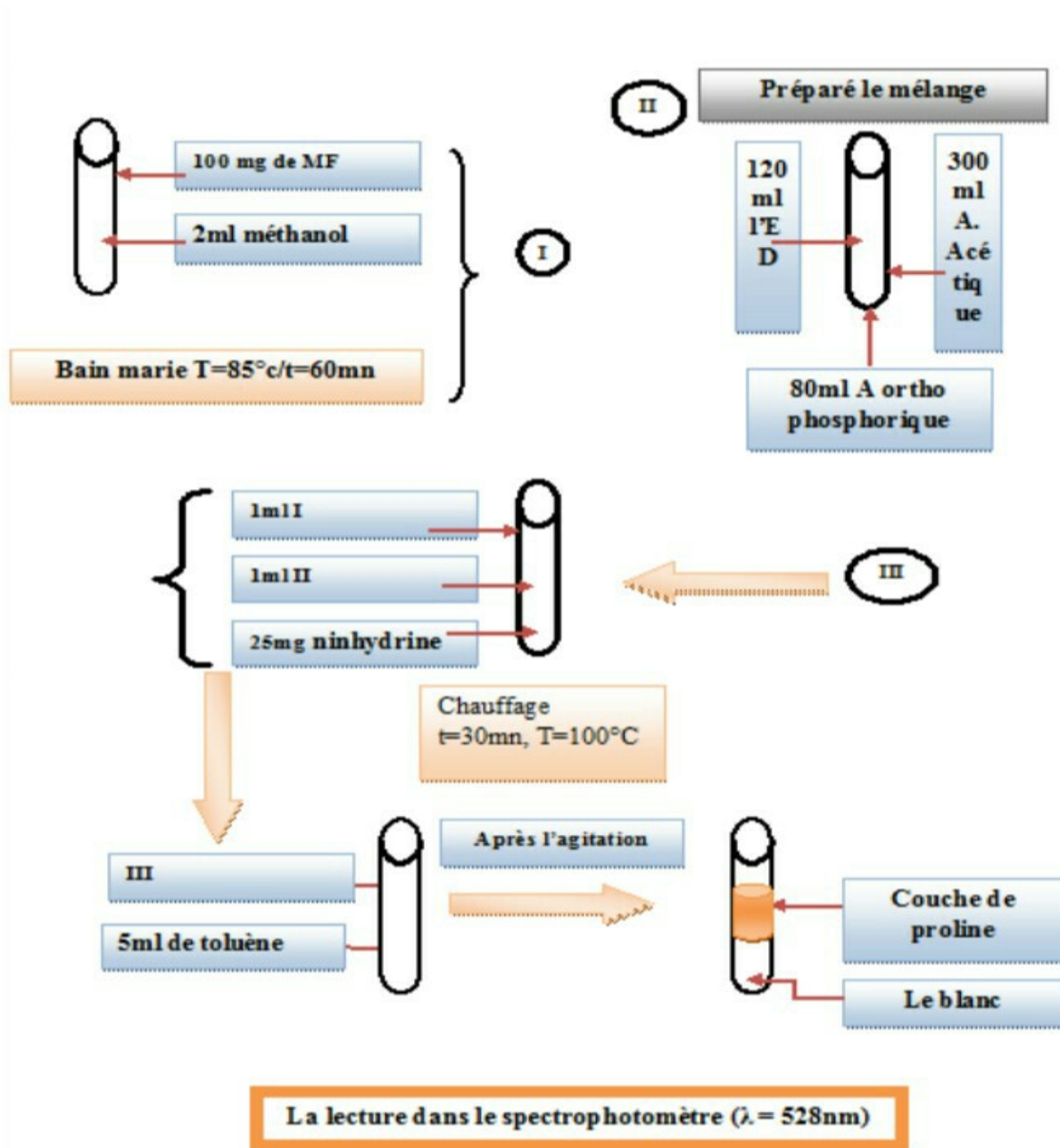


Figure 10 : les étapes de dosage de la proline

II.3. Dosage des sucres solubles

Les sucres solubles totaux (saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthyles et les polysaccharides) sont dosés par la méthode au phénol de Dubois et al., (1956).

a. Extraction

Elle consiste à prendre 100 mg de matière fraîche, placée dans des tubes à essais, on ajoute 3ml d'éthanol à 80% pour faire l'extraction des sucres à température ambiante pendant 48h à l'obscurité.

Au moment du dosage les tubes sont placés dans l'étuve à 80°C pour faire évaporer l'alcool. Dans chaque tube on ajoute 20ml d'eau distillée à l'extrait.

b .Coloration

Dans des tubes à essais propres on met 2 ml de la solution à analyser, on ajoute 1 ml de phénol à 5% (phénol dilué), en ajoute 5 ml d'acide sulfurique à 40%.

On obtient une solution jaune orange à la surface, cette solution passée au vortex afin d'homogénéiser la couleur de la solution.

On laisser les tubes pendant une durée de 10 mn ensuite on place au bain-marie pour 10 à 20 mn à une température de 30C°.

b. Lecture

Les mesures d'absorbance sont effectuées à une longueur d'ondes de 485 nm.

La teneur en sucre est calculée suivant l'équation suivante

$$Y=1.657*DO/MS$$

DO : la densité optique

MS : la matière sèche en (mg)

Y : teneur en proline de matière sèche en (μ mol/mg).



Figure 11 :L'extraction

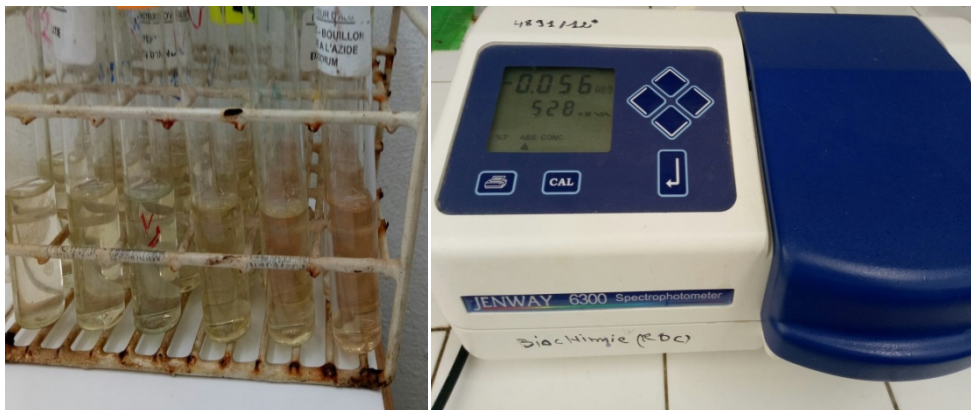


Figure 12 :a. Coloration / c. lecture

Résultats et Discussions

I. Résultats

Quatre variétés de blé dont deux blés durs (*Triticum durum* Desf.) et deux blés tendres (*Triticum aestivum* L.) ont été soumises à un déficit hydrique jugé sévère (15 % de la capacité au champ).

Les paramètres qui ont été analysés dans le cadre de cette étude sont :

- La teneur relative en eau
- Les caractères biochimiques à savoir teneur en proline et en sucres simples (tels que le glucose et le fructose)
- Les caractères morphologiques liés à la partie aérienne (surface foliaire et hauteur de plante).

- **Dispositif expérimental**

Notre essai a été conduit en randomisation totale (blocs aléatoires selon le dispositif de Fisher à quatre répétitions. Nous avons donc deux variétés de blé dur et deux variétés de blé tendre.

Au total nous avons 32 répétitions.

BLOC 01 Variétés témoins	Waha 1	Waha 2	Bous- slem 1	Bous- slem 2	Arz 1	Arz 2	HD 1	HD 2
	Waha 3	Waha 4	Bous- slem 3	Bous- slem 4	Arz 3	Arz 4	HD 3	HD 4
BLOC 02 Variétés stressés	Waha 1	Waha 2	Bous- slem 1	Bous- slem 2	Arz 1	Arz 2	HD 1	HD 2
	Waha 3	Waha 4	Bous- slem 3	Bous- slem 4	Arz 3	Arz 4	HD 3	HD 4

I.1. Paramètres physiologiques et biochimiques

a. Cas de blés tendre (*Triticum aestivum* L.)

L'analyse de la variance (ANOVA) effectuée sur les paramètres physiologiques (TRE), et les caractères biochimiques (osmotocums), teneur en proline et en sucres solubles entre les plantes bien arrosées et les plantes ayant subies un stress hydrique montre que l'effet génotype, l'effet traitement hydrique et l'interaction génotypes×traitement hydrique sont significatifs voire très hautement significatives.

Par ailleurs, la teneur relative en eau (TRE), l'effet génotypes et l'effet interaction génotypes×traitement hydrique est par contre non significatif. Ce résultat était prévisible et attendu du fait que tous les génotypes ont été irrigués de façon soutenue et de la même manière. Il semblerait alors que les variétés étudiées ont réagi de la même façon face à l'irrigation en affichant des valeurs sensiblement les mêmes. (Tableau 2).

Tableau 2. Analyse de la variance(ANOVA) chez les deux génotypes étudiés du blé tendre

TRE: teneur relative en eau ; **Prol:** teneur en Proline exprimé en $\mu\text{g.mg}^{-1}$ MS; **Sucre:** teneur en Sucres soluble exprimé en $\mu\text{g.mg}^{-1}$ MS, **CM :** carré moyen, **DDL :** Degré de liberté, **F_{obs} :** Test de Fischer
Pr : Probabilité

Variab les	Effet génotypes (F1)				CM	Effet traitement (F2)			DDL	Effet génotypes× traitement (F1× F2)			
	DD L	CM	F _{obs}	Pr > F		D D L	F _{obs}	Pr > F		CM	F _{obs}	Pr > F	
TRE (%)	1	54, 65	0,51 47	0,48 Ns	7400, 73	1	69,6 9	0,0002* *	1	9,5 6	0,09 0	0,769 Ns	
Sucre	1	593 ,3	109, 56	0,000*	1012, 7	1	187, 0	0,000**	1	94, 4	17,4 4	0,003*	
Prolin	1	0,4 8	8,34 6	0,000*	2,251 0	1	38,4 7	0,000**	1	0,3 0	5,26 5	0,000*	

I.1.1. Effet du stress hydrique sur la teneur relative en eau

La mesure de la teneur relative en eau considérée comme étant un indicateur utilisé pour évaluer l'état hydrique d'une plante mais aussi pour le criblage des génotypes nous a permis de comparer les variétés stressées aux variétés témoins c'est-à-dire à 100% de la capacité au champ.

Résultats et Discussions

Les teneurs relatives en eau les plus élevées sont notées chez les témoins : 92.98% et 90.83% respectivement chez les variétés Arz et Hidhab.

En revanche, les variétés stressées accusent des valeurs relativement très basses par rapport aux variétés témoins. Arz et Hidhab affichent 51.55% et 46.27% respectivement soit une diminution de l'ordre de 49,05% et 44,59% par rapport aux témoins respectivement. Ce résultat montre que la variété Arz semble être la plus affectée par le stress, alors que la variété Hidhab 1220 semble être la moins affectée par le stress hydrique. Donc ce génotype est considéré probablement comme tolérant (**Figure 13**).

Tableau 3: Classification des moyennes et groupes homogènes établis par le test de NEWMAN-KEULS ($\alpha=5\%$), pour les deux génotypes de blé tendre testés.

TRE : teneur relative en eau, **SDH** : sans déficit hydrique, **ADH** : avec déficit hydrique, **CC** : Capacité au champ.

A, B : indices de séparation des groupes homogènes par le test de Newman-Keuls au seuil $\alpha=5\%$.

Génotypes de blé tendre	TRE (%)		Moyenne	Taux de diminution (%)
	SDH	ADH		
Hidhab 1220	90,83	46,27	68,550 A	49,05
Arz	92,98	51,51	72,246 A	44,59
Moyenne	91,90 A	48,89 B		

Le test de séparation des groupes homogènes NEWMAN-KEULS pour le facteur traitement nous isole deux groupes distincts :

- un maximum est enregistré au niveau du lot témoin (100 CC) avec une moyenne de l'ordre de 91,90 %, groupe **A**
- un minimum pour le lot stressé (48,89%), groupe **B**.

Alors que pour le facteur génotype, les deux variétés testées se confinent sous un seul et unique groupe A avec 68,550 et 72,246. En d'autres termes, les deux variétés se comportent de la même façon quel que soit le cas de figure considéré : stressé ou irrigué.

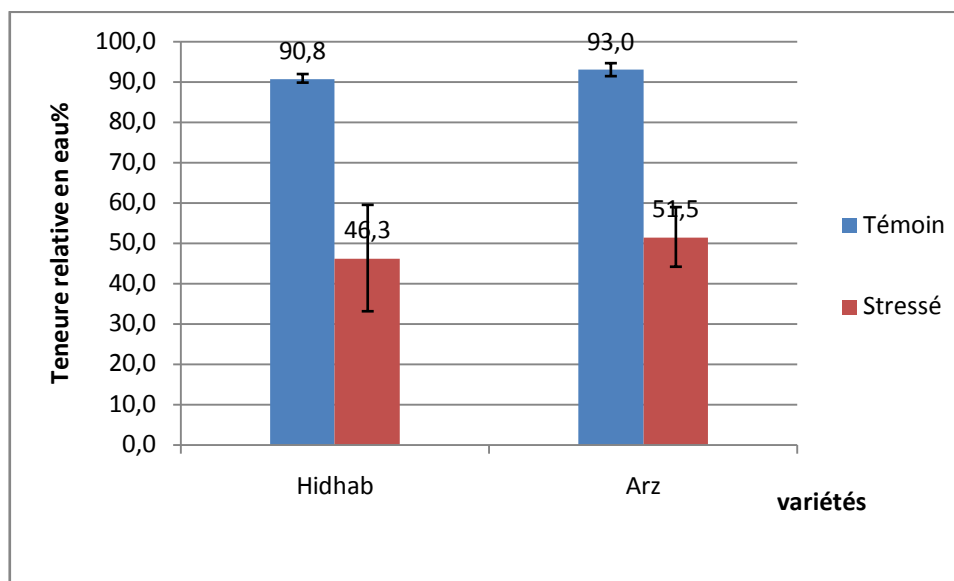


Figure 13 : Variation de la teneur relative en eau chez les deux génotypes de blé tendre sous stress hydrique.

I.1.2. Effet du stress hydrique sur la teneur en proline

l'analyse de la variance pour ce caractère révèle que d'une manière générale, les traitements stressés affichent des quantités plus importantes par rapport au lot témoin. Ces variations sont non seulement liées aux degrés du stress appliqué mais également et surtout à la nature et au comportement du génotype vis-à-vis de cet acide aminé, la Proline.

Sous conditions de bonne alimentation hydrique (100% CC), on ne remarque pas de grandes différences entre les deux génotypes de blé tendre testés, ces derniers présentent des valeurs équivalentes et relativement faibles de l'ordre de (6,005 et 7,58 $\mu\text{g}/100 \text{ mg MS}$).

A l'opposé, au niveau du lot soumis à un stress hydrique (stress sévère), les deux variétés testées affichent des quantités plus au moins élevées en proline soit 7,64 et 11,68 $\mu\text{g}/100 \text{ mg MS}$ par rapport au témoin. Le taux d'augmentation de cet osmoticum est de l'ordre de 27,31% et 53,98% chez Hidhab 1220 et Arz respectivement (**Figure 14**).

Résultats et Discussions

Tableau 4: Classification des moyennes et groupes homogènes de la teneur en proline établis par le test de NEWMAN-KEULS ($\alpha=5\%$), pour les deux génotypes de blé tendre testés.

SDH : sans déficit hydrique, **ADH** : avec déficit hydrique, **CC** : Capacité au champ.

A, B : indices de séparation des groupes homogènes par le test de Newman-Keuls au seuil $\alpha=5\%$.

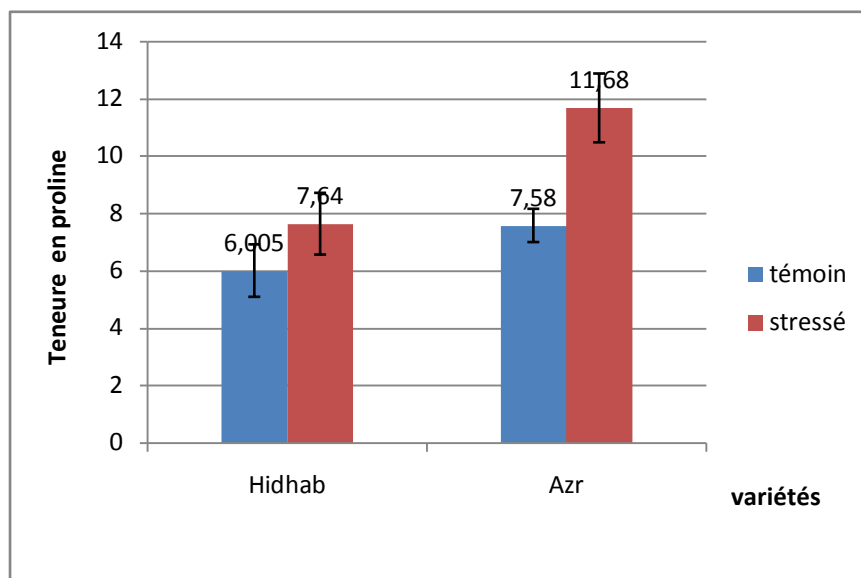
Génotypes de blé tendre	Proline ($\mu\text{g}/100\text{ mg MS}$)		Moyenne	Taux d'augmentation (%)
	SDH	ADH		
Hidhab 1220	6,005	7,64	9,633A	27,31 %
Arz	7,58	11,68	6,825B	53,98 %
Moyenne	9,663 A	6,795 B		

Le test de NEWMAN-KEULS au seuil de 5% (tableau 4) pour le facteur traitement, révèle l'existence de deux groupes:

- le premier groupe (A) correspond au lot témoin (100% CC) avec une moyenne de 9,66 $\mu\text{g}/100\text{ mg MS}$
- le second groupe (B) comprend le lot stressé avec une moyenne de 6,795 $\mu\text{g}/100\text{ mg MS}$.

Le test de NEWMAN-KEULS affiche ainsi pour le facteur génotype, deux groupes homogènes :

- un premier groupe (A) comporte le génotype Hidhab 1220 avec 9,633 $\mu\text{g}/100\text{ mg MS}$.
- un second groupe (B) caractérise le génotype Arz avec 6,825 $\mu\text{g}/100\text{ mg MS}$.



**Figure 14: Evaluation de la teneur en proline des deux variétés du blé tendre
Soumises à un niveau de stress hydrique sévère (15% du cc)**

I.1.3. Effet du stress hydrique sur la teneur en sucres solubles

Concernant les sucres solubles, les résultats révèlent que les variétés stressées accusent les plus fortes valeurs de cet osmoticum, en effet, les géotypes Arz et Hidhab 1220 affichent respectivement $98,06 \mu\text{g}/100\text{mg MS}$ et $90,74 \mu\text{g}/100\text{mg MS}$

D'autre part, les variétés témoins enregistrent des valeurs nettement inférieures que les variétés stressés. Soit $87 \mu\text{g}/100\text{mg MS}$ pour la variété Arz et $69,97 \mu\text{g}/100\text{mg MS}$ pour Hidhab 1220 (**Figure 15**).

Résultats et Discussions

Tableau 5: Classification des moyennes et groupes homogènes la teneur en sucre s'établis par le test de NEWMAN-KEULS ($\alpha=5\%$), pour les deux génotypes de blé tendre testés.

Génotypes de blé tendre	Sucres solubles ($\mu\text{g}/100\text{mgMS}$)		Moyenne	Taux d'augmentation (%)
	SDH	ADH		
Hidhab 1220	69,97	90,74	80,35B	22,89
Arz	87	98,06	90,53A	11,83
Moyenne	78,48B	94,40A		

Le test de NEWMAN-KEULS au seuil de 5% (tableau 5) pour le facteur traitement, révèle l'existence de deux groupes:

- Le premier groupe (A) représente le lot stressé avec une moyennes de 94,40 $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$.
- le deuxième groupe B correspond au traitement témoin avec une moyenne de 78,48 $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$.

Le test de NEWMAN –KEULS affiche ainsi pour le facteur génotype, deux groupes distincts à savoir :

- un premier groupe (A) correspondant à la variété Arz avec une moyenne de 90,53 $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$.
- Un deuxième groupe B comprenant la variété Hidhab 1220 avec une moyenne de 80,35 $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$.

Résultats et Discussions

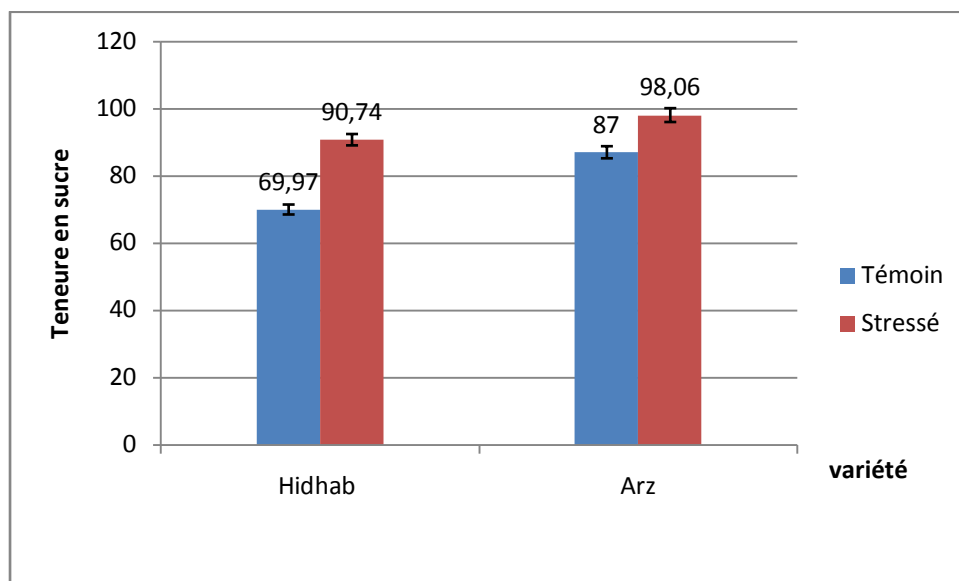


Figure 15 : Variation de la teneur en sucres chez les deux génotypes de blé tendre sous stress hydrique.

b. Cas doublé dur (*Triticum durum* L.)

L'analyse de la variance (ANOVA) effectuée sur les paramètres (**TRE**) et teneur en proline et en sucres solubles entre les génotypes bien irrigués et les génotypes ayant subis un stress hydrique montre que l'effet génotype, l'effet traitement hydrique et l'interaction génotypes \times traitement hydrique sont très hautement significatifs. A l'opposé la variable TRE, l'effet génotype et l'effet traitement sont dans ce cas de figure non significatifs. (Tableau 6).

Tableau 6. Analyse de la variance (ANOVA) chez les deux génotypes étudiés du blé dur

TRE: teneur relative en eau ; **ProL:** teneur en Proline exprimé en $\mu\text{g.mg}^{-1}$ MS; **Sucre:** teneur en Sucres soluble exprimé en $\mu\text{g.mg}^{-1}$ MS, **CM :** carré moyen, **DDL :** Degré de liberté, **F_{obs} :** Test de Fischer **Pr :** Probabilité

Variables	Effet génotypes (F1)				Effet traitement (F2)				Effet génotypes \times traitement (F1 \times F2)			
	DDL	CM	F _{obs}	Pr > F	DDL	F _{obs}	Pr > F	DDL	CM	F _{obs}	Pr > F	
TRE (%)	1	10,6	0,0974	0,760304	782,5	1	7,2057	0,019876	1	243,0	2,2375	0,1605Ns
Sucre	1	59,6	20,90	0,000642	268,9	1	94,22	0,000**	1	2604	91,26	0,000001
Proline	1	212,649	189,068	0,000*	34,369	1	30,558	0,00013	1	0,041	0,036	0,851763

Résultats et Discussions

II.1.1. Effet du stress hydrique sur la teneur relative en eau :

Les valeurs de la TRE notées par les variétés témoins sont plus élevées comparativement au lot stressé. Ainsi Waha et Bousselem enregistrent 92,31 % et 86,14 % respectivement.

En revanche, il est à noter que les variétés du lot stressé se distinguent par des valeurs inférieures au lot témoin. A cet effet, 79,02% est attribué à la variété Bousselem et 70,53% à la variété Waha. (Figure16)

Tableau 7: Classification des moyennes et groupes homogènes la teneur en eau établis par le test de NEWMAN-KEULS ($\alpha=5\%$), pour les deux génotypes de blé dur testés.

Génotypes de blé tendre	TRE (%)		Moyenne	Taux de diminution (%)
	SDH	ADH		
Bousselem	86,14	79,02	81,42A	13,31
Waha	92,31	70,53	83,04A	30,88
Moyenne	89,22A	75,24B		

- L'analyse de la variance du facteur variété donne un résultat non significatif.

Le test de **NEWMAN-KEULS** au seuil 5% pour le facteur variétés indique un seul groupe noté A qui comporte les deux variétés Waha et Bousselem avec une moyenne variant entre 83,04% et 81,42. %.

- Par ailleurs, l'analyse de la variance du facteur traitement (stressé et témoin) donne un résultat hautement significatif.

Le test de **NEWMAN-KEULS** au seuil 5% pour le facteur traitement indique deux groupes :

Résultats et Discussions

- le premier groupe A correspond au témoin avec une moyenne de 89,22%
- le deuxième groupe B correspond au traitement stressé avec une moyenne de 75,24%.

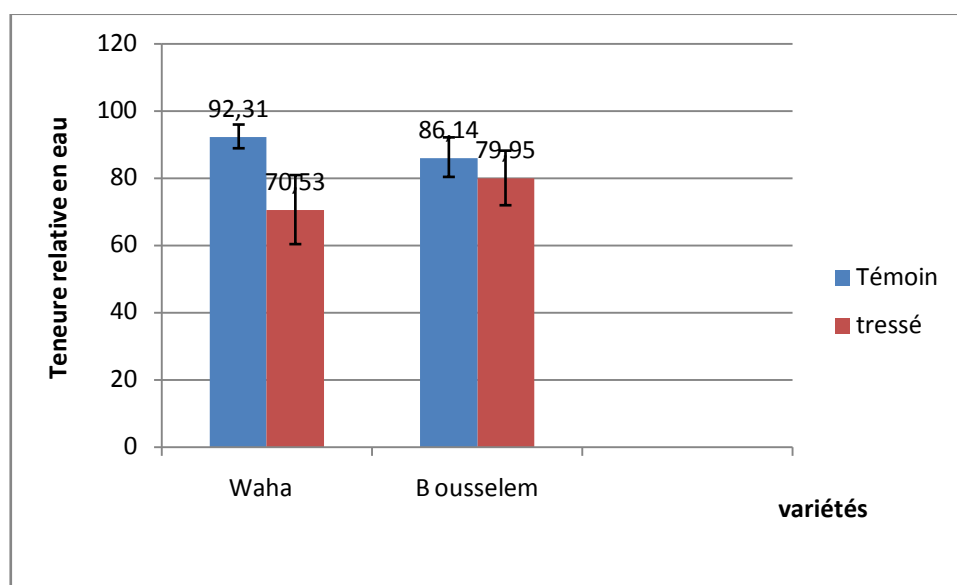


Figure16 : Variation de la teneur relative en eau chez les deux génotypes de blé dur sous stress hydrique.

II.1.2. Effet du stress hydrique sur la teneur en proline :

Concernant le taux de proline enregistré dans les feuilles, les résultats montrent que les variétés stressées se distinguent par des valeurs sensiblement plus élevées que celles enregistrées par le lot témoin ($5,58\mu\text{g}/100\text{mg MS}$ et $12,98\mu\text{g}/100\text{mg MS}$ respectivement pour Bousselem et Waha). Les variétés de blé dur testées dans notre étude à savoir Waha et Bousselem ont respectivement $15,81\mu\text{g}/100\text{mg MS}$ et $8,62\mu\text{g}/100\text{mg MS}$. (**Figure 17**)

Résultats et Discussions

Tableau 8: Classification des moyennes et groupes homogènes de la teneur en proline établis par le test de NEWMAN-KEULS ($\alpha=5\%$), pour les deux génotypes de blé dur testés.

Génotypes de blé dur	Proline ($\mu\text{g}/100\text{mgMS}$)		Moyenne	Taux d'augmentation (%)
	SDH	ADH		
Bousselem	5,58	8,62	7,104 B	36,2
Waha	12,98	15,81	14,395A	17,91
Moyenne	9,28 B	12,21 A		

L'indice de séparation du facteur variétés donné par le test de **NEWMA-KEULS** au seuil de 5% indique 2 groupes:

- Le premier groupe A correspond à la variété Waha, avec une moyenne de 14,395 $\mu\text{g}/100\text{mgMS}$.
- le deuxième groupe B correspond à l'autre variété avec une moyenne de 7,104 $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$.

L'analyse de la variance du facteur traitement (lot témoin et stressé confondus) donne un résultat hautement significatif.

Pour ce qui est de la teneur en proline chez les variétés de blé dur à 15% de CC, le test de **NEWMAN-KEULS** fait ressortir deux groupes distincts :

- Un groupe A avec une moyenne de 12,21 $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$ (lot stressé).
- Un groupe B avec une moyenne de 9,28 $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$ (lot témoin).

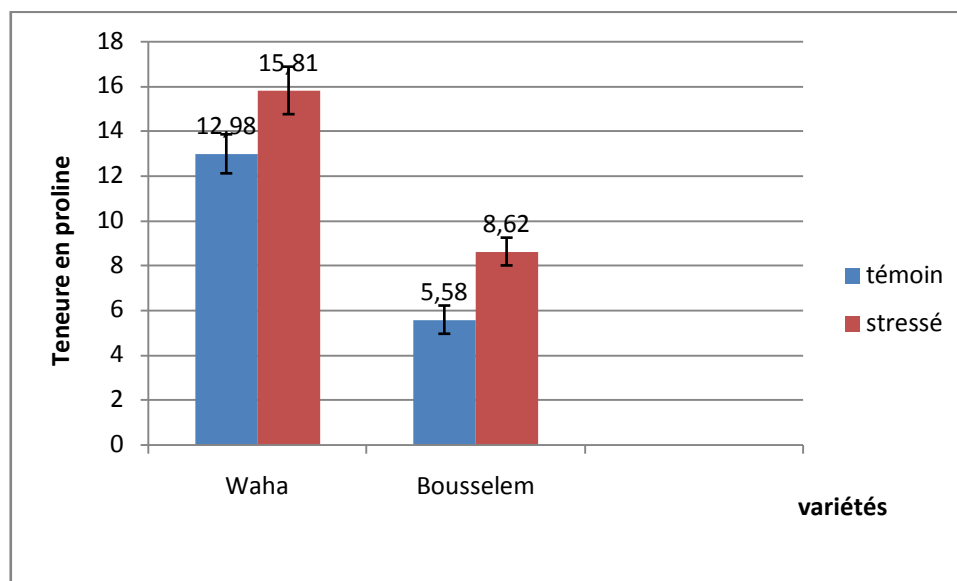


Figure17 : Variation de la teneur en proline chez les deux génotypes de blé dur sous stress hydrique.

II.1. 3. Effet du stress hydrique sur la teneur en sucre :

En conditions favorables (essai irrigué), les résultats montrent une accumulation des sucres solubles variable selon les génotypes. 95,11 $\mu\text{g}/100 \text{ mg MF}$ est attribué à Waha et 83,18 $\mu\text{g}/100 \text{ mg MF}$ à Bousselem

Par opposition au lot témoin, le lot stressé accuse par contre une augmentation très importante. Soit les valeurs 99,45 $\mu\text{g}/100 \text{ mg MF}$ et 95,24 $\mu\text{g}/100 \text{ mg MS}$ notées chez Bousselem et Waha. (**Figure 18**).

Résultats et Discussions

Tableau 9: Classification des moyennes et groupes homogènes de la teneur en sucre s'établis par le test de NEWMAN-KEULS ($\alpha=5\%$), pour les deux géotypes de blé dur testés.

Géotypes de blé tendre	sucres ($\mu\text{g}/100\text{mgMS}$)		Moyenne	Taux d'augmentation (%)
	SDH	ADH		
Bousselem	83,18	99,45	91,321A	16,36
Waha	95,11	95,24	95,183 A	0,16
Moyenne	89,153B	97,351A		

L'analyse de la variance effectuée sur le facteur variété, donne un résultat non significatif. Le test de **NEWMAN-KEULS** pour ce même facteur nous renseigne de l'existence d'un groupe unique noté A.

Bousselem : $91,321\mu\text{g}/100\text{ mg MF}$

Waha : $95,183\mu\text{g}/100\text{ mg MF}$

Quant à l'analyse de la variance pour le facteur traitement, cette dernière nous révèle un résultat très hautement significatif. Deux groupes se dégagent de cette analyse

- groupe A : traitement stressé avec une moyenne de $97,351\mu\text{g}/100\text{mg MS}$.
- groupe B : traitement témoin avec une moyenne de $89,153\mu\text{g}/100\text{mg MS}$.

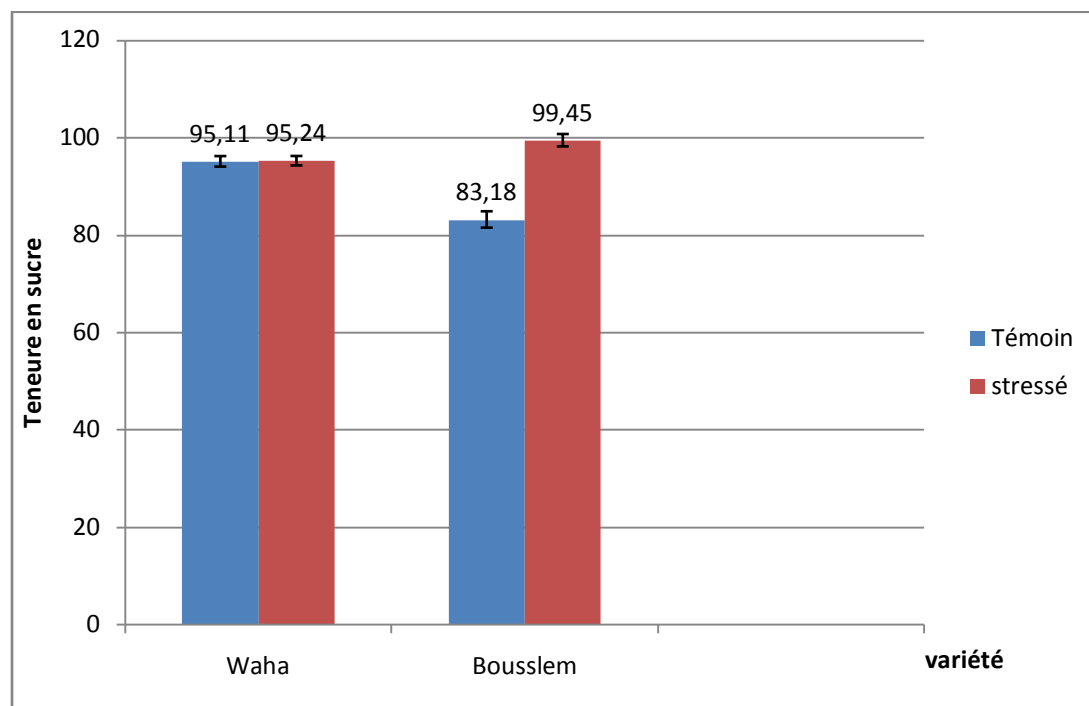


Figure18 : Variation de la teneur en sucre chez les deux génotypes de blé dur sous stress hydrique.

II.1. Paramètres morphologiques

a. Cas du blé tendre (*Triticum aestivum* L.)

L'analyse de la variance (ANOVA) effectuée sur les paramètres morphologiques à savoir la surface foliaire et la hauteur de la plante pour les deux variétés de blé tendre testées montre que l'effet génotype, et l'interaction génotypes×traitement hydrique sont non significatif. par contre l'effet traitement s'avère très hautement significatif

Résultats et Discussions

Tableau 10. Analyse de la variance(ANOVA) chez les deux génotypes étudiés du blé tendre (caractères morphologiques)

SF : Surface foliaire en cm², HP : Hauteur de la plante en cm , CM : carré moyen, DDL : Degré de liberté, F_{obs} : Test de Fischer, Pr : Probabilité.

Variables	Effet génotypes (F1)				Effet traitement (F2)				Effet génotypes× traitement (F1× F2)			
	DDL	CM	F _{obs}	Pr > F	CM	DDL	F _{obs}	Pr > F	DDL	CM	F _{obs}	Pr > F
SF/cm ²	1	2,64	0,321	0,58Ns	1	1925,0	234,07	0,000	1	0,766	0,093	0,76Ns
HP/cm	1	2,641	0,3211	0,581Ns	1	1925,016	234,0741	0,000	1	0,766	0,0931	0,765Ns

II.1.1. Effet du stress hydrique sur la surface foliaire

Les variétés de blé tendre testées dans notre étude montrent la supériorité des variétés témoins. En effet, les deux variétés de blé tendre se caractérisent par des valeurs élevées par rapport à celles enregistrées par le lot stressé, c'est l'évidence même. (Figure 19)

Tableau 11: Classification des moyennes et groupes homogènes de la surface foliaire établis par le test de NEWMAN-KEULS ($\alpha=5\%$), pour les deux génotypes de blé tendre testés.

SF : surface foliaire, SDH : sans déficit hydrique, ADH : avec déficit hydrique, CC : Capacité au champ.

A, B : indices de séparation des groupes homogènes par le test de Newman-Keuls au seuil $\alpha=5\%$.

Génotypes de blé tendre	SF (cm ²)		Moyenne	Taux de diminution (%)
	SDH	ADH		
Hidhab 1220	12,69	10,61	11,656B	16,4
Arz	25,55	17,5	21,558A	31,51
Moyenne	19,126A	14,088B		

L'analyse de la variance pour le facteur variétés donne un résultat hautement significatif.

Le test de NEWMAN-KEULS indique l'existence de deux groupes :

Résultats et Discussions

- le premier groupe A comprenant la variété Arz avec une moyenne de 21,558 cm²
- le deuxième groupe B, celui de la variété Hidhab avec une moyennner de

11,656cm². Cette grande différence entre les variétés, du simple au double nous semble due à des caractéristiques génétiques intrinsèques au génotype lui-même. Quant au facteur traitement, l'analyse statistique révèle un effet hautement significatif. De cette analyse se dégage deux groupes

- Le groupe A :traitement témoin, avec une surface équivaut à19,126 cm²
- Le groupe B : traitement stressé avec 14,088 cm². Soit une différence appréciable

égale à 5.03 cm². Ceci montre que le manque d'eau affecte particulièrement la

feuille drapeau, considérée comme l'organe qui prend le relais après la sénescence des autres feuilles et qui peut éventuellement alimenter la plante toute entière.

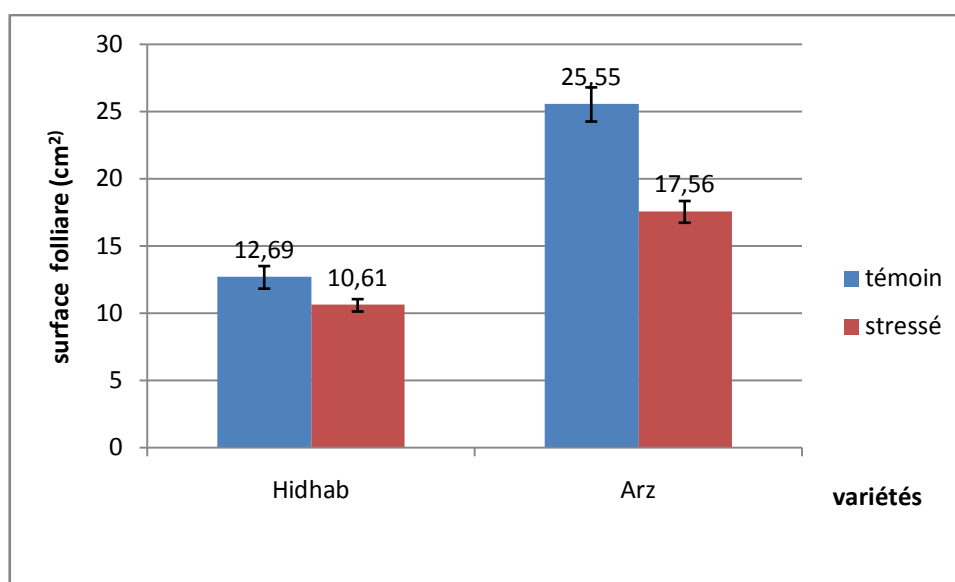


Figure 19 : Variation de la surface foliaire chez les deux génotypes de blé tender sous stress hydrique.

II.1.2. Effets du stress hydrique sur la hauteur de plante

Résultats et Discussions

L'analyse de la variance pour ce caractère révèle que d'une manière générale, les traitements témoins affichent des hauteurs plus importantes par rapport au lot stressé.

Sous conditions de bonne alimentation hydrique (100% CC), on ne remarque pas de grandes différences entre les deux génotypes de blé tendre testés, ces derniers présentent des valeurs équivalentes de l'ordre de 33,75cm et 33,37cm respectivement les génotypes Arz et Hidhab.

A l'opposé, au niveau du lot soumis à un stress hydrique (stress sévère), les deux variétés testées notent des valeurs nettement inférieures (12,25 cm chez Hidhab et 11cm chez Arz).

(Figure 20)

Tableau 12: Classification des moyennes et groupes de la hauteur de la plante établis par le test de NEWMAN-KEULS ($\alpha=5\%$), pour les deux génotypes de blé tendre testés.

SDH : sans déficit hydrique, **ADH** : avec déficit hydrique, **CC** : Capacité au champ.

A, B : indices de séparation des groupes homogènes par le test de Newman-Keuls au seuil $\alpha=5\%$.

Génotypes de blé tendre	HP (cm)		Moyenne	Taux de diminution (%)
	SDH	ADH		
Hidhab 1220	33,37	12,25	22,81A	63,3
Arz	33,75	11	22,37A	67,41
Moyenne	33,56A	11,62B		

L'analyse de la variance du paramètre variété donne un résultat non significatif.

Le test de **NEWMAN-KEULS** au seuil 5% pour le facteur variétés indique un seul groupe

A correspondant aux deux variétés qui montrent une moyenne variant entre 22,81 cm et 22,37 cm.

L'analyse de la variance du facteur régime hydrique, donne un résultat hautement significatif.

Le test de **NEWMAN-KEULS** au seuil 5% pour le facteur traitement indique deux groupes :

-le premier groupe A correspond au traitement témoin, avec une moyenne de

Résultats et Discussions

33,563 cm

-le deuxième groupe B correspond au traitement stressé avec une moyenne de 11,625 Cm.

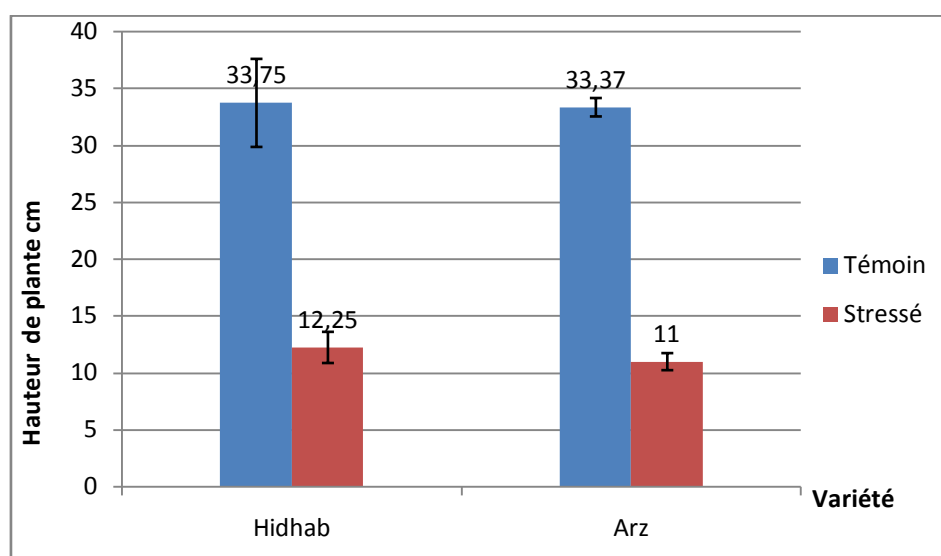


Figure20 : Variation de la hauteur de plante chez les deux génotypes de blé tendre sous stress hydrique.

b. Cas du blé dur (*Triticum durum* Desf.)

L'analyse de la variance (ANOVA) effectuée sur les paramètres morphologiques à savoir la surface foliaire et la hauteur de la plante pour les deux variétés de blé tendre testées montre que l'effet génotype, et l'interaction génotypes \times traitement hydrique sont non significatif. par contre ce dernier montre que l'effet traitement hydrique est très hautement significatif pour les deux variables.

Tableau 13 : Analyse de la variance(ANOVA) chez les deux génotypes étudiés du blé tendre (caractères morphologiques)

SF: surface foliaire en cm^2 , HP: Hauteur de la plante, CM: carré moyen, DDL: Degré de liberté, F_{obs} : Test de Fischer, Pr : Probabilité

Variables	Effet génotypes (F1)				Effet traitement (F2)				Effet génotypes \times traitement (F1 \times F2)			
	DDL	CM	F_{obs}	Pr > F	CM	DDL	F_{obs}	Pr > F	DDL	CM	F_{obs}	Pr > F
SF/ cm^2	1	21,856	2,4438	0,14396 Ns	1	1035,231	115,7571	0,000	1	86,956	9,7232	0,008 Ns
HP/cm	1	2,64	0,32	0,58139 Ns	1	1925,0	234,07	0,000*	1	0,766	0,0931	0,765 Ns

II.2.1. Effet du stress hydrique sur la surface foliaire

Les témoins ont pris les plus grandes valeurs dans les surfaces foliaires elles sont enregistrés comme suit : $9,5\text{cm}^2$ et $7,8\text{cm}^2$ respectivement les génotypes Waha et Bousselem.

D'autre part les stressés notes des valeurs moins que les témoins Bousselem, et Waha affichent: $5,94\text{ cm}^2$ et $7,47\text{ cm}^2$ successivement. **(Figure 21)**

Tableau 14: Classification des moyennes et groupes de la surface foliaire établis par le test de NEWMAN-KEULS ($\alpha=5\%$), pour les deux génotypes de blé dur testés.

Génotypes de blé tendre	SF (cm^2)		Moyenne	Taux de diminution (%)
	SDH	ADH		
Bousselem	7,8	5,94	6,875B	23,85
Waha	9,5	7,47	8,470A	21,37
Moyenne	8,635 A	6,710 B		

L'analyse de la variance au facteur variété, donne un résultat très significatif.

Le test de **NEWMAN-KEULS** pour le paramètre variétés indique deux groupes :

- Le groupe A : variété Waha qui montre une moyenne de $8,470\text{cm}^2$.
- Le groupe B : variété Bousselem à une moyenne de $6,875\text{ cm}^2$.

L'analyse de la variance au facteur traitement, donne un résultat très significatif.

Le test de **NEWMAN-KEULS** sur le facteur traitement indique deux groupes :

- le premier groupe A : traitement témoin, avec une moyenne de $8,635\text{ cm}^2$.
- Le deuxième groupe B : traitement stressé avec une moyenne de $6,710\text{ cm}^2$.

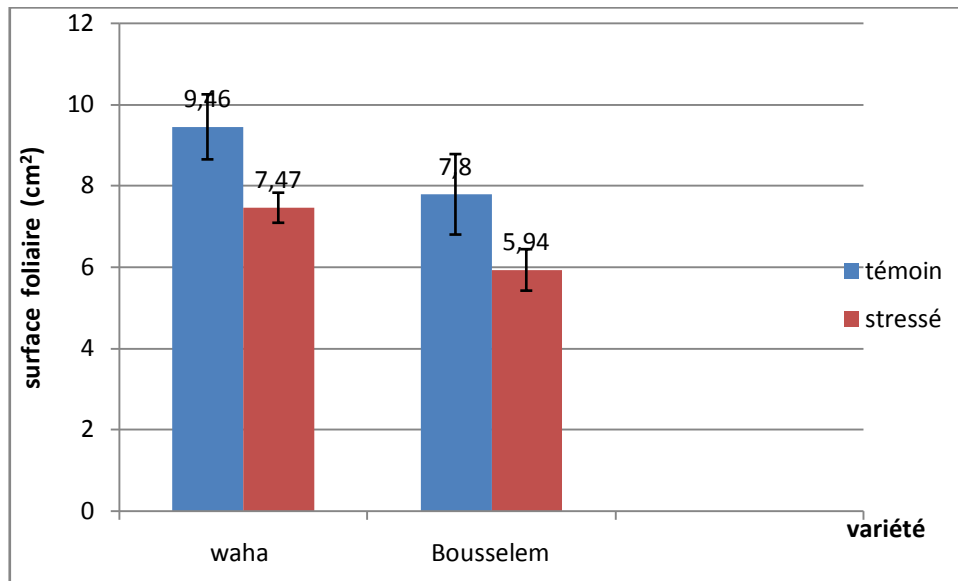


Figure 21 : Evaluation de la surface foliaire des deux variétés de blé dur sous stress hydrique

II.2.2. Effet de stress hydrique sur la hauteur de plante

Dans notre étude on n'observe que les résultats des variétés témoins des deux variétés du blé dur sont augmentés le double que les variétés stressées.

Les résultats montrent que les variétés Waha et Bousselem affichent 35.5 cm et 25.5 cm successivement.

En revanche au 15 % de CC (sous stress) on note une baisse valeur que les variétés témoins.

Les résultats comme suit : Bousselem, et Waha affichent : 14 cm et 11 cm successivement.(Figure 22)

Résultats et Discussions

Tableau 15: Classification des moyennes et groupes de la hauteur de plante établis par le test de NEWMAN-KEULS ($\alpha=5\%$), pour les deux génotypes de blé dur testés.

Génotypes de blé dur	HP (cm)		Moyenne	Taux de diminution (%)
	SDH	ADH		
Bousslem	25,5	14	19,788B	45,1
Waha	32,5	11	22,125A	66,16
Moyenne	29A	12,913B		

L'analyse de la variance au facteur variété, donne un résultat significatif.

Le test de **NEWMAN-KEULS** pour le paramètre variétés indique deux groupes :

- Le groupe A : variété Waha affiche 22,125 cm
- Le groupe B : variété Bousslem affiche 19,788cm.

L'analyse de la variance au facteur traitement, donne un résultat hautement significatif.

Le test de **NEWMAN-KEULS** sur le facteur traitement indique deux groupes :

- le premier groupe A : lot témoin avec une moyenne de 29 cm.
- Le deuxième groupe B : lot stressé avec une moyenne de 12,913 cm.

Résultats et Discussions

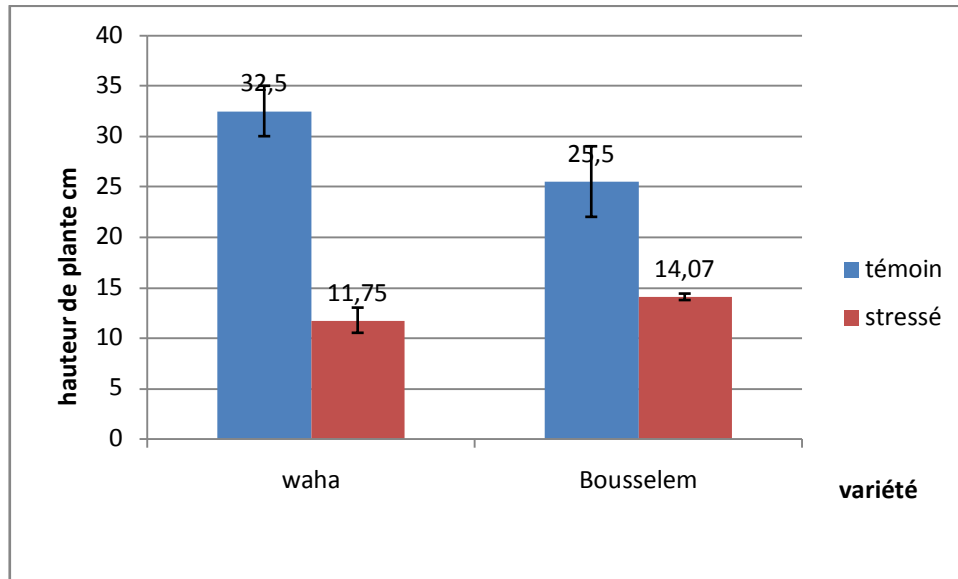


Figure 22 : Evaluation de hauteur des plantes des deux variétés de blé dur sous stress hydrique .

II. Discussions

Notre étude concernant la TRE a révélé une grande variabilité génotypique. Ces résultats trouvent leur confirmation dans les travaux de **Shonfeld et al., 1988** et **Diazperez et al., 1995** qui suggèrent que les géotypes qui arrivent à maintenir une TRE élevée malgré un stress sévère sont des géotypes tolérants. Dans notre étude c'est la variété Arz qui se distingue par une valeur élevée de TRE (cas des blés tendre). Pour le cas des blés durs, Bousselem se positionne en premier devant Waha.

Par ailleurs, nous assistons à une diminution de la teneur relative en eau des feuilles, à l'image de la variété Hidhab qui accuse une valeur de TRE faible par rapport à l'ensemble des variétés étudiées. Ces résultats nous conduisent à conclure que la variété Arz, côté blé tendre et Bousselem côté blé dur s'adapteraient probablement mieux à la sécheresse et pourraient éventuellement être utilisées dans des programmes de sélection.

Le comportement des plantes stressées montre une variabilité dans l'accumulation de la proline. La teneur en proline foliaire réalisée chez les géotypes étudiés, révèle que les plantes stressées réagissent différemment par une augmentation de cette teneur. Cette accumulation permet aux plantes de supporter le manque d'eau par une diminution du potentiel osmotique. Ce phénomène est connu sous le nom d'ajustement osmotique. Il joue un rôle primordial dans la résistance ou la tolérance des plantes à la contrainte hydrique. Dans notre étude, les résultats donnent Arz comme étant la variété qui accumule le plus de proline par rapport à la variété Hidhab. Parallèlement, du côté des blés durs, Waha accumule plus de proline que la variété Bousselem. Ces résultats, quoiqu'ils soient préliminaires, nous autorisent dans ce cas de figure à dire que Waha et Arz sont capables de supporter la sécheresse en ajustant plus ou moins rapidement leur potentiel osmotique avec celui du milieu extérieur de manière à maintenir un gradient de potentiel hydrique entre la plante et le milieu (**Chinnusamy et al. 2004**). En effet, la tolérance au stress hydrique dans le cas d'un abaissement de potentiel

Chapitre II : Résultats et discussions

hydrique s'exprime par un maintien de la turgescence grâce au phénomène d'ajustement osmotique qui revêt un caractère inductible et peut intervenir à tous les stades végétatifs.

On observe également, au cours de notre essai que les teneurs maximales en proline et en sucres solubles les plus élevées sont notées chez la variété Arz (blé tendre).

Il semble exister une certaine proportionnalité entre les teneurs en proline accumulées et celles des sucres solubles. La variété Arz qui accumule le plus de proline est aussi celle qui connaît la plus forte accumulation des sucres solubles et vice versa.

Ces résultats traduisent l'existence d'une connexion entre la voie de la biosynthèse de la proline et l'accumulation des sucres solubles (**Hopkin W. G., 2003**).

L'accumulation de la proline et des sucres considérés comme des osmotocum majeurs qui s'accumulent dans les organes des végétaux et préférentiellement dans les feuilles en cas de stress ont été démontrés chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress (osmotique, hydriques, thermiques) (**Blum, 1996**). Plus le niveau de stress appliqué augmente plus les teneurs en proline et en sucres, deviennent plus marquées (**Savoure et al. 1995**).

Notons également que l'accumulation des sucres (glucose, fructose et même les sucres complexes comme le tréhalose) semble être un moyen efficace adopté par les plantes en cas de stress, afin de résister aux contraintes du milieu. Ces sucres permettent d'entretenir et de protéger plusieurs fonctions physiologiques (photosynthèse, transpiration, croissance et membranes) (**Mouellef., 2010**).

L'étude des caractères morphologiques conduite en conditions contrôlées s'est avérée très riche en informations :

Dans le cas de la surface foliaire, l'effet de la feuille étendard dans des conditions de stress hydrique peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou variété par des

Chapitre II : Résultats et discussions

modifications morphologiques, qui peuvent

éventuellement affecter la partie aérienne et souterraine en réduisant par exemple le nombre de talles et l'enroulement des feuilles (**Slama, 2005**).

La surface foliaire est un déterminisme important de la transpiration. Une des premières réactions des céréales au déficit hydrique est de réduire la surface foliaire (**Lebon et al., 2004**).

Le développement végétatif sous conditions limitantes en eau est fortement perturbé (**Ferryraet et al., 2004**), on note principalement une diminution importante de la taille et de la surface foliaire. Cette diminution est une des réponses des végétaux à la déshydratation, La surface foliaire contribue également à la conservation des ressources en eau, c'est au niveau de cette feuille drapeau ou sont stockés tous les assimilés, ce qui permet la survie de la plante (**Lebon et al., 2004**).

Dans notre étude ayant trait à la surface foliaire, Arz occupe la première place et se caractérise par la plus grande surface foliaire qui est d'ailleurs corrélée positivement avec le taux de proline $r = 0.51$ avec le taux de proline et de sucres comparativement aux autres variétés de blé dur ou de blé

tendre. Cette constatation nous emmène à dire que cette variété est tolérante et pourrait éventuellement être utilisée comme une variété pilote dans les programmes de sélection.

Une paille relativement haute confère à la plante, en cas de stress hydrique, une meilleure capacité de tolérance à la sécheresse. Ce comportement s'expliquerait par des potentiels plus élevés de constitution des réserves glucidiques. Cette contribution de la hauteur du chaume avec les substrats stockés au niveau surtout du dernier entre nœud et du col de l'épi, assure un rendement en grain sous stress (Blum, 1988). Dans les zones semi-arides, la hauteur du chaume serait pertinente pour la sélection de variétés mieux adaptées à la sécheresse. Elle est

Chapitre II : Résultats et discussions

considérée comme le siège de stockage des assimilés transférables vers les grains.

Dans notre étude, Bousselem se caractérise dans les conditions de stress par une hauteur élevée, suivie de Hidhab, waha et en dernière position Arz.

Les variétés Bousselem (blé dur) et Arz (blé tendre) sont d'après cette étude sont plus performantes à tous les niveaux et donc plus tolérantes à la contrainte hydrique comparativement à Hidhab et waha.

Conclusion

CONCLUSION

Dans cet essai, nous nous sommes intéressés à l'étude de quatre variétés de blé dur et tendre sous stress hydrique (15% de la capacité au champ). L'étude a concerné les paramètres physiologiques (TRE), biochimiques (teneur en proline et en sucres solubles) et morphologiques (surface foliaire et hauteur de la plante).

Le déficit hydrique a induit une diminution de la teneur relative en eau (TRE) chez les quatre géotypes testés quelque soit leur origine : locales ou dites à haut rendement. Néanmoins, la variété Arz (blé tendre) et waha (blé dur) se distinguent par une TRE élevée. La réponse biochimique évaluée à travers le processus d'accumulation de proline et des sucres solubles des quatre variétés (Waha, Bousselam, Arz, Hidhab) sous stress hydrique s'est révélée être un critère d'adaptation efficace. Dans notre cas, la variété Arz accumule plus de proline et de sucres solubles que l'ensemble des variétés confondues. Elle est donc la variété la plus tolérante à la contrainte hydrique.

Cette étude montre également que les blés tendres à l'image de la variété Arz n'ont pas les mêmes exigences que les blés durs qui eux ont des besoins élevés en ensoleillement, une faible résistance au froid, aux maladies cryptogamiques, à l'humidité et des rendements moyens en général à ceux des blés tendres.

Référence bibliographique :

Ahn S., JA. Adderso, ME .Sorrells , SD .Tanksley .1993: Homologue relations hips of rice, Wheat and maize chromosomes .Mol.Gen.Genet241.483-490

Al Haklmi A., 1992,-Evolution de la variabilité génétique des caractères d'adaptation : Ji la sécheresse chez les espèces primitives (sauvages et cultivées) de blé tétraploïde. Thèse D.E.A., Montpellier, 166p.

Anonyme., 2002. Conseil international des céréales. International Grains Council. World Grains Statistics: 13-17 p.

Baldy C. 1974. Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques : leur influence sur la production des principales zones céréalières d'Algérie. Document technique, Projet céréales. 152p.

BELHASSENE ., THISD.,MONNEVEUX p, 1995." L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. Cahier d'Agriculture t.251 - 261.

Bensalem et al., 1991.Ben Salem M., Boussem H. &Slama A. 1997. Évaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : recherche de paramètres précoces de sélection. Sixièmes Journées scientifiques du réseau Biotech.-Génie Génétique des plantes, Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF / U R E F). Orsay. Sécheresse. 2 : 75- 83 p.

Bidinger F,R" Witcombe J. R .t 1989. Evaluation of specifie Déshydratation tolérance traits improvement of drought résistance. In drought résistance in céréales F.W.G. Baker of CAB in lemational, 151 -164.

Boyer J. S. 1982. Plant productivity and environment. Sci, New series. 218: 443 - 448 p.

Chaise et al., 2005.Chaise L., Ferla A. J., Honore A. & Moukhli R. 2005. L'impact du changement climatique sur l'agriculture en Afrique. Atelier Changement Climatique. ENPC

Chaker, A. et Brinis, L. (2005). Etude de l'impact de deux chocs thermiques (froid à 10°C et chaleur à 40°C) sur l'intégrité membranaires du blé dur. Céréaliculture N° 44 1ertrimestre, p.30 - 35.

Chellali B. 2007. Marché mondial des céréales : L'Algérie assure sa sécurité alimentaire. <http://www.lemaghrebzd.com/admin/folder01/une.pdf>. (31.05.2008).

Chellali., 2007.(Marché mondial des céréales : L'Algérie assure sa sécurité alimentaire. <http://www.lemaghrebzd.com/admin/folder01/une.pdf>

Clark et al.,2002.Clark J.M., Norvell W.A., Clark F.R. & Buckley T.W., 2002. Concentration of cadmium and otherelements, in the grain of near-isogenicdurumlins. Can. J. Plant Sci./Revue canadienne de phytotechnie. 82 : 27-33 p.

Clark J.M., Norvell W.A., Clark F.R. & Buckley T.W. 2002. Concentration of cadmium and other elements in the grain of near-isogenic durum lines. *Can. J. Plant Sci./Revue canadienne de phytotechnie*. 82 : 27-33 p.

Croston R.P., J.T. Williams (1981). A world survey of wheat genetic resources. *IBRG. Bulletin/80/59*, 37 pages.

Dubcovsky, J. et Dvorak, J. (2007). Genome Plasticity a Key Factor in the Success of Polyploid wheat Under Domestication. *Science* Vol. 316, Issue 5833, 1862 p.

FAO., 2014. FAO., 2017. Perspectives alimentaires. Analyse des marchés mondiales. <http://www.fao.org/010/ah864f/ah864f00.htm>

Feillet, (2000). Feillet P., 2000. Le grain de blé : composition et utilisation. INRA. Paris May L. H., Milthorpe F. L., 1962. Drought resistance of crop plants. *Field Crop Abstr.*, 15 (3), 171-179.

Folkert A. Hoekstra E. Golovina C. Buitink M, 2001. Mechanisms of plant desiccation tolerance. *TRENDS in plant science*. Vol 6. 9: 431-438 p.

Folkert A. Hoekstra E. Golovina C. Buitink M, 2001. Mechanisms of plant Desiccation tolerance. *TRENDS in plant science*. Vol 6. 9: 431-438 p.

GAT EP.H., 1995.- Ecophysiologie du blé. Technique et documentation. Lavoisier, Paris, 351 p.

Gate P, 1995. Ecophysiologie du blé : De la plante à la culture. Lavoisier, Paris. 429 p.

Gate, 1995 .Gate, P. 1995. Ecophysiologie du blé de la plante à la culture. In: *Techniques & Documentation*, p. 429, Paris

Guettouche, R. (1990). Contribution à l'identification des caractères Morpho physiologiques d'adaptation à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse de diplôme d'Agronomie approfondie. Mise en valeur du milieu naturel. ENSAM.

Hopkins W, 2003 . les relations hydriques dans la plante entière. In: *Physiologie Végétale*. Ed. De book & Larcier. Bruxelles. 44-58p.

Jean-Pierre A. Philippe D. Bernard I. Gilles L. Bernard S. François T. Alban T, 2006 . Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA. France. 72 p.

Jeanet R., Croguennec T., Schuck P. & Brulé G. 2006. Science des aliments : Biochimie Microbiologie- Procédés- Produits. V2. Technologie des produits alimentaires. (éd). TEC & DOC. Paris.

Kara, Y. (2000). Etude des caractères morpho-physiologiques d'adaptation à la sécheresse du blé dur et de quelques espèces apparentées, intérêt potentiel de ces espèces pour l'amélioration de ces caractères. Thèse de Doctorat. Université de Constantine.

Laberche, 2004. Larcher W., 2001. Physiologie plant ecologie. 4th edition. Ed. Based on the translation of the third edition. P 350

Laurent H. Sané P, 2007 .Transfert d'eau et d'énergie. In : Bioclimatologie. Concept et application. Ed. Quae. Paris. 246p.

Levitt, J. (1980). Response of plants to environmental stress. Water radiation salt and other stress. Acad. Press. New York Vol. 6, N° 606.

Levy et Feldman, 2002 .Levy, A.A. and Feldman, M. (2002) The impact of polyploidy on grassgenomeevolution. Plant Physiology 130, 1587-1593.

Mac Key, J. (2005). Wheat: Its concept, evolution, and taxonomy. In: Conxita

Madhava Rao K.V., Raghavendra A. S. et Janardhan Reddy K. 2006. Printed in the Netherlands. Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. Springer: 1-14 p.

Mazouz, 2006.Mazouz , L. 2006. Etude de la contribution des paramètres phéno-morphologiques dans l'adaptation du blé dur (*Triticumdurum*Dsf.) dans l'étage bioclimatique semi aride. Mémoire de Magister. DeptAgr, Fac Sci, UHL, Batna, Algérie

MONNEVEUX P., BELHASSEN E., 1996. The diversity of drought adaptation in the wide. Plant Growth Regulation 20, 85 - 92.

Monneveux, P. (1989). Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver. Communication aux journées scientifiques de l'AUPELF, Amélioration des plantes pour l'adaptation en milieu aride. Tunis, 4 - 9 Dec., p. 22.

Monneveux, P. (1991). Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver. in L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. éd. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext, Paris, p. 156 – 186.

Mouhouche et Boulassel, 1997.Mouhouche B. &Boulassel A. 1997. Gestion rationnelle des irrigations des compléments, des cultures de légumineuses alimentaires et céréales. Recherche ,agronomique .INRA.1:21-31p

Nabors M, 2008 .Réponse des plantes aux hormones et aux stimuli environnementaux. In : biologie végétal. Structure, fonctionnement, écologie et biotechnologie. Ed. Pearson Education. France. 247p.

Nachit, M.M. et Ketata, H. (1986) : Breeding strategy for improving durum wheat in Méditerranéen rainfed areas. Proceeding of 4 th international wheat Conference, 2 - 9 May, Rabat, Marroco.

Radhouane L, 2011. Comportement physiologique de deux espèces de tabac au stress salin. Revue des régions aride. Institut des régions arides-Médenine-Tunisie. 5: 3-14p.

Rejeb, M.N. et Ben Salem, M. (1993) : Les divers mécanismes d'adaptation à la sécheresse chez les végétaux supérieurs, cas du blé et du caroubier. Bull. Soc. Sci. Nat. Tunisie ,N°22, p. 49 - 52.

RIOU, C , 1993 L'eau et la production végétale. Sécheresse, 4: 75 - 83.

Ruel, T. (2006). Document sur la culture du blé, édition Educagri

Sakamura T., 1918. Kurze Mitteil ungueber die Chromosome nzahlenund die Verw and tschafts verhaelnitsse der Triticum Arten. Bot. Mag ; Tokyo. 32:151-154

Turner MG, Gardner RH, O'Neill RV. 2001. Land scape Ecology in Theory and Practice. New York: Springer-Verlag. 401 pp.

Bouzerzour H , BENMAHAMMED A ;BENBELKACEM A , ;HAZMOUNE T , ;MIMOUN, H ,BOURMEL S , ;MEKHLouF A. 2000.Stabilité des performance et caractéristique phéno –morphologique de quelque variété de blé dur (triticum durum Desf) issues d' une sélection multi locale ;proc .du premier symposium international sur la Filière blé –Enjeux et stratégies. Alger . 7_9 Février 2000.Pages 178-184.

Benlaribi m . 1990 . Adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (triticum durum Desf) ;étude des caractères morphologique et physiologique , thèse de doctorat d' **etude** I.S.N- université de Constantine ,164 P.

Benlaribi M. , MONNEVEUX PH. ,GRIGNAC P, 1990 Etude des caractères d' enracinement et de leur rôle dans l'adaptation déficit hydrique chez le blé dur (triticum durum Desf) .Agronomie 10 - 305- 322.

KARA Y , ;MARTIN A , ;SOUYERIS I , ; REKIKA D ;MONNEVEUX P ;2000.....Caractéristiques in durum whea t

(T. **turgidum com**

CLARKE .J.M, NORVELL W.A ;CLARK FR BOUCKLEY T .W 2002CONCENTRATIO N

Richards R.A.,and passioura J.B.(1981) .seminal root morphologyand water use of wheat .II.

Genetic variation. crop , Sci ,21 :253-255.

Rhodes D.(1987). Metabolic responses to stress. In :the biochemistry of plants a comprehensive treatise (P.K stumf ,EE Conn, eds). Vol 12 :physiology and metabolisme (DD Davies ed) .academic presse, New york,pp 201-241.

Chopart J.L. (1984).Développement racinaire de quelques espèces annuelles cultivées en Algérie de l'Ouest et résistance à la sécheresse. Les Colloque, la sécheresse en zone intertropicale, Cirao et al, Paris-France,145-154.

Hurd e.a.(1974) :phenotypes and drought tolerance in wheat, Agric, Meteer, 14-39_55.

Duffus C.M., et Binnie J.(1990). Sucrose relationships during endosperm and embryo developement in wheat. Plant physiol, Biochem,. Vol 28 N° 2 :161-165.

Blum A. (1989 a). Osmotic adjustment and growth of barley genotypes under drought stress.Crop. Sci, 29 :230-233.

Schwab K.B.,and Gaff D.F.(1986) :suger and ion content in leaf tissus of sveral drought tolerant plants under water stress .J. Plant physiol, 125 :257-265.

INTITULÉ : Etude de quelques caractères morpho-physiologiques des quelques variétés des blé dur (*Triticum durum* Desf.) et blé tendre (*Triticum aestivum* L.) soumis à la sécheresse.

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en Biologie et physiologie végétale.

Résumé :

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet du stress hydrique et la variabilité de la réponse chez deux variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et deux variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.)

Différents paramètres physiologiques, biochimiques et morphologiques, sous deux niveaux d'irrigation (100 % de CC et 15 %CC) ont été étudiés et évalués.

Les résultats obtenus montrent que le stress hydrique a entraîné une diminution de la teneur relative en eau, une accumulation de la proline et des sucres solubles ainsi qu'une réduction de la surface foliaire et de la hauteur du chaume des céréales.

Les résultats montrent que le stress hydrique provoque les mêmes réponses, en réduisant sensiblement tous les paramètres d'ordre morpho physiologique ou biochimiques chez toutes variétés de blé dur et de blé tendre. Le blé dur s'est avéré plus performant et résiste mieux à la sécheresse que le blé tendre.

Mots clés : Stress hydrique, tolérance, blé dur, blé tendre, ajustement osmotique, capacité au champ, variété stressé, variété témoin.

Mots clés : Stress hydrique, tolérance, blé dur, blé tendre, ajustement osmotique, capacité au champ, variété stressé, variété témoin.

Laboratoire de recherche : N° 01

Jury d'évaluation :

Président du jury : BENLARIBI (Pr - UFM Constantine),
Rapporteur : CHIBANI (MCA - UFM Constantine),
Examineur : KARA.Y (Pr - UFM Constantine).

Date de soutenance : 25/06/2018