



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 Constantine
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département : Biologie et physiologie végétale

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

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Bases végétales

Intitulé :

**L'adaptation au stress hydrique chez le blé dur (*Triticum durum Desf*) : Criblage
*des critères physiologiques et biochimiques***

Présenté et soutenu par : - Bachtarzi Nour Narimane - Bensaad Narimane

Présenté le : 24/06/2015

Jury d'évaluation :

Président du jury : Belaribi Moustafa (professeur- UFM Constantine)

Rapporteur : Zoghmar Meriem (maitre-assistante - UFM Constantine).

Examineurs : Boucharebe Radia (maitre-assistant - UFM Constantine).

*Année universitaire
2014 – 2015*



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 Constantine
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة
كلية علوم الطبيعة و الحياة

قسم :..... : Département

مذكرة التخرج للحصول على شهادة الماستر
ميدان : علوم الطبيعة و الحياة
الفرع : علوم البيولوجيا
التخصص : بيولوجيا و فيزيولوجيا النبات

عنوان البحث :

بتاريخ : جوان 2014

من أعداد الطالب (ة) :

لجنة المناقشة :

رئيس اللجنة : الاسم و اللقب (الدرجة // الجامعة)
المشرف : الاسم و اللقب (الدرجة // الجامعة)
الممتحنون : الاسم و اللقب (الدرجة // الجامعة)

السنة الجامعية : 2014 - 2015

Remerciements

*Je remercie avant tout ALLAH tout puissant,
de m'avoir guidé toutes les années d'étude et
m'avoir donné la volonté, la patience et le
courage pour terminer ce travail.*

*J'adresse l'expression de mes très vives
gratitudes et respects à mon encadreur,*

Madame

*Zoghmar Meriem pour son soutien, pour ses
conseils utiles et sa gentillesse et pour ses
appréciations sur ce travail*

*Je tiens également à remercier tous ceux et
celles qui m'ont aidé dans la réalisation de ce
travail.*

*Enfin, ce travail n'aurait pas été mené à terme
sans les concessions et les encouragements de
mes parents auxquels je dis tout simplement
merci.*

Remerciements

*Tout d'abord, nous tenons à remercier DIEU, notre
créateur pour nous*

avoir donné de la force à accomplir ce travail.

*Nous remercions vivement notre encadreur : M^{me}
Zoghmar*

Meriem pour son

aide, sa compréhension et ses conseils.

Nous tenons à remercier aussi les membres du jury Mr

Belaribi Moustafa et M^{me}

*Bouchareb Radia pour l'honneur qu'ils nous ont fait en
acceptant de juger notre travail.*

Dédicace

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, qui a oeuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, Maman que j'adore.

A mon exemple éternel, qui peut être fière et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte ses fruits ; Merci papa pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Que Dieu leur procure une bonne santé et longue vie.

A mon frère Sid ali ,mes sœurs Meriem et Souheila et ma meilleure amie Sabrina qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés(Norita,Kijou,Ninifa,Imene,Bilél,Mohamed,Lokman),Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

NARIMENE

Liste des abréviations

- 1- **I.TG.C** : Institut Technique des Grands Culture
- 2- **F.D.P.S** : Ferme de Démonstration et Protection de Semences
- 3- *-non fournis
- 4- **PGM** : Poids de milles graines
- 5- **TRE** : la teneur relative en eau
- 6- **PROL** : teneur en proline
- 7- **SUCR** : teneur en sucres solubles
- 8- **NO₃⁻** : teneur en nitrate
- 9- **Pf** : poids frais
- 10- **Ps** : poids sec
- 11- **Pr** : poids de réhydratation
- 12- **Do** : densité optique
- 13- **FAO** : Food and Agriculture Organization.
- 14- **S**: stressés.
- 15- **sec** : seconde
- 16- **T** : témoin
- 17- **Mg**: milligram
- 18- **Ml**: millimeter
- 19- **Rpm** : rotation par minute
- 20- **mM** : millimol
- 21- **MT**: miles tones
- 22- **URSS**: union des république socialiste soviétiques
- 23- **Mq**: milles quinto
- 24- **Kg**: kilo grame
- 25- **kg/ha**: kilo grame par hectare
- 26- **MPa** :
- 27- **ABA**: acide absicique
- 28- **Glu**: acide glutamique
- 29- **Orn**: ornisitole
- 30- **P5CR**: 1-pyrroline-5-carboxylate synthétase
- 31- **Icarda**: international center for agricultural research in the dry areas
- 32- **CH₃COOH**: acide acétique
- 33- **C₆H₆O₄**: ninhydrine
- 34- **H₃PO₄, d=1,7**: acide ortho phosphorique
- 35- **°C** : degré Celsius
- 36- **MADR** : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural
- 37- **U**: Micro
- 38- **SAU** : Superficie Agricole Utile)
- 39- **PNDA** : Plan National de Développement Agricole

Liste des figures

- Fig. 01:** Les différents stades de développement du blé9
- Fig. 02:** Production de l'Algérie au cours de l'année 2012.....12
- Fig. 03:** évaluation de la teneur en eau des six variétés de blé dur soumis a un niveau de stress hydrique modéré (20 jours d'arrêt d'arrosage).....36
- Fig. 04:** L'évaluation de la teneur en proline des six variétés de blé dur soumis a un niveau de stress hydrique modéré (20 jours d'arrêt d'arrosage).....39
- Fig. 05:** L'évaluation de la teneur en proline des six variétés de blé dur soumis a un niveau de stress hydrique sévère (1 mois d'arrêt d'arrosage).....42
- Fig. 06:** L'évaluation de la teneur en sucre des six variétés de blé dur soumis a un niveau de stress hydrique sévère (1 mois d'arrêt d'arrosage).....44
- Fig. 07:** L'évaluation de la teneur en sucre des six variétés de blé dur soumis a un niveau de stress hydrique modéré (20 jours d'arrêt d'arrosage).....47.

Liste des planches

Planche. 01	
.....	28
Planche. 02	
.....	30
Planche. 03	
.....	33
Planche. 04	
.....	35

Liste des tableaux

Tableau 01 : Analyse de la variance ANOVA Teneur en eau (stress modéré).....	38.
Tableau 02 : Analyse de la variance ANOVA proline (stress modéré)	40
Tableau 03 : Analyse de la variance ANOVA teneur en proline (stress sévère).....	43
Tableau 04 : Analyse de la variance ANOVA teneur en sucres solubles (stress sévère)	45
Tableau 05 : Analyse de la variance ANOVA teneur en sucre solubles (stress sévère).....	48

Liste des Annexes

Annexe01 : Evolution des rendements du blé dur par rapport aux surfaces récoltées	68
Annexe02 : Principaux caractères impliqués dans les mécanismes de tolérance à la sécheresse (Turner et al., 2001).....	69
Annexe 03 : les caractères et origines des différentes variétés utilisées.....	70
Annexe 04 : Analyse de la variance pour la TRE	73
Annexe 05 : analyse de la variance pour la proline (stress modéré)	74
Annexe 06 : Analyse de la variance pour la proline (stress sévère).....	75
Annexe 07 : Analyse de la variance pour la teneur en sucre (stress modéré)	76
Annexe 08 : Analyse de la variance pour la teneur en sucre (stress sévère)	77

INTRODUCTION.....	1
--------------------------	----------

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

1. Généralités sur le blé dur.....	4
1.1. Description générale de la plante.....	4
1.2 Origine et histoire du blé.	5
1.2.1. Classification génétique et botanique du blé dur.....	6
1.3. Cycle de croissance et de développement du blé.....	7
1.4. Importance et production du blé dans le monde et en Algérie.....	9
1.4.1. Dans le monde	9
1.4.2. En Algérie	10
❖ Stratégie de production	10
❖ Importation et consommation	13
2. Effet du stress hydrique sur le développement des plantes.....	14
2.1. Le rôle de l'eau dans la plante.....	14
2.2. Notion de stress.....	14
2.2.1. Le stress hydrique	15
2.3. Influence du stress hydrique ur le rendement du blé dur.....	15
3. Mécanismes d'adaptation à la sécheresse.....	16
3.1. Adaptations phénologiques.....	17
3.2. Adaptations morphologiques.....	18
3.2.1. Système racinaire.....	18

3.2.2. Surface foliaire.....	19
3.2.3. Glaucescence, pilosité, cire et barbes.....	19
3.3. Adaptations physiologiques.....	20
3.3.1 Régulation stomatique.....	20
3.3.2. Potentiel hydrique et ajustement osmotique.....	21
4. Mécanisme d'adaptation biochimique en condition de stress hydrique...	24
4. 1. Rôle de la proline	24
4. 2. Rôles des sucres solubles.....	25

CHAPITRE II : Matériel et méthodes

1. Matériel végétal.....	27
2. Conduite de l'essai	27
2.1 : Essai sous serre.....	27
2.2. Les paramètres du statut hydrique et physiologiques	28
2.2.1 : La teneur relative en eau	28
3.3 : Les paramètres biochimiques	31
3.3.1 : Dosage de la proline	31
a-L'extraction.....	31
b- La coloration.....	31
c-La séparation.....	32
d- La déshydratation.....	32

e- La lecture.....	32
3.3.2. Dosage des sucres solubles.....	34
a) L'extraction	34
b) La coloration	34
c) La lecture	34

Chapitre III : Résultats et Discussions

1. Résultats.....	36
1.1. Paramètres physiologiques	36
1.1.1. Effet du stress hydrique sur la teneur relative en eau	36
.	
1.2. Paramètres biochimiques	39
1.2.1. Variation de la teneur en proline ($\mu\text{g}/100 \text{ mg MS}$).....	39.
1.2.2. Variation de la teneur en sucres solubles ($\mu\text{g}/100\text{mg MS}$).....	44
2. Discussions	50
2.1. Paramètres physiologique.....	50
2.1.1. La teneur en eau	50.
2.2. paramètres biochimiques	50
2.2.1. la Teneur en proline.....	50
2.2.2. La teneur en sucres solubles.....	51

3. Les paramètres physiologiques et biochimiques	52
4. Discussion générale	53
Conclusion et Perspectives.....	55
Références Bibliographiques.	57.
Annexes	68

L'adaptation au stress hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf) :

Criblage des critères physiologiques et biochimiques

Résumé :

L'objectif de ce travail est d'étudier la variabilité des réponses au stress hydrique chez six variétés de blé dur d'origine diverses locales et introduites (*Triticum durum* Desf) : Bousselam, Bidi 17, Capeiti 8, Heider, MBB et Waha. Nous avons étudié quelques paramètres physiologiques et biochimiques à savoir la TRE ainsi que la teneur en proline et en sucres solubles sous deux niveaux de stress (sévère et modéré). Les résultats obtenus montrent que le stress hydrique a entraîné une diminution de la teneur relative en eau. Cependant une accumulation de la proline et des sucres solubles sont enregistrées chez chacune des variétés mais à des taux qui diffèrent, les variétés locale comme MBB montre une bonne résistance au stress hydrique par accumulation de taux élevé de proline contrairement à Waha et Bousselam qui eux accumule les sucres solubles, Bidi 17 montre une accumulation des deux osmolytes mais a des taux moindre, la variété introduite Heider résiste au stress en accumulent les sucres solubles plus que la proline contrairement à Capeiti 8 qui conte a lui accumule beaucoup plus la proline, la teneur en eau varient d'une variété a une autre et on remarque que les variétés introduites ont une meilleur teneur en eau que les variétés locales a l'exception de Bidi 17 qui compte à lui garde une bonne teneur en eau même en condition de stress une bonne teneur en eau .

Cette étude nous entraîne à privilégier l'accumulation de la proline et des sucres solubles comme des solutés osmorégulateurs et comme des critères de choix pour le criblage d'un grand effectif chez le blé dur. Les résultats ont montré que le stress hydrique provoque de différents mécanismes de réponse chez les différentes variétés

Mots clés : Blé dur, Stress hydrique, tolérance, TRE, Proline, Sucres solubles.

ملخص :

الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير الإجهاد المائي و التغيير
استجابة في ستة أصناف من القمح ال صلب Bousselam ، BIDI 8 17 ، Capeti ، EIDER ،
MBB و WAHA. درسنا بعض القياسات الفسيولوجية و البيوكيميائية في مستويين من الإجهاد الحاد
والمعتدل. و النتائج المتحصل عليها بـ يـ نـ ت أن الإجهاد المائي أدى إلى انخفاض المحتوى المائي
النسبي ، وسجل تراكم البرولين و السكريات القابلة للذوبان وأظهرت النتائج أن الإجهاد المائي يسبب
آليات مختلفة للاستجابة بـ إذ تلاف الأذواع

المسـد تـعملـة

كلمات البحث: الإجهاد المائي ، والتسامح، و القمح القاسي، و علم وظائف الأعضاء والكيمياء الحيوية .

The adaptation to water stress in durum wheat (*Triticum durum* Desf):**Screening of physiological and biochemical criteria****Abstract:**

The objective of this work is to study the variability of responses to water stress in six durum varieties of local and introduced various origin (*Triticum durum* Desf) Bousselam, Bidi 17 Capeiti 8, Heider and MBB Waha. We studied some physiological and biochemical parameters namely the TRE and the proline content and soluble sugar in two stress levels (severe and moderate). The results show that water stress resulted in a decrease of the relative water content. However, an accumulation of proline and soluble sugars stored with each variety but at rates that differ, the local varieties as MBB shows good resistance to water stress by high rate of accumulation of proline unlike Waha and Bousselam which accumulates them soluble sugars, Bidi 17 shows an accumulation of osmolytes but has two lower rate, the introduced variety Heider resists stress in soluble sugars accumulate more than proline unlike Capeiti 8 which tale it accumulates much proline, content water vary from one variety to another, and we note that the introduced varieties have better water content than the local varieties with the exception of 17 which Bidi him good water content.

This study leads us to favor the accumulation of proline and soluble sugars as osmoregulatory solutes and as selection criteria for the screening of a large workforce in durum wheat. The results showed that water stress causes different response mechanisms in different varieties

Keywords: Durum wheat, Water stress, tolerance, TRE, Proline, soluble sugars.

I n t r o d u c t i o n

INTRODUCTION

Les céréales constituent une part importante des ressources alimentaires de l'homme et de l'animal (Karakas et *al.*, 2011). Parmi ces céréales, le blé dur (*Triticum durum* Desf.) compte parmi les espèces les plus anciennes. Il constitue une grande partie de l'alimentation de l'humanité, d'où son importance économique.

Le blé est cultivé principalement dans les pays du bassin Méditerranéen, où le climat est celui des régions arides et semi-arides, là où l'agriculture est dans la plus mauvaise passe. Le climat se caractérise par l'augmentation de la température couplée à la baisse des précipitations ; par ailleurs la désertification et la sécheresse tuent les sols agricoles (Abeledo et *al.*, 2008).

En Algérie, par l'importance des superficies occupées et par son poids dans la sécurité alimentaire, le secteur céréalier occupe une place importante dans la structure de la production agricole et se détache par sa dimension socio-économique. Les emblavures réservées aux céréales (blé dur, blé tendre, orge et triticale) ont une moyenne de 1,5 million d'hectares. Le blé dur représente à lui seul 46,6% du total de ses emblavures (Slama et *al.*, 2008).

Notre pays est un grand importateur de blé selon le classement de la FAO. Cette situation risque de se prolonger durant plusieurs années, faute de rendements insuffisants et de la baisse de consommation (Chellali., 2007).

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).

Les stress environnementaux, naissent de la fluctuation des facteurs abiotiques (sécheresse, salinité, basse température). Ils affectent les conditions de croissance et le rendement végétal. Les végétaux perçoivent les signaux environnementaux par le développement de différents mécanismes de réponse adaptés à chaque genre de stress. Pour ces raisons des études visant à améliorer la réponse des plantes cultivées dans différents stress fleurissent (Bouchelaghem., 2012).

Par ailleurs, le stress perturbe les structures normales et la coordination des processus variés au niveau moléculaire et cellulaire de l'organisme entier. (Larcher., 2001).

Parmi ces stress, on cite le stress hydrique qui limite sérieusement la croissance des plantes ainsi que la productivité végétale (Wang et al., 2003).

Un déficit en eau peut produire une carence par défaut d'apport de certains des éléments important au développement végétal et donc affecte toutes les fonctions de la plante (Mouna et al., 2010).

Les éléments absorbés interviennent tous dans la régulation de la pression osmotique pour maintenir une turgescence suffisante des cellules. Ceci a été démontré quand la sécheresse du sol augmente et que le potentiel hydrique des feuilles diminue (Mouna et al., 2010).

L'adaptation au déficit hydrique, résulte d'une série d'événements intégrés à divers niveaux physiologiques et biochimiques, qui aident à la rétention ou à l'acquisition de l'eau et à la protection des fonctions de la plante. Pour élaborer des programmes de sélection d'espèces et de variétés de blé tolérantes au stress hydrique, il est nécessaire de mieux connaître la physiologie de la tolérance de cette espèce dans ces conditions.

Selon (Jing et Chang, 2003) et (Kasuga et al., 1999) cette sélection est complexe en raison de la variabilité du déterminisme génétique des caractères impliqués et de la forte fluctuation, d'une année sur l'autre. La sélection variétale est principalement empirique ou

basée sur une étude préalable des mécanismes morphologiques, physiologiques et biochimiques parmi ces mécanismes, on nomme l'accumulation de la proline et celle des sucres solubles.

L'objectif de ce travail est de comparer le comportement de six variétés de blé dur sous stress hydrique ; et ceci par l'étude de quelques paramètres physiologiques et biochimiques. Notre mémoire est présenté en trois chapitres :

- Le Chapitre I, est une synthèse bibliographique sur le blé dur, le stress hydrique et les mécanismes physiologiques et biochimiques de la tolérance des plantes au stress hydrique.

- Le Chapitre II est l'ensemble du matériel et des méthodes utilisés pendant notre expérimentation.

- Le Chapitre III est l'ensemble des différents résultats et discussions des paramètres étudiés

Chapitre I

Synthèse Bibliographique

1. Généralités sur le blé dur

1.1. Description générale de la plante

Il s'agit d'une graminée annuelle de hauteur moyenne et dont le limbe des feuilles est aplati. L'inflorescence en épi terminal, se compose de fleurs parfaites (Soltner, 1998).

Le système racinaire comprend des racines séminales produites par la plantule durant la levée, ainsi que des racines adventives qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent (Bozzini, 1988). Le blé possède une tige cylindrique, dressée, habituellement creuse et subdivisée en entrenœuds. Certaines variétés possèdent toutefois des tiges pleines. Le chaume (talles) se forme à partir de bourgeons axillaires aux nœuds à la base de la tige principale (Bozzini, 1988). Le nombre de brins dépend de la variété, des conditions de croissance et de la densité de plantation (Clark et al., 2002).

Comme pour d'autres graminées, les feuilles de blé dur se composent d'une base (gaine) entourant la tige, d'une partie terminale qui s'aligne avec les nervures parallèles et d'une extrémité pointue. Au point d'attache de la gaine de la feuille se trouve une membrane mince et transparente (ligule) comportant deux petits appendices latéraux (oreillettes) (Bozzini, 1988). La tige principale et chaque brin portent une inflorescence en épi terminal.

L'inflorescence du blé dur est un épi muni d'un rachis portant des épillets séparés par de courts entrenœuds (Soltner, 1998). Chaque épillet compte deux glumes (bractées) renfermant de deux à cinq fleurs distiques sur une rachéole. Chaque fleur parfaite est renfermée dans des structures semblables à des bractées, soit la glumelle inférieure (lemma ou

lemme) et la glumelle supérieure (paléa). Chacune compte trois étamines à anthères biloculaires, ainsi qu'un pistil à deux styles à stigmates plumeux.

À maturité, le grain de pollen fusiforme contient habituellement trois noyaux. Chaque fleur peut produire un fruit à une seule graine, soit le caryopse (Bozzini, 1988). Chaque graine contient un large endosperme et un embryon aplati situé à l'apex de la graine et à proximité de la base de la fleur (Soltner, 1998).

1.2. Origine et histoire du blé

L'histoire de l'homme est intimement liée à celle des céréales qu'il a très tôt appris à domestiquer, cultiver et sélectionner (Bonjean et Picard, 1991). Ces dernières sont considérées comme la base des grandes civilisations, car elles ont constitué l'une des premières activités agricoles, fournissant un moyen d'alimentation régulier, autour duquel l'activité humaine pouvait s'organiser. C'est ainsi que les civilisations européennes et moyen-orientales se sont construites autour du blé, celles de l'Extrême-Orient autour du riz, celles des peuples amérindiens autour du maïs et celles d'Afrique noire autour du mil (Anonyme 2007).

Le blé dur semble être développé dans le bassin méditerranéen depuis le néolithique (Zohary et Hopf, 1994). Son aire de culture actuelle couvre les parties chaudes et sèches du moyen orient, de l'Afrique du Nord, de l'ex URSS, de l'Europe méditerranéenne et les grandes plaines de l'Amérique du Nord (Elias, 1995).

La découverte du blé remonte à 15000 ans avant Jésus-Christ dans la zone du croissant fertile au proche Orient. C'est à cette époque que des nomades commencent à ramasser une plante sauvage de la famille des graminées proche de notre blé actuel : l'Engrain: (*Triticum monococcum* L), appelé également « petit épeautre » ou locular. Celui-ci sera domestiqué par l'homme entre 9500 et 8500 ans avant Jésus-Christ (Feillet, 2000). Cette plante a quasiment

disparu à ce jour, toutefois certains spécimens sont encore conservés par les scientifiques afin d'en préserver le patrimoine génétique. (Feldman, 1976 ; CIC, 2000 ; Nishitani *et al.*, 2002 ; Shuang *et al.*, 2002 ; Mosiniak *et al.*, 2006).

L'amidonnier (*Triticum dicoccum*) représente le deuxième stade d'évolution vers le blé actuel, (Nishitani *et al.*, 2002 ; Shuang *et al.*, 2002). Il est issu du croisement de l'en grain et de diverses plantes lui étant apparentées. C'est en fait l'ancêtre direct du blé dur qui domine après de multiples mutations naturelles du blé tendre.

Le blé est la céréale la plus produite au monde. La facilité avec laquelle il peut être produit (il s'adapte à des sols et des climats variés) et l'existence de variétés adaptées à différents milieux et résistantes à de nombreuses maladies, permettent de le cultiver dans un large éventail de pays.

Selon qu'il s'agisse de blé d'hiver ou de printemps, la période de plantation dans l'année est différente. Les premières sont plantées de septembre à novembre voire décembre, dans l'hémisphère nord et sont récoltées à compter du mois de juin. Pour les secondes, les semis se font au cours du printemps et sont récoltés vers la fin de l'été ou le début de l'automne (Avril, Septembre, Octobre).

1.2.1. Classification génétique et botanique du blé dur

Le blé appartient à la famille des graminées (Gramineae = Poaceae), qui comprend plus de 10000 espèces différentes (Mac Key, 2005). Plusieurs espèces de ploïdie différentes sont regroupées dans le genre *Triticum* qui est un exemple classique d'allo polyploïdie, dont les génomes homologues dérivent de l'hybridation inter-espèces appartenant à la même famille (Levy et Feldman, 2002).

Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) est une espèce allo tétraploïde ($2n = 28$, **AABB**) qui a pour origine l'hybridation suivie par un doublement chromosomique entre *Triticum Urartu* (génomme **AA**) et une espèce voisine de l'*Aegilops* (d'après Feillet, 2000)

La classification botanique du blé dur est faite selon : (Prats, 1960 ; Créte, 1965 ; Feillet, 2000 et Huang *et al.*, 2002)

Embranchement : Spermaphytes

Sous Embranchement : Angiospermes

Classe : Monocotylédones

Ordre : Poales

Famille : Poaceae

Sous-famille : Festucoideae

Tribu : Triticeae

Sou-Tribu : Triticineae

Genre : *Triticum*

Espèce : *Triticum durum* Desf.

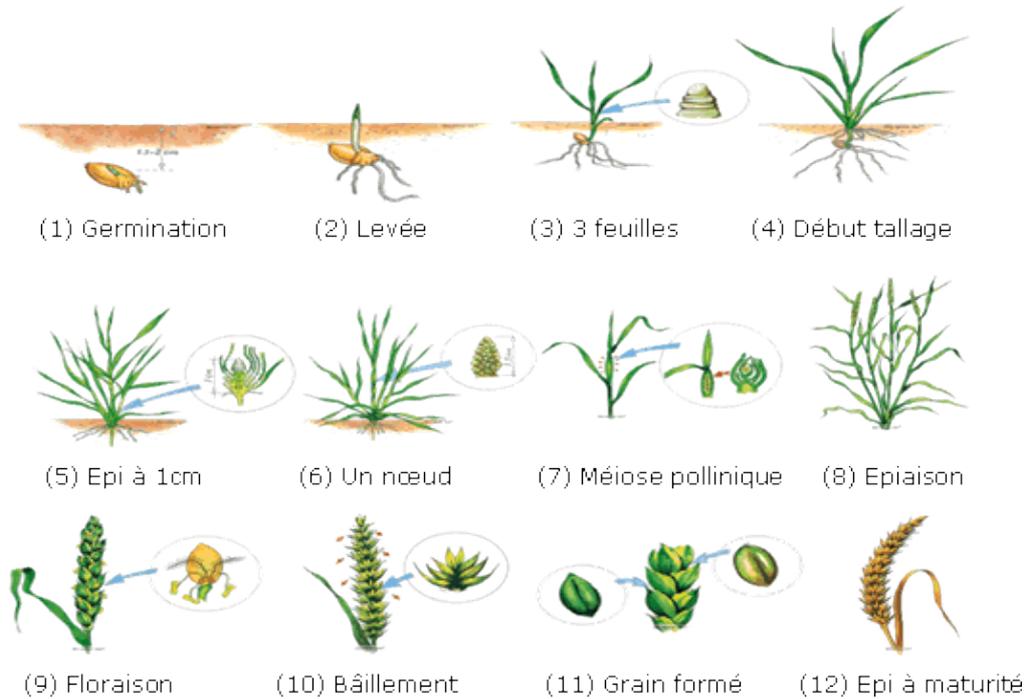
1.3. Cycle de croissance et de développement du blé

Les blés sont des monocotylédones, critère qui détermine notamment le type de germination ainsi que l'architecture et le type de croissance de la plante. Les blés se développent dans la première partie de leur cycle sous une forme herbacée. Ce terme signifie que les céréales se présentent sous la forme d'un ensemble de feuilles qui se développent toutes à partir de la même base, le plateau de tallage. Par la suite la tige principale commence à se développer ainsi que les tiges secondaires.

De nouvelles feuilles apparaissent alors le long de la tige principale avec des points d'insertion différents que l'on appelle des nœuds. Enfin l'épi se développe, grossit et la floraison a lieu lorsque l'épi est pleinement développé. A la suite de la floraison l'appareil foliaire se dégrade et devient sénescet alors que les grains grossissent. Dans la dernière partie du cycle les grains perdent une grande partie de leur eau et acquièrent leur dureté définitive.

Le cycle des blés peut donc se décomposer en deux phases majeures ; une phase d'élaboration de l'appareil végétatif allant de la germination jusqu'à la floraison, et une phase de développement du grain débutant à la floraison et se terminant à la maturité physiologique la première phase correspond à l'accumulation de biomasse et d'azote via l'absorption d'eau, d'azote du sol et l'activité photosynthétique. Cette phase correspond également au développement de l'épi et des épillets. Durant cette phase se détermine le nombre potentiel de grains par épis à travers le nombre d'épillets. (Gate, 1995) (**Figure 01**)

Au cours de la deuxième phase, les grains se développent (embryogenèse et remplissage du grain) et l'appareil foliaire se dégrade. L'azote et le carbone des feuilles qui se dégradent (on dit qu'elles deviennent sénescetes) sont remobilisés vers le grain. Environ 60% de l'azote et de carbone présent dans le grain à maturité provient de cette remobilisation. Le complément provenant de l'assimilation tardive de l'azote du sol. Cette phase post floraison voit donc l'élaboration progressive des grains à travers leur prise de volume (Barbottin *et al.*, 2005).



Source : blé hybride HYN0 (onglet "le blé en général")

Figure 01 : Les différents stades de développement du blé

1.4. Importance et production du blé dans le monde et en Algérie

1.4.1. Dans le monde

Le blé est la première céréale échangée à travers le monde. Face à une explosion de la consommation mondiale (plus de 100 kg par an et par habitant selon la CNUCED, 2008) et la stagnation de la production, les prix ont flambé ces dernières années, créant une situation des plus tendues sur le marché.

Le blé dur, est l'une des céréales les plus employées dans l'alimentation de l'homme et des animaux (Cheftel .J.C et Cheftel. H, 1992). 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).

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 4 et 3,5 millions de tonnes métriques respectivement (Anonyme, 2002).

1.4.2. En Algérie

- **Stratégie de production**

L'analyse de la filière du blé dur en Algérie constitue une approche de l'économie agro-alimentaire. Elle consiste à étudier les phases du produit céréalier depuis son approvisionnement par les agriculteurs jusqu'à sa consommation finale. Le blé occupe une place très importante dans la structure spatiale de l'activité agricole.

Il occupe environ 60% des superficies céréalières emblavées qui représentent environ 45% de la superficie agricole utile. Actuellement, la superficie moyenne du blé se situe à 1.230.601 ha pour le blé dur (**Tableau 1-Annexe 1**). La filière blé, en Algérie, est très fortement dépendante du marché international pour ses importations de matières premières.

La production des céréales en Algérie présente une caractéristique fondamentale depuis l'indépendance à travers l'extrême variabilité du volume des récoltes. Cette particularité témoigne d'une maîtrise insuffisante de cette culture et de l'indice des aléas climatiques (**Figure02**). Cette production est conduite en extensif et à caractère essentiellement pluvial. Il est donc, facile de prédire qu'elle ne pourrait satisfaire les demandes d'une population qui, dépassant actuellement 36 millions d'habitants, est potentiellement et traditionnellement consommatrice de blé.

Une nouvelle politique agricole a été entreprise lors de la campagne agricole 2000-2001 à savoir le Plan National de Développement Agricole (PNDA). Concernant la filière

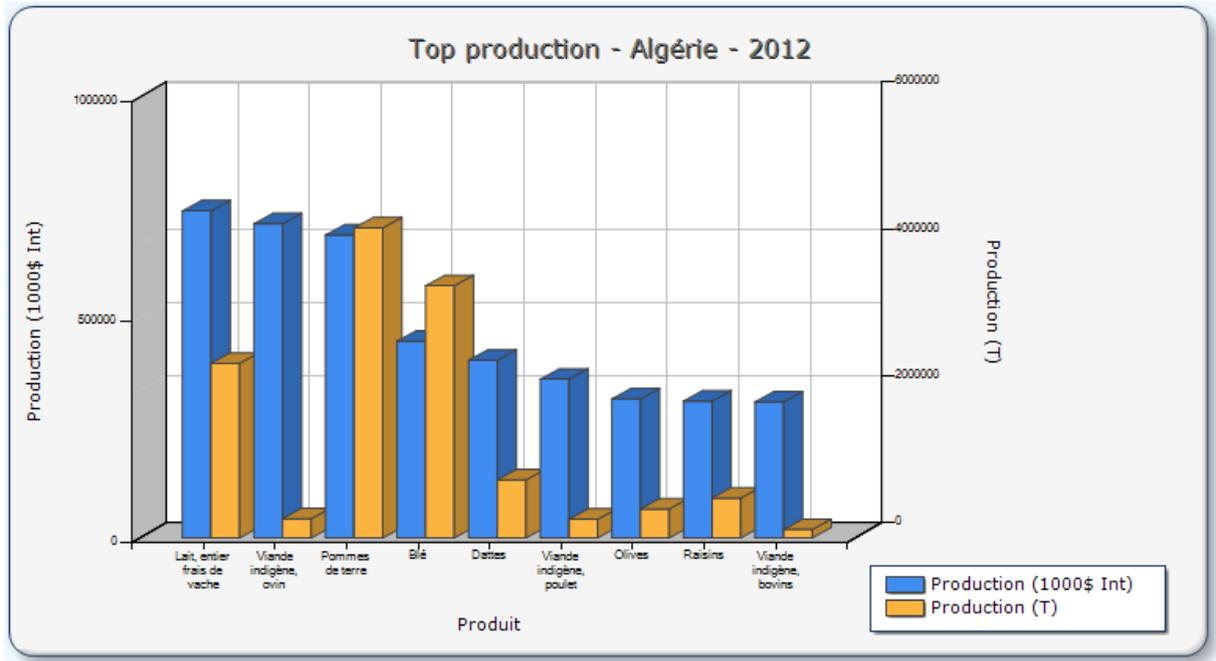
céréalière, le soutien comprend principalement l'action d'encadrement, d'appui technique, de la multiplication des semences et de la collecte des blés de consommation et leurs semences.

Malgré une amélioration substantielle des volumes de blés collectés, les superficies dédiées à la culture des blés ont significativement baissé, alors que les rendements et la production en blé ont évolué de manière erratique. Les raisons de cette stagnation sont nombreuses : une pluviosité capricieuse, la chute de grêle, les inondations et l'apparition de certaines maladies, notamment la rouille que les agriculteurs ne savent pas traiter. La conséquence en a été un accroissement des importations et une baisse de la production des blés locaux collectés dans l'approvisionnement du marché interne.

Des études faites par la direction des statistiques agricoles et des systèmes d'informations ont abouti aux constatations suivantes :

- ❖ La production du blé dur connaît une stabilité relative durant la période allant de 1980 à 1990 avec une moyenne de 7.07 M q correspondant à un rendement moyen de 7.5 quintaux par hectare ;
- ❖ Ensuite elle a sensiblement augmenté entre 1991 à 2003 avec une moyenne de 11.5 Mq et un rendement de 11 quintaux par hectare. L'année 2003 a enregistré un bon rendement avec 18 quintaux par hectare.
- ❖ Bien que le calcul des rendements ne prenne en compte que les superficies récoltées, on le trouve faible et surtout très aléatoire.

Comparativement à la moyenne mondiale, qui est de 29 q/ha pour 2004, le rendement du blé algérien n'est, pour les meilleures années, que 50% de la moyenne mondiale. Il est en moyenne de 10,5 q/ha, (parmi les plus faibles au monde). (Kellou, 2010).



Source la FAO

Figure 02 : Production de l'Algérie au cours de l'année 2012

La faiblesse relative des niveaux de rendements peut être expliquée par l'absence de pluies depuis les mois d'avril et de mai à l'origine d'un stress hydrique précoce et généralisé coïncidant avec la phase critique des céréales, ainsi que la préparation sommaire du sol avec des outils inadaptés et à un étalement des semis au-delà des délais techniques requis.

Les contraintes qui sont à l'origine de la déficience de la production de céréales sont essentiellement naturelles, liées aux conditions et aux accidents climatiques, techniques dues aux faiblesses qualitatives et quantitatives des semences, aux défaillances d'utilisation de fertilisants et l'absence de vulgarisations foncières telles que le statut de la terre, la dimension des exploitations, le morcellement et la localisation des parcelles et économiques induites par le crédit et le financement qui pénalise le développement de la céréaliculture dans un contexte de rapport céréales-élevage défavorable à la céréaliculture

- **Importation et consommation**

La structure de nos importations de céréales, les blés dur et tendre représentent plus de 70% du total des céréales en moyenne, en raison de la forte demande sur le marché national. Les quantités de blé importées ont été multipliées par plus de 10 entre 1961 et 2004 (de 442000 t à 5 millions de t). La facture des achats de blé à l'étranger a dépassé 1 milliard de dollars en 2004.

Cette facture est influencée d'une part, par les volumes importés qui fluctuent dans des proportions importantes sur une courte période (par exemple +32% entre 2001 et 2002), en fonction de la récolte intérieure, d'autre part les variations de prix sur le marché international (+36% entre 2000 et 2005), lui-même piloté par le CBOT (*Chicago Board of Trade*). La sensibilité de la filière algérienne du blé à l'environnement économique extérieur est donc très importante. (Bencharif et Rastoin, 2007).

Durant les années de 1995 à 2005, le marché Algérien a absorbé, en moyenne annuelle, 4.244.903 tonnes de blés dont 70,44% de blé dur, soit 2.990.265 tonnes représentant une valeur de 858 millions de dollars, dont 60.36% de blé dur, soit 578 millions (Chahat 2007)

Concernant les blés, dérivés et leurs poids dans les régimes alimentaires de l'Algérien ne semblent pas diminuer, cela d'autant moins que les valeurs nutritionnelles refuges, dont les dérivés de blé sont porteuses, ont démontré qu'elles constituaient un antidote efficace face à la diminution importante des revenus (baisse du pouvoir d'achat).

Sur la base des tendances constatées en matière de croissance démographique et de modèle de consommation, trois scénarios ont ainsi été construits. Le premier, optimiste, prévoit une régression annuelle de 1,5% de la demande en blé dur accompagnée d'une

progression de 0,5% de la demande en blé tendre avec une consommation par tête de 174,8 kg. Le second scénario pessimiste, prévoit une stabilisation du taux de croissance démographique actuel (1,75%) et une régression très faible de la consommation des blés (-0,5%/an pour le blé dur et +0,2% pour le blé tendre) et une consommation par tête de 181,6 kg. Enfin, le troisième scénario, intermédiaire entre les deux premiers, prévoit une baisse de la consommation de blé dur au rythme de 1% par an accompagnée d'une hausse relativement faible de la consommation de blé tendre (+0,2% par an) et une consommation de 178,6 kg par habitant en 2015. (Chehat, 2006).

2. Effet du stress hydrique sur le développement des plantes

2.1. Le rôle de l'eau dans la plante

L'eau contribue au maintien de la structure de la cellule et en particulier de la structure colloïdale du cytoplasme. Elle est le siège des réactions métaboliques. Elle intervient dans les réactions métaboliques comme l'hydrolyse ou la photosynthèse, elle est donc en ce sens un aliment pour le végétal. Elle permet la turgescence des cellules et par là même des tissus et des organes. Elle véhicule les nutriments minéraux et les produits du métabolisme. Par son rejet dans l'atmosphère sous forme de vapeur, elle emprunte à la plante sa chaleur latente de vaporisation. Elle permet à celle-ci de supporter les rayonnements solaires et les divers échauffements climatiques.

2.2. Notion de stress

Selon les définitions, le stress chez les plantes apparaît avec des significations différentes en biologie, qui convergent principalement en attribuant le stress à n'importe quel facteur environnemental défavorable pour une plante (Levitt, 1980). Tsimilli-Michael *et al.*, 1998) considèrent que le stress a une signification relative, avec un contrôle comme état de

référence. Pour ces auteurs, le stress est donc considéré comme une déviation du contrôle à une contrainte.

Les stress environnementaux nés de la fluctuation des facteurs abiotiques (sécheresse, salinité, température) affectent les conditions de croissance, le développement et le rendement des plantes (Madhava Rao *et al.*, 2006).

2.2.1. Le stress hydrique

Le stress hydrique est l'un des stress environnementaux les plus importants, affectant la productivité agricole autour du monde (Boyer, 1982). Il occupe et continuera d'occuper une très grande place dans les revues agro-économiques.

Il existe de nombreuses définitions du stress hydrique. En agriculture, il est défini comme un déficit marqué et ce, compte tenu des précipitations qui réduisent significativement les productions agricoles, par rapport à la normale pour une région de grande étendue (Mckay, 1985 in Bootsma *et al.*, 1996). En effet, on assiste à un stress hydrique lorsque la demande en eau dépasse la quantité disponible pendant une certaine période ou lorsque sa mauvaise qualité en limite l'usage (Madhava Rao *et al.*, 2006).

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). La demande en eau de la plante est quant à elle déterminée par le niveau de transpiration ou évapotranspiration, ce qui inclut les pertes d'eau tant au niveau des feuilles qu'au niveau du sol (Laberche, 2004).

Le stress hydrique est toute 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 et communément appelé stress hydrique (Mouhouche et Boulassel, 1997).

2.3. Influence du stress hydrique sur le rendement du blé dur

Un stress hydrique se traduit par une réduction de la croissance de la plante et de sa production par rapport au potentiel du génotype. Un stress hydrique précoce affecte en parallèle la croissance des racines et des parties aériennes, le développement des feuilles et des organes reproducteurs (Debaeke *et al.*, 1996).

Le rendement en grains chez le blé dépend fortement du nombre de grains par épi, du poids de grains par épi et du nombre d'épis par m² (Triboï, 1990). L'effet du déficit hydrique sur ces composantes et par conséquent sur le rendement, dépend du stade au cours duquel ce déficit survient (Debaeke *et al.*, 1996). Ainsi, un déficit hydrique à la montaison se traduit par la chute du nombre d'épis, la régression intense des tailles et la baisse du nombre de grains par épi (Debaeke *et al.*, 1996). À la fin de la montaison, 10 à 15 Jours avant l'épiaison, la sécheresse réduit le nombre de fleurs fertiles par épillet (Debaeke *et al.*, 1996).

Le manque d'eau après la floraison, combiné à des températures élevées, entraîne une diminution du poids de 1000 grains par altération de la vitesse de remplissage des grains et de la durée de remplissage (Triboï, 1990). Au cours du remplissage des grains, le manque d'eau a pour conséquence une réduction de la taille des grains (échaudage), réduisant par conséquent le rendement (Gate *et al.*, 1993). Ainsi, le risque de stress hydrique est-il possible presque durant tout le cycle biologique de la céréale. Par ailleurs et pour bien se développer, la plante doit disposer de mécanismes d'adaptation qui lui permettent de supporter le stress hydrique.

3. Mécanismes d'adaptation à la sécheresse

La tolérance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à croître et, du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles (Slama *et al.*, 2005).

Il existe une large gamme de mécanismes de tolérances à la sécheresse qui ne sont pas exclusifs les uns des autres et qui peuvent même être complémentaire (Jones *et al.*, 1980). Ces mécanismes sont d'ordre phénologiques, morphologiques et physiologiques.

La tolérance du blé à la contrainte hydrique peut être associée à une précocité d'épiaison (Makhlouf *et al.*, 2006), à un système racinaire abondant (Hurd, 1974 ; Passioura, 1983), à une fermeture rapide des stomates, à une grande efficacité d'utilisation de l'eau (Green et Read, 1983) ou au maintien d'un potentiel de turgescence élevé (Kreim et kronstad, 1981) et (Morgan et Gordan, 1986).

Diverses classifications des mécanismes de tolérance à la sécheresse ont été élaborées. Turner (2001) a décrit les principaux caractères impliqués dans les trois grands mécanismes, leur utilité et leur facilité d'utilisation pour la sélection. **.(tableau 2-annexe2)**

3.1. Adaptations phénologiques

L'esquive permet à la plante de réduire ou d'annuler les effets de la contrainte hydrique par une bonne adéquation de son cycle de culture à la longueur de la saison des pluies. (Amigues *et al* 2006). La précocité constitue un important mécanisme d'esquive de la sécheresse de fin de cycle (Ben Naceur *et al.*, 1999). Le rendement de nombreuses variétés a été amélioré grâce au raccourcissement des longueurs de cycle chez pratiquement toutes les espèces cultivées annuelles (Turner *et al.*, 2001), sur les légumineuses (Subbarao, 1995), comme sur les céréales (Fukai *et al.*, 1999).

La précocité au stade épiaison est une composante importante d'esquive du stress de fin de cycle chez le blé dur. Compte tenu de la distribution aléatoire des précipitations dans les régions arides à semi-arides, l'adoption de variétés à cycle relativement court est nécessaire (Makhlouf *et al.*, 2006). Fisher et Maurer (1978) notent que chaque jour de gagner en précocité génère un gain en rendement de 30 à 85 kg/ha

Dans un milieu où le gel tardif est une contrainte à la production des céréales, une précocité excessive n'est d'aucune utilité, au contraire, elle risque d'être une source d'instabilité des rendements en grains. Une précocité modérée peut cependant constituer un avantage lors de la reprise de la croissance après un bref stress (Bouzerzour *et al.*, 1998).

3.2. Adaptations morphologiques

L'effet de la sécheresse peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou variété, par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et/ou pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilés. Ces modifications affectent la partie aérienne ou souterraine : réduction de la surface foliaire et du nombre de talles, enroulement des feuilles et/ou meilleur développement du système racinaire (Slamaet *et al.*, 2005).

3.2.1. Système racinaire

L'efficacité de l'extraction de l'eau du sol par les racines figure parmi les types d'adaptation permettant à la plante d'éviter ou, plus exactement, de retarder la déshydratation de ses tissus (Turner *et al.*, 2001). L'aptitude des racines à exploiter les réserves en eau du sol sous stress est une réponse particulièrement efficace pour l'élaboration de la production de graines (Passioura, 1977).

Un système racinaire capable d'extraire l'eau du sol est un trait essentiel pour la tolérance à la sécheresse. Cette caractéristique revêt une importance particulière sur les cultures qui subissent régulièrement des déficits hydriques de fin de cycle (Subbarao, 1995). Son impact sur le rendement est particulièrement élevé car elle intervient directement dans l'efficacité d'utilisation de l'eau en conditions de stress. Un système racinaire extensif permet au blé de mieux résister à un stress hydrique (Bensalem *et al.*, 1991) in (Mazouz, 2006).

3.2.2. Surface foliaire

La réduction de la surface foliaire, quand le stress hydrique est très important, est un mécanisme de réduction des besoins en eau (Perrier *et al.*, 1961). O'toole & Cruz (1980), montrent que l'enroulement des feuilles entraîne une diminution de 40% à 60% de la transpiration, le phénomène d'enroulement des feuilles peut se manifester quand la sévérité du stress est de -0,8 à -1,0 MPa et on observe l'enroulement complet vers -2,0 à -2,5 MPa, ce qui correspond à des conditions de déficit hydrique intense (Morgan, 1984).

3.2.3. Glaucescence, pilosité, cire et barbes

La glaucescence, la pilosité des feuilles ou des tiges, la couleur claire des feuilles et la présence de cire induisent une augmentation de la réflectance qui conduit à une réduction des pertes en eau. Clarke & *al.*, (1989) montrent que la glaucescence réduit le taux de déperdition d'eau (transpiration cuticulaire) en conditions sèches et que les variétés qui ont une glaucescence élevée donnent dans ces conditions, des rendements plus élevés que les variétés à faible glaucescence. Clarke & Richards (1988), montrent que la glaucescence réduit la transpiration résiduelle de 10% en moyenne.

La présence des barbes chez les céréales augmente la possibilité d'utilisation de l'eau et l'élaboration de la matière sèche lors de la maturation de grain (Nemmar, 1980). En

comparant trois variétés de blé dur, Slama, (2002) trouve que la variété ayant la barbe la plus développée, sous contrainte hydrique, présente le meilleur rendement. En effet, les barbes peuvent améliorer le rendement en conditions de sécheresse par augmentation de la surface photosynthétique de l'épi (Slama, 2005).

3.3. Adaptations physiologiques

3.3.1 Régulation stomatique

L'eau peut être perdue par toute la surface de la plante, cependant les stomates demeurent la principale voie d'émission de la vapeur d'eau (85 à 100%). Les stomates sont des ouvertures microscopiques dans l'épiderme des feuilles permettant la transpiration et assurant les échanges gazeux entre la plante et l'atmosphère. La transpiration se manifeste par une perte d'eau sous forme de vapeur d'eau entraînant un refroidissement des tissus de la plante. Près de 98% l'eau absorbée par la plante est perdue par la transpiration. Cette perte est inévitable car les stomates doivent s'ouvrir pour permettre l'entrée du CO₂ et assurer la photosynthèse. De plus, elle entraîne une absorption supplémentaire d'eau et favorise l'absorption et la circulation des éléments minéraux.

En situation de déficit hydrique, la plante ferme ses stomates pour réduire ses pertes en eau (Tardieu et Dreyer, 1997). La régulation, de l'ouverture et la fermeture des stomates dépend du potentiel hydrique foliaire et de l'humidité de l'air au champ (Turner, 1997). Une faible conductance stomatique induit une fermeture des stomates rapide en condition de déficit hydrique. Les génotypes à faible conductance sont plus sensibles au déficit de vapeur et à la baisse du potentiel hydrique foliaire que les génotypes à forte conductance.

Une faible conductance est généralement proposée comme critère favorable à l'adaptation à la sécheresse (Turner, 1986). Cependant la fermeture stomatique réduit l'assimilation du CO₂ et conduit inévitablement à une réduction de l'activité photosynthétique.

En conséquence, l'intérêt d'une réponse stomatique plus ou moins rapide au déficit hydrique résulte d'un compromis entre la réduction de l'assimilation du CO₂ et la nécessité d'éviter la déshydratation (Ludlow et Muchow, 1990).

La détermination de la fonction de l'ouverture stomatique reste encore en débat (Cochard et al, 1996). Néanmoins, l'effet de plusieurs facteurs agissant sur l'ouverture stomatique a été montré : l'augmentation de l'irradiation a pour conséquence d'ouvrir les stomates tandis que l'augmentation de la concentration en CO₂ ou du déficit de vapeur dans l'air induisent un processus inverse (Hinckley et Braatne, 1994). De nombreuses études ont mis en évidence des facteurs internes à la plante agissant sur les processus de régulation stomatique.

L'effet de l'acide abscissique (ABA) en tant qu'inducteur de la fermeture stomatique a été largement documenté (Wartinger *et al.*, 1990; Davies et Zhang, 1991), mais il y a encore des incertitudes sur son origine et sur sa contribution exacte à ce phénomène (Dreyer, 1997). Le signal de la fermeture stomatique en conditions de sécheresse a été attribué à une production de l'acide abscissique (ABA) par les racines (Meinzer et Grantz, 1990), mais l'état hydrique de la plante entière reste un facteur important à considérer car il intervient sur la sensibilité des stomates à la concentration d'ABA (Salah & Tardieu, 1997)

Chez les céréales (Davies *et al.*, 1994) ont montré que la fermeture des stomates est contrôlée par l'acide abscissique ou ABA en réponse à l'assèchement du sol. Mais les sélections réalisées sur l'accumulation de l'ABA dans les céréales n'ont pas conduit à une amélioration du rendement (Quarrie *et al.*, 1995).

3.3.2. Potentiel hydrique et ajustement osmotique

L'eau est conduite à travers la plante depuis le sol jusqu'à l'atmosphère. Ce processus est comparable à un courant électrique. Ce courant est freiné par les résistances hydrauliques

de la plante, telle que l'ouverture plus ou moins importante des stomates au niveau des feuilles ainsi que la résistance des cellules racinaires au transfert de l'eau depuis le sol jusqu'aux vaisseaux du xylème.

Au fur et à mesure ou la transpiration augmente au niveau des feuilles, le potentiel hydrique foliaire diminue (il devient de plus en plus négatif). Si l'eau est disponible au niveau du sol (lorsque le potentiel hydrique du sol est fort) alors un courant d'eau depuis le sol jusqu'aux feuilles compense les pertes d'eau lors de la transpiration. Lorsque la quantité d'eau au niveau du sol diminue le potentiel hydrique foliaire nécessaire pour provoquer le mouvement d'eau depuis le sol jusqu'aux feuilles doit être d'autant plus faible (Lacaze, 2006).

La diminution du potentiel hydrique du sol en conditions de sécheresse provoque une perte importante de la turgescence au niveau de la plante (HENCHI, 1987). L'augmentation de la production, dans ces conditions, dépend des mécanismes de tolérance qui assurent l'hydratation cellulaire et diminuent la perte en eau en maintenant un statut hydrique favorable au développement foliaire (Sorrells *et al.*, 2000). 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).

Le mécanisme d'ajustement osmotique permet de maintenir la conductance stomatique et la photosynthèse à des potentiels hydriques foliaires bas, par ajustement du potentiel osmotique. Il intervient aussi en retardant la sénescence foliaire et en améliorant l'extraction de l'eau par les racines (Turner, 1997).

Dans le cas d'abaissement du potentiel hydrique, la tolérance s'exprime par un maintien de la turgescence, rendue possible grâce au phénomène d'ajustement osmotique qui est liée à la capacité, du végétal, à accumuler, au niveau symplasmique et de manière active, certains solutés (Blum, 1988). L'ajustement osmotique permet une protection des membranes

et des systèmes enzymatiques (Santarius, 1973), en particulier au niveau des organes jeunes (Morgan, 1984).

Parmi les osmorégulateurs dont l'accumulation permet la diminution du potentiel osmotique:

- ❖ Les ions inorganiques, tels que le potassium qui contribue à 40% environ de l'osmolarité (Gaudillière et Barcelo, 1990); le nitrate pourrait également jouer, chez certaines espèces, un rôle important: sa teneur augmente considérablement, en cas de stress hydrique, dans les feuilles immatures du tournesol (Jones et *al.*, 1980).
- ❖ Les sucres solubles auraient un rôle majeur dans l'ajustement osmotique ; leur participation à l'abaissement du potentiel osmotique a été mise en évidence chez le sorgho (Jones et *al.*, 1980) et le blé (Johnson et *al.*, 1984).
- ❖ La teneur en acides aminés libres augmente significativement en situation de déficit hydrique chez le sorgho et le tournesol ; chez cette dernière espèce, cela explique 7% de la baisse du potentiel osmotique (Jones & *al.*, 1980). Parmi ces acides aminés, la proline semble jouer un rôle particulièrement important : on lui attribue un rôle d'osmoticum au niveau du cytosol et au niveau de la vacuole, mais aussi un rôle dans la protection des membranes et des systèmes enzymatiques et dans la régulation du pH (Venekamp & *al.*, 1989).
- ❖ Les acides organiques : l'acide malique est quantitativement important chez la plupart des espèces cultivées (Clark, 1969) ; il contribuerait (pour une assez faible part toutefois) à l'abaissement du potentiel osmotique chez le sorgho (Newton & *al.*, 1986)

L'ajustement osmotique apparaît donc comme un mécanisme majeur d'adaptation à la sécheresse : il permet le maintien de nombreuses fonctions physiologiques (photosynthèse, transpiration, croissance...); il peut intervenir à tous les stades du développement et son

caractère inductible suggère qu'il n'a pas (ou peu) d'incidence sur le rendement potentiel (Belhassen *et al.*, 1995).

4. Mécanisme d'adaptation biochimique en condition de stress hydrique

4. 1. Rôle de la proline

L'accumulation de la proline constitue aussi un véritable mécanisme de tolérance au stress hydrique (Slama *et al.*, 2004). L'existence chez les céréales d'une variation intra spécifique pour l'accumulation de la proline sous l'effet du 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). Pour cette raison, certains auteurs, Bellinger *et al.*, (1991) ont proposé l'accumulation de la proline comme technique de sélection. Tahri *et al.*, (1997) montrent que plusieurs sélectionneurs et physiologistes ont utilisé la capacité de son accumulation dans le criblage de génotypes résistants au déficit hydrique (Benlarabi et Monneveux, (1988) sur le blé dur ; Bellinger *et al.*, (1989) sur le maïs), au froid (Dorfling et Askman (1989) sur le blé tendre) et à la salinité (Hubac et Vieira Da Silva (1980) chez *Artemisia herba alba*).

L'origine de la proline accumulée sous stress n'est pas totalement éclaircie. Elle est soit synthétisée de nouveau à partir de l'acide glutamique (Glu) ou via l'ornithine (Orn), qui sont utilisés comme précurseurs (Samaras *et al.*, 1995). Les hydrates de carbone peuvent être des facteurs essentiels dans l'accumulation de la proline, car la synthèse des protéines est liée automatiquement au métabolisme des glucides et à la respiration (dans le cycle de Krebs) par l'intermédiaire l' α cétooglutarate qui forme le statut carbonique pour la synthèse de la proline (Venekamp *et al.*, (1988) in Chaib, 1998). L'addition de l'ornithine dans le milieu de culture augmente la source de la proline par l'intermédiaire de l'enzyme ornithine

amino-transferase (Ledilly et *al.*, (1993) in Chaib, 1998). Savouré et *al.*, (1995) montrent chez *Arabidopsis* l'augmentation de transcrits de la P5CR (1-pyrroline-5-carboxylate synthétase) est corrélée à une augmentation de proline. De plus, cet auteur a montré que cette augmentation était directement reliée à l'application du stress. En effet, lors de la phase de récupération juste après l'application du stress, le contenu en proline diminue en même temps que la quantité de transcrits correspondant à la P5CR (1-pyrroline-5-carboxylate synthétase). L'induction de ce gène est directement reliée à la régulation du taux de proline dans les cellules en fonction du stress. En effet, Ober et Sharp, (1994) mentionnent que l'ABA est nécessaire pour l'accumulation de la proline sous faible potentiel.

4. 2. Rôles des sucres solubles

Le potentiel osmotique peut être maintenu pour un stress hydrique de faible ou moyenne intensité, par ajustement osmotique. Les sucres peuvent servir de composés solubles compatibles pour cet ajustement osmotique, comme de nombreuses autres molécules (proline, glycine-bétaïne ou pinitol). D'après Bensari et *al.*, (1990) lorsque la contrainte hydrique cesse, la feuille reconstitue les réserves d'amidon et si une nouvelle contrainte hydrique intervient, le temps d'adaptation est plus court. En effet, Hare et Cress, (1997) remarquent que les sucres glucose, fructose et le saccharose représentent des osmotocums beaucoup moins puissants que la proline, ils participent eux aussi au maintien de la balance de la force osmotique. Par ailleurs, il a été observé que sous stress hydrique, les réserves amylicées sont progressivement utilisées suite à leur conversion rapide en saccharose qui pourra être associé à une inhibition de la synthèse de l'amidon Geigenberger et *al.*, 1997). Ainsi, les enzymes liés au métabolisme des sucres semblent avoir une importance majeure dans la tolérance au stress hydrique (Geigenberger et *al.*, 1997)

L'implication des sucres dans la tolérance au stress hydrique a été mise en évidence par les corrélations observées entre le contenu en certains sucres et l'acquisition de la tolérance (Déjardin et *al.*, 1999). De nombreuses études ont mis en évidence l'accumulation de sucres solubles lors de la dessiccation. Une idée principale en ressort différents sucres solubles peuvent être présents dans des tissus bien hydratés, mais le saccharose est préférentiellement accumulé dans les tissus en déshydratation (Déjardin et *al.*, 1999).

Chapitre II

Matériels et Méthodes

1. Matériel végétal

L'étude a porté sur six variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*) d'origine diverses, introduites, locales et sélectionnées. (Ferme de Démonstration et Protection de Semences *F.D.P.S*, Institut Technique des Grands Culture *I.T.G.C*, Elkhroub) (**Tableau.3-annexe3**)

2. Conduite de l'essai

2.1 : Essai sous serre

Cette étude à été réalisée en pots, portant sur six variétés de blé dur dans des conditions expérimentales semi contrôlées (sous serre)

L'expérimentation à été conduite sous serre (Bio pole, Chaabat Erssas) au laboratoire de Nutrition Minérale et laboratoire de Développement et Valorisation et des Ressources Phylogénétiques des Plantes à l'Institut de Science de la Nature et de la Vie Bio pole, (Chaabat Erssas), Université des Frères Mentouri Constantine. Elle a pour objectif de précises les caractéristiques physiologiques, biochimiques et minérales des variétés de blé dur pour l'adaptation à la sécheresse.

Les plantules de chaque génotypes obtenues après germination sur boites de pétri, sont repiqués dans des pots en plastiques contenant un mélange de sol, sables et terreau dans les proportions 4 : 1 : 1 en deux lots séparées (avec et sans déficit hydrique)(**Planche 01**) Chaque lot comporte trois répétitions par génotype .les pots sont arrosés trois fois par semaine et maintenus a hydratation maximum jusqu'au stade de la quatrième feuilles bien développées. 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 de lot stressé, l'arrosage est interrompu jusqu'a l'obtention de deux niveaux du déficit hydrique le premier stresse est

mesuré après 20 jours d'arrêt d'arrosage (stress modéré) et le second après 1 mois d'arrêt d'arrosage (stress sévère).



Planche 01 : préparation des pots pour le semi

2.2. Les paramètres du statut hydrique et physiologiques

Dans cette expérimentation quelques traits physiologiques et biochimiques ont été étudiés. L'état hydrique de la plante est évalué par les mesures des paramètres physiologiques et biochimiques, la teneur relative en eau (**TRE**), teneur en proline (**PROL**) et teneur en sucres solubles (**SUCR**).

2.2.1 : La teneur relative en eau

La teneur relative en eau de la feuille a été déterminée par la méthode décrite par Barrs, (1968). Selon cette méthode, les feuilles sont coupées à la base du limbe, elles sont pesées immédiatement pour obtenir leur poids frais (**PF**). Ces feuilles sont mises par la suite

dans des tubes à essai remplis d'eau distillée et placés à l'obscurité dans un endroit frais, après 24h les feuilles sont retirées, passées dans un papier buvard pour absorber l'eau de la surface, pesées de nouveau pour obtenir le poids de la pleine turgescence (**PT**). Les échantillons sont enfin mis à l'étuve régler à 80°C pendant 48h et pesés pour avoir leur poids sec (**PS**). La teneur relative en eau est calculée par la formule suivante (la formule de Clark et Mac-Caig, 1982) :

$$\text{TRE (\%)} = [(\text{PF}-\text{PS}) / (\text{PT}- \text{PS})].100$$

Où - **PF** représente le poids frais (le limbe de la feuilles qui coupé à sa base est immédiatement pesé),

- **PT** est le poids de réhydratation (la même feuille placée dans un tube à essai contenant de l'eau distillée pendant 24h à 4°C),
- **PS** est le poids sec et déterminé après le passage de l'échantillon dans une étuve à 80°C pendant 48 heures.

Ce caractère constitue un critère de sélection prometteur pour la résistance à la sécheresse, de plus il présente le terme le plus satisfaisant pour qualifier le déficit hydrique des tissus d'une plante car elle n'est pas influencée par les variations du poids sec des tissus (Kahali, 1998) (**Planche 02**)

Planche 02



a-La disposition des feuilles dans des tubes à essai plains d'eau distillé



b-après 24h dans l'eau distillé les feuilles sont misent dans l'étuve réglé à 80°C pendant 48h

3.3 : Les paramètres biochimiques

Les paramètres biochimiques consistent à mesurer les quantités des constituants des organes biologiques en général sucres solubles ; protéines totales ; acides aminées ; proline ; lipides

3.3.1 : Dosage de la proline

La proline ou acide pyrrolidine 2-carboxylique 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). (**planche 03**)

a-L'extraction

Elle consiste à prendre 100 mg de matériel végétal (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-La coloration

Après refroidissement ; on prélève 1ml 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 $100^\circ C$, la solution vire au rouge.

c-La séparation

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

Phases se séparent (une phase supérieure à la couleur rouge contient la proline et une phase

Inférieure transparente sans proline).

d-La déshydratation

Après avoir éliminé la phase inférieure, la phase supérieure est 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-La lecture

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

Obtenues sont converties en taux de proline par le biais d'une « courbe étalon », préalablement

établie à partir d'une série de solution de concentration en proline connue. Cette courbe est

Utilisée pour déterminer les teneurs en proline dans les feuilles des plantes.

$$\text{Proline } (\mu\text{mol/mg}) = 0,062 * \text{DO/MS} \text{ (Benlaribi, 1990)}$$

Planche 03



A- L'extraction



B- La coloration



C- La séparation



D- La déshydratation



E- La lecture

3.3.2. 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). (**planche 03**)

a- L'extraction

Elle consiste à prendre 100 mg de matière fraîche, placées dans des tubes à essais, on ajoute 3 ml 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- La coloration

C'est la solution à analyser. Dans des tubes à essais propres, on met 2ml de la solution à analyser, on ajoute 1ml de phénol à 5% (le phénol est dilué dans de l'eau distillée); on ajoute rapidement 5ml d'acide sulfurique concentré 96% tout en évitant de verser de l'acide contre les parois du tube. On obtient, une solution jaune orange à la surface. puis passé au vortex pour homogénéiser la couleur de la solution. On laisse les tubes pendant 10mn et on les place au bain-marie pour 10 à 20mn à une température de 30°C (La couleur de la réaction est stable pendant plusieurs heures).

c-La lecture

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

$$\text{Sucres } (\mu\text{mol /mg}) = 1,67 * \text{DO/MS}$$

Planche 04



A-L' extraction



B- La coloration



C-La lecture

Chapitre III

Résultats et Discussions

Chapitre III : Résultats et Discussions

1. Résultats

1.1. Paramètres physiologiques

1.1.1. Effet du stress hydrique sur la teneur relative en eau

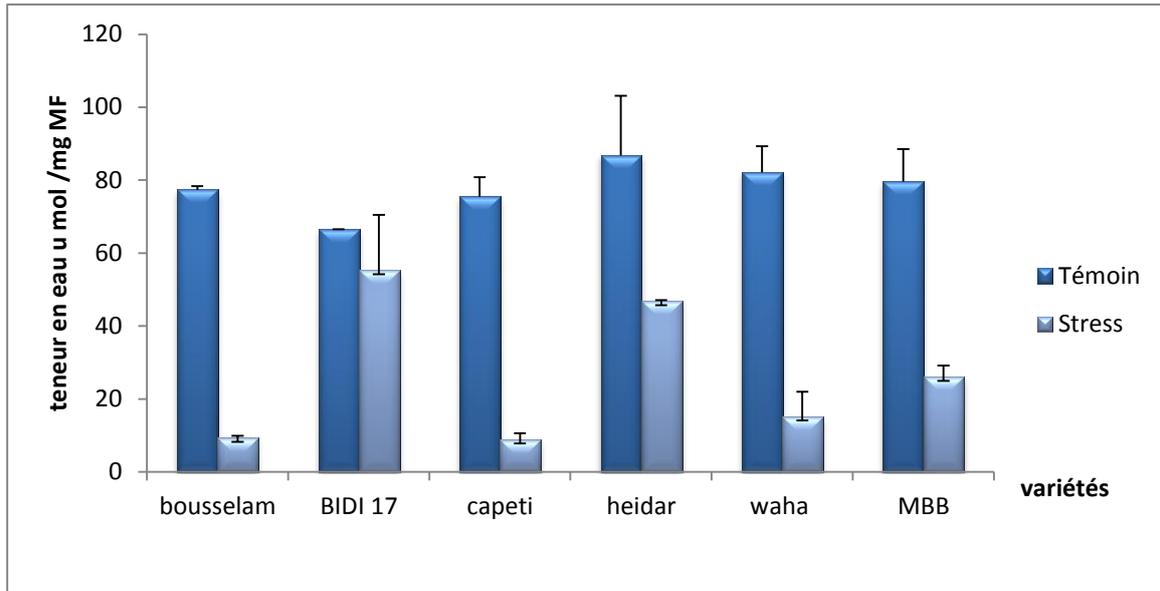


Figure 03 :évaluation de la teneur en eau des six variétés de blé dur soumises à un niveaux de stress hydrique modéré (20 jours d'arrêt d'arrosage)

La TRE est un indicateur très utilisé pour mettre en évidence l'état de la balance hydrique d'une plante .Le comportement des six variétés de blé dur étudié vis-à-vis du stress hydrique est analysé par une étude d'état hydrique des feuilles des plantes stressés et témoins (teneur relative en eau). L'analyse de la variance révèle que la TRE augmente significativement pour toutes les variétés ($p < 0,0001$)

- **Stress modéré** (20 jours d'arrêt d'arrosage) :

Le comportement des six variétés de blé dur étudiés vis-à-vis du stress hydrique est analysé par une étude, physiologique (teneur relative en eau) et biochimique (teneur en proline et en sucres solubles).

Une comparaison entre l'évolution de la teneur en eau des six variétés de blé dur étudiées a montré que la teneur relative en eau diminue au fur et à mesure que le déficit hydrique s'accroît. Les teneurs en eau les plus élevées sont notées chez les témoins, avec une valeur maximale de (83.163 ± 8.83) % enregistrée chez le génotype Heider et une valeur minimale de (66.445 ± 0.088) % enregistrée chez le génotype Bidi 17.

Au premier niveau de stress (20 jours d'arrêt d'arrosage), la valeur minimale est observée chez le génotype Capeiti 8 (8.778 ± 1.868) %, alors que la valeur maximale est enregistrée chez le génotype Bidi 17 (46.737 ± 0.361) % . Les autres variétés marquent des teneurs en eau qui fluctuent respectivement entre une valeur de (9.277 ± 0.608) % pour Bousselam (15.09 ± 6.87) % pour Waha (26.01 ± 3.15) % pour MBB et de (41.83 ± 6.42) % pour le génotype Heider (**Figure 03**)

Tableau 01 : Analyse de la variance ANOVA Teneur en eau (stress modéré)

Proline	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Variété	2033,858	338,976	11,869	< 0,0001***
Traitement	0,000	0,000	0,000	NS
Variété × Traitement	1688,749	337,750	11,826	< 0,0001***

* $p \leq 0,1$, ** $p \leq 0,05$, *** $p \leq 0,001$: respectivement significative, hautement significative et très hautement significative ; Ns : non significative.

L'analyse de la variance au facteur régime hydrique, donne une différence très hautement significative. Les mêmes résultats ont été obtenus au facteur variété et au facteur interaction (variété × traitement .**Tableau.04**)

Le test de **NEWMAN-KEULS** au seuil 5% pour le facteur traitement indique 2 groupes homogènes. Les groupes A correspondent aux témoins, avec une moyennes de 77.360%, Les deuxième groupe B correspondent aux traitements de stress (modéré) avec une moyenne générales de 24.622% (**Tableau 10-Annexe4**)

Le test **NEWMAN-KEULS** au seuil 5% classe le facteur variété en quatre groupes homogènes (**Tableau 9-Annexe 4**). Le premier groupe comporte les génotype Bidi 17 .Le deuxième groupe B porte le génotype Heider avec une moyenne de 61.095% le troisième groupe C porte le génotype MBB avec une moyenne de 54.091% , le dernier groupe qui est le

groupe D porte les trois dernier génotype Capeiti 8 , Bousselam et Waha avec une moyenne qui varie entre 44.168% et 40.768 % on note que es variété locale restent dans une position central ce qui veut dire que leur teneur en eau reste au milieu ni trop basse ni trop élevé par a port au variété importé.la variété locale Bidi 17 note la meilleur teneur en eau même en condition de stress.

1.2. Paramètres biochimiques

1.2.1. Variation de la teneur en proline (µg/100 mg MS)

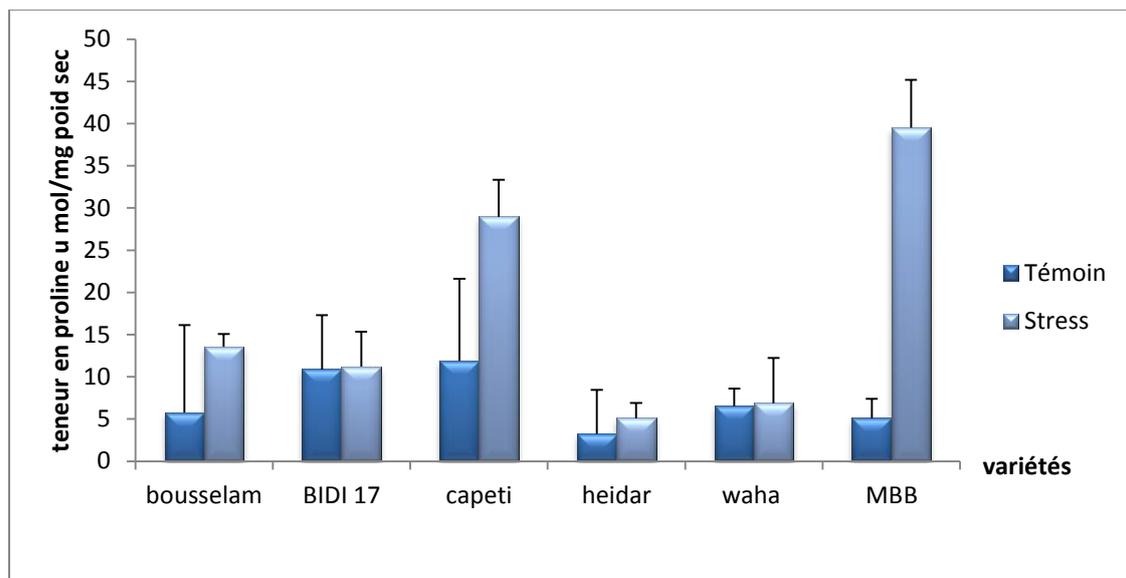


Figure 04:L'évaluation de la teneur en proline des six variétés de blé dur soumises à un niveaux de stress hydrique modéré (20 jours d'arrêt d'arrosage)

En condition de bonne alimentation hydrique, on constate que les teneurs en proline restent faibles et relativement proches d'un génotype à un autre, avec un maximum de (11.90 ± 2.98) µg/100mg MS enregistré chez le génotype

Capeiti 8 et un minimum de $(3.24 \pm 5.21) \mu\text{g}/100\text{mg MS}$ noté chez le génotype Heider.

- **Stress modéré** (20 jours d'arrêt d'arrosage) :

Dans le premier niveau du stress hydrique (20 jours), on remarque que les différents génotypes testés enregistrent des teneurs en proline assez proche des témoins. A l'exception pour les deux génotypes MBB et Capeiti8 enregistrent des valeurs plus élevées soit, $(39.499 \pm 5.673) \mu\text{g}/100\text{mg MS}$ et $(28.951 \pm 4.387) \mu\text{g}/100\text{mg MS}$ successivement (**Figure 04**).

Tableau 02 : Analyse de la variance ANOVA proline (stress modéré)

Proline	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Variété	1041,081	208,216	6,011	0,001***
Traitement	105,300	105,300	3,040	0,094***
Variété × Traitement	1803,165	360,633	10,411	0,0001***

* $p \leq 0,1$, ** $p \leq 0,05$, *** $p \leq 0,001$: respectivement significative, hautement significative et très hautement significative ; Ns : non significative.

L'analyse statistique de la variance des résultats obtenus révèle l'existence de différence très hautement significative entre les traitements de stress et entre les génotypes étudiés. et une différence très hautement significative pour l'interaction des deux facteurs (variété x traitement ; **Tableau 5**)

Le test **NEWMAN-KEULS** au seuil 5% classe le facteur traitement en un seul groupe A (**Tableau 12 ; Annexe 5**). Le fait qu'ils soient dans le même

groupe est dû au fait que leur moyennes soit partiellement proches 14.440 $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$ pour les stressés et 11.019 $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$ pour les témoins .

Le test **NEWMAN-KEULS** au seuil 5% classe le facteur variété en quatre groupes A , AB, BC et C. On remarque que le génotype du groupes A qui est MBB à la capacité d'accumuler la proline, le groupes AB comprend le génotype Capeiti8 (16.088 $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$). Le troisième groupe BC est représenté par les génotypes Waha, Bousselam et Bidi 17 qui note une accumulation moyenne en proline de 13.112 $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$,12.295 $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$ et 7.390 $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$ respectivement, le dernier groupe C contient le génotype Heider qui présente une baisse importante de la teneur en proline (5.644 $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$) (**Tableau11 ; Annexe5**).

- **Stress sévère (30 jours d'arrêt d'arrosage) :**

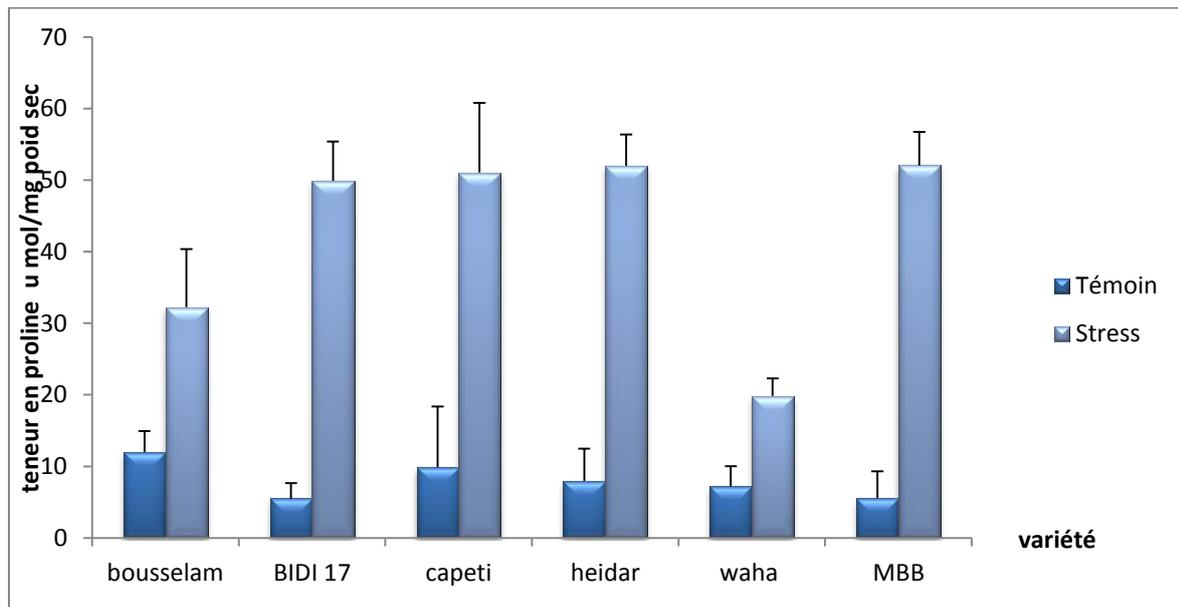


Figure 05: L'évaluation de la teneur en proline des six variétés de blé dur soumises à un niveau de stress hydrique sévère (1 mois d'arrêt d'arrosage)

En conditions de stress encore plus élevé (30 jours d'arrêt d'arrosage), on note une suite d'augmentation de la teneur en proline par rapports au témoin et par rapports au premier niveau (stress modéré) qui est estimée à $(32,24 \pm 8.14)$; (49.92 ± 5.49) , (51.06 ± 9.75) et (52.03 ± 4.34) $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$ chez les génotypes Bousselam, Bidi 17, Capeiti 8 et Heider successivement. Le génotype MBB mentionne la teneur maximale en proline avec $(52.08 \pm 4.66) \mu\text{g}/100\text{mg MS}$, contrairement au génotype Waha qui enregistre la valeur minimale $(19.84 \pm 2.46) \mu\text{g}/100\text{mg MS}$. (**Figure 05**) on remarque que la variété MBB qui est une variété locale a un fort potentiel d'accumulation de la proline qui est un critère importants pour la tolérance au stress hydrique

Tableau 03 : Analyse de la variance ANOVA teneur en proline (stress sévère)

Proline	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Variété	2033,858	142,596	4,701	< 0,0001***
Traitement	0,000	0,000	0,000	NS
Variété × Traitement	1688,749	188,267	6,207	< 0,0001***

* $p \leq 0,1$, ** $p \leq 0,05$, *** $p \leq 0,001$: respectivement significative, hautement significative et très hautement significative ; **Ns** : non significative.

L'analyse statistique de la variance des résultats obtenus révèle l'existence de différence très hautement significative entre les niveaux de stress, entre les génotypes étudiés et une différence très hautement significative pour l'interaction des deux facteurs (variété × traitement ; **Tableau 6**).

Le test **NEWMAN-KEULS** au seuil 5% classe le facteur variétés en trois groupes qui correspondent au niveau de stress sévère qui caractérisent la plus haute accumulation de la proline (51,065) $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$ pour MBB . Le groupe B comprend les génotypes Heider Capeiti 8 et Bidi17 avec une accumulation modéré de proline. Leur moyennes respectives sont de (35.363),(28.831) et (27.710) $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$ Le groupe C comprend le génotype Bousselam (11.969) $\mu\text{g}/100\text{mg}$ ainsi que Waha (13.521) $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$ (**Tableau 12 ; Annexe06**).on note que les variétés Bousselam et Waha qui sont des variétés locale ont du mal a accumulé la proline au bout d'un mois d'arrêt d'arrosage par contre la variété importé Capeiti 8 l'accumule de mieux en mieux

Le test **NEWMAN-KEULS** au seuil 5% classe le facteur traitement en deux groupe (**tableau- 14 Annexe ; 06**). Le groupe A représenté les stresse avec une moyenne de 42.866 $\mu\text{g}/100\text{mg}$ et le groupe B représente les témoins avec une moyenne de 8.022 $\mu\text{g}/100\text{mg}$

1.2.2. Variation de la teneur en sucres solubles ($\mu\text{g}/100\text{mg MS}$)

La teneur en sucres solubles augmente corrélativement au fil du degré de stress chez les six génotypes étudiés. Les fortes accumulations des sucres solubles sont observées au deuxième niveau de stress (stress sévère), par contre les plus faibles teneurs en sucres solubles sont enregistrées en condition d'irrigation

- **Stress modéré** (20 jours d'arrêt d'arrosage) :

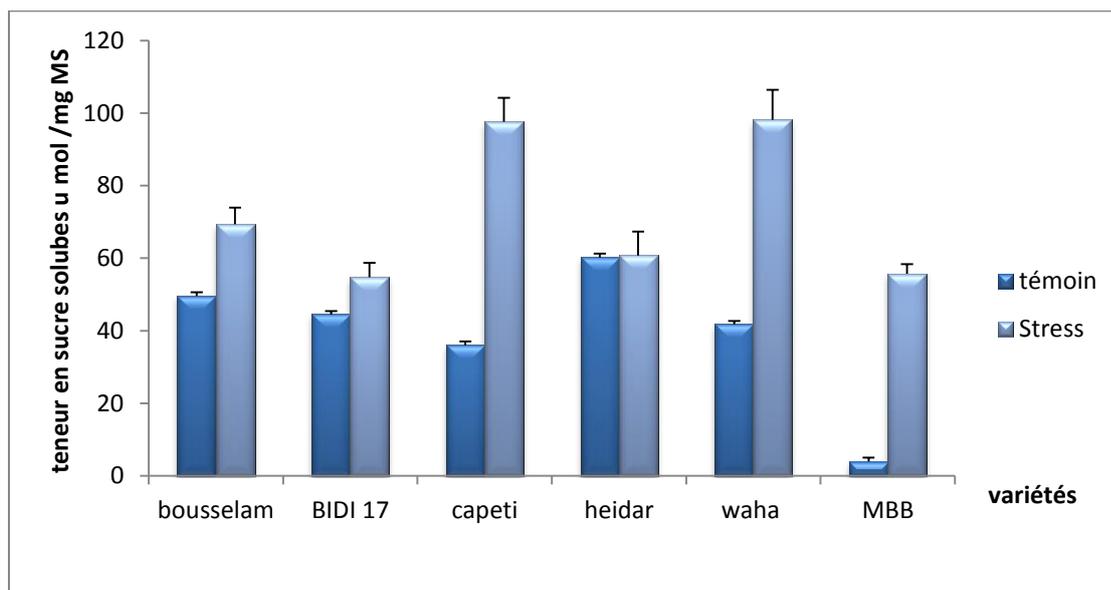


Figure 6: L'évaluation de la teneur en sucre des six variétés de blé dur soumises à un niveau de stress hydrique modéré (20 jours d'arrêt d'arrosage)

On constate que les teneurs en sucre soluble restent faibles et relativement proches d'un génotype à un autre, avec un maximum de (98.16 ± 8.25) $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$ enregistré chez le génotype Waha et un minimum (54.71 ± 3.96) $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$ noté chez le génotype Bidi 17.

Dans le premier niveau du stress hydrique (20 jours d'arrêt d'arrosage), on remarque que les différents génotypes testés enregistrent des teneurs en sucre assez proches des témoins. Les résultats suggèrent que les plantes utilisées ont été affectées par le stress hydrique.

Néanmoins les deux génotypes Waha et Capeiti 8 enregistrent des valeurs plus élevées (98.16 ± 8.25) et (97.57 ± 6.65) $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$.(**Figure 06**)

Tableau 05 : Analyse de la variance ANOVA teneur en sucre solubles (stress sévère)

Proline	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Variété	8178,500	1363,083	58,054	< 0,0001***
Traitement	0,000	0,000	0,000	NS
Variété × Traitement	8333,606	1666,721	70,986	< 0,0001***

* $p \leq 0,1$, ** $p \leq 0,05$, *** $p \leq 0,001$: respectivement significative, hautement significative et très hautement significative ; **Ns** : non significative.

L'analyse de la variance au facteur niveau de stress hydrique, donne une différence très hautement significative. Les mêmes résultats ont été obtenus au facteur variété et au facteur interaction (variété \times traitement ; **Tableau 8**).

Le test de **NEWMAN-KEULS** au seuil 5% classe le facteur variété en cinq groupes homogènes (**Tableau 17-Annexe 08**). Le premier groupe A comprend le génotype qui accumulent fortement les sucres solubles avec une moyenne de 98.169 $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$ pour Waha qui est une variété local a un très bonne accumulation des sucres solubles car son taux reste supérieur au autre variété aussi bien local qu'importé Le groupes B représentent le génotype qui accumule moyennement les sucres solubles qui est Capeiti8 avec une moyenne de 66.798. $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$, Le groupe C qui accumule peu de sucres est contient les génotypes Heider et Bousselam le groupe D comprend le génotype Bidi 17 qui accumule un taux le faible en sucre avec une moyenne de 49.581 $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$ le dernier groupe E comprend le génotype qui accumule le taux le plus faible en sucre est représenté par MBB .

Pour le facteur traitement le test **NEWMAN-KEULS** au seuil 5% donne deux groupes homogènes (**Tableau 18-Annexe 08**). Le premier groupe A contient les génotypes témoins avec une moyenne de 97.698 $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$. Les deuxièmes groupes B abritent les génotypes stressé avec une moyenne en teneur en sucres solubles de 44.245 $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$.

- **Stress sévère (30 jours d'arrêt d'arrosage) :**

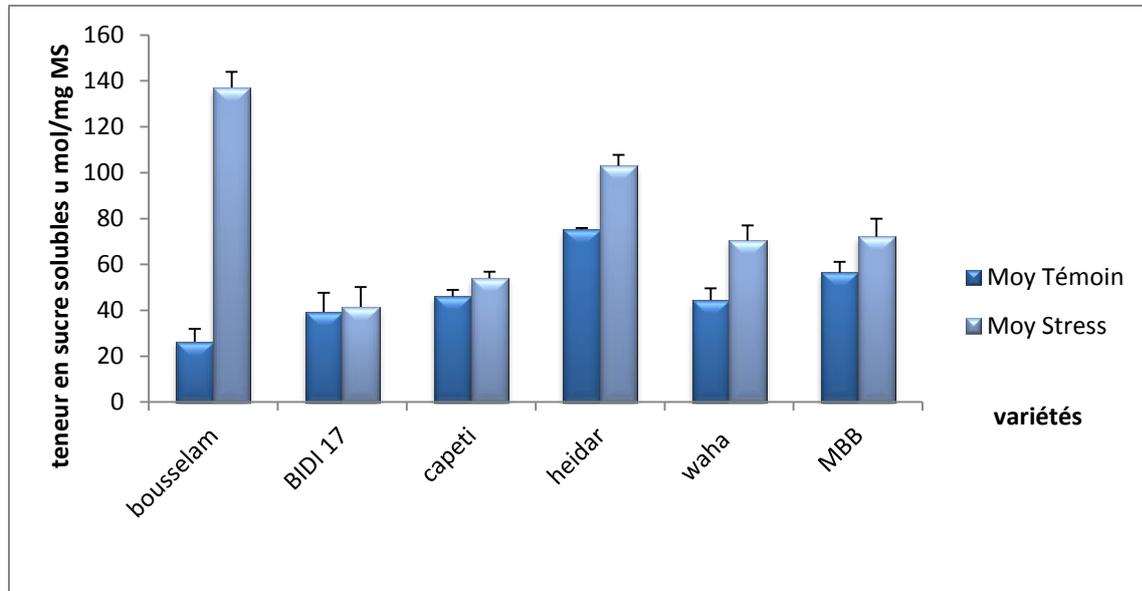


Figure 7: L'évaluation de la teneur en sucre des six variétés de blé dur soumises à un niveaux de stress hydrique sévère (1 mois d'arrêt d'arrosage)

Dans le deuxième niveau du stress hydrique (1mois), on remarque que les différents génotypes testés enregistrent des teneurs en sucre assez éloigné des témoins. Les résultats suggèrent que les plantes utilisées ont été affectées par le stress hydrique. Néanmoins les deux génotypes Bousselam et Heider enregistrent des valeurs plus élevées (137.05 ± 6.88) $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$ et (103.06 ± 4.65) $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$. la moyenne des génotype restants varient entre (41.55 ± 8.64) $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$ pour Bidi 17 , (54.09 ± 2.71) $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$ pour Capeiti 8 , (70.44 ± 6.54) $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$ pour Waha et (72.08 ± 7.88) $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$ pour MBB (**Figure 07**)

Tableau 04 : Analyse de la variance ANOVA teneur en sucres solubles (stress sévère)

Proline	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Variété	10249,396	1708,233	49,556	< 0,0001***
Traitement	0,000	0,000	0,000	NS
Variété × Traitement	11888,818	2377,764	68,979	< 0,0001

* $p \leq 0,1$, ** $p \leq 0,05$, *** $p \leq 0,001$: respectivement significative, hautement significative et très hautement significative ; **Ns** : non significative.

L'analyse de la variance au facteur niveau de stress hydrique, donne une différence très hautement significative. Les mêmes résultats ont été obtenus au facteur variété et au facteur interaction (variété × traitement ; **tableau 7**).

Le test de **NEWMAN-KEULS** au seuil 5% classe le facteur variété en cinq groupes homogènes (**Tableau 15 -Annexe 07**). Le premier groupe A comprend le génotype Bousselam qui accumule fortement les sucres solubles avec une moyenne de 89.182 $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$. Le groupes B représente le génotype Heider qui accumulent moyennement les sucres solubles avec une moyennes de 81.744 $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$. Le groupe C contient les génotypes qui n'accumule pas beaucoup de sucre est représenté par Waha et MBB le groupe D représente le génotype avec un taux faible sucre qui est Capeiti 8 avec une moyenne de 50.087 $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$ le dernier groupe représente le génotype qui accumule le moins de sucre est représenté par Bidi 17 avec une moyenne de 40.406 $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$

le test **NEWMAN-KEULS** au seuil 5% Pour le facteur traitement donne deux groupes homogènes (**Tableau 16-Annexe 07**). Le premier groupe A contient les géotypes stressé avec une moyenne de 79.717 $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$. Le groupe B abritent les géotypes témoins avec une faible moyenne en teneur en sucres solubles avec 48.006 $\mu\text{g}/100\text{mg MS}$ (**Tableau 15- Annexe 07**).

2. Discussions

2.1. Paramètres physiologique

2.1.1. La teneur en eau

La TRE est un indicateur très utilisé pour mettre en évidence l'état de la balance hydrique d'une plante. La chute observée des teneurs en eau chez nos différentes variétés.

La teneur en eau des feuilles de blé dur diminue proportionnellement avec la

Réduction d'eau contenue dans le sol (Bajji et al., 2001).

La diminution de TRE chez la variété Capeiti8 ET Boussem est très élevée, donc ces variétés sont très sensibles au stress hydrique que les autres variétés. Le manque d'eau est un élément déterminant pour la croissance des plantes, particulièrement en région arides et semi arides. Il induit chez les plantes stressées une diminution du contenu relatif en eau (Albouchi et al., 2000).

2.2. Paramètres biochimiques

2.2.1. La Teneur en proline

Dans cette expérience les six variétés n'utilisent pas la même stratégie qui est la teneur en proline pour tolérer le stress. La variété MBB utilise la proline pour la tolérance au stress. Selon Wilfred (2005) la capacité d'accumuler la proline chez les plantes est un facteur variétal et un signe de tolérance au stress hydrique. Mais la variété Waha n'utilise pas la proline comme une substance de résistance au stress hydrique.

Plusieurs auteurs montrent que l'augmentation de la teneur en proline est liée directement à l'application du stress hydrique (Cechin et al., 2006). L'accumulation de proline a été démontrée chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress

(osmotiques, hydriques, thermiques) (Blum, 1996). Plus le niveau de stress appliqué augmente plus les teneurs en proline deviennent plus marquées (Savouré et al., 1995).

Cette corrélation négative entre l'accumulation de la proline et l'humidité du sol est observée chez différentes espèces de blé dur (Nouri, 2002)

L'existence chez les céréales d'une variation intra-spécifique pour l'accumulation de la proline sous l'effet du déficit hydrique suggère la possibilité d'une sélection, sur la base de ce caractère, des génotypes performants en condition de stress hydrique (Laala., 2010).

2.2.2. La teneur en sucres solubles

La teneur en sucres solubles augmente corrélativement au fil du degré de stress chez les six génotypes étudiés. Les fortes accumulations des sucres solubles sont observées au deuxième niveau de stress (1 mois), par contre les plus faibles teneurs en sucres solubles sont enregistrées en condition d'irrigation.

L'accumulation des sucres solubles est un moyen adopté par les plantes en cas de stress, afin de résister aux contraintes du milieu (Mouellef., 2010). Dans notre expérience on remarque que la variété Waha utilise l'accumulation des sucre soluble comme moyen de se protégé du stress hydrique contrairement a la variété BIDI 17 qui n'utilise pas cette stratégie.

Les sucres solubles protègent les membranes contre la déshydratation, en condition de déficit hydrique, ils participent en grande partie à l'abaissement du potentiel osmotique chez le blé. Les plantes stressées ont réagi par l'augmentation des quantités de sucres solubles au niveau de leurs cellules (Hireche., 2006). Cette augmentation est en réalité une confirmation des résultats des chercheurs qui ont affirmé que le déficit hydrique a causé une accumulation importante des sucres solubles au niveau des feuilles (Zerrad et al., 2006).

Différents sucres solubles peuvent être présents dans les tissus bien hydratés, mais le saccharose est préférentiellement accumulé dans les tissus en déshydratation. (Dubos .,2001 ; Sairam et tyagi, 2004).

L'accumulation des sucres solubles peut résulter d'une augmentation de l'hydrolyse de l'amidon puisqu'ils ont enregistré, simultanément, une diminution de l'amidon et une accumulation de sucres solubles dans les tissus stressés (Bouchelaghem., 2012).

Les osmolytes, les plus importants, qui s'accumulent chez les céréales en conditions de déficit hydrique, sont représentés, entre autres, par le sucre et la proline. Ces osmolytes jouent un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation de la plante au manque d'eau (Laala., 2010).

3. Les paramètres physiologiques et biochimiques

L'analyse de la variance effectuée sur les paramètres du statut hydrique, physiologiques et les paramètres biochimiques à savoir teneur relative en eau, teneur en proline et en sucres solubles montrent une différence très hautement significative au facteur régime hydrique. Les mêmes résultats ont été obtenus au facteur variété et au facteur interaction (variété × régime hydrique) pour toutes les variables

Tableau 06. Analyse de la variance (ANOVA) des variables physiologiques et biochimiques chez six génotypes étudiés de blé dur

Variables	Effet génotypes (F1)				Effet traitement (F2)				Effet génotypes× traitement (F1× F2)			
	SCM	CM	F	Pr > F	SCM	CM	F	Pr > F	SCM	CM	F	Pr > F
TRE(%)	1297,142	216,190	7,183	0,0000***	10504	10504,01	349,008	0,0001***	1656,086	276,01	9,17	0,0001***
Proline	2660,735	332,592	2,257	0,037**	5505,195	5505,195	37,355	0,0001***	4608,606	576,076	3,909	0,001***
Sucres solubles								0,0001***				0,0000***

* $p \leq 0,1$, ** $p \leq 0,05$, *** $p \leq 0,001$: respectivement significative, hautement significative et très hautement significative ; NS : Effet non significatif*

4. Discussion générale

Dans notre travail, nous avons déterminé les effets du stress hydrique sur des paramètres physiologiques et biochimiques ; où nous avons observé ainsi une diminution de ces paramètres.

Pour les teneurs en eau, nous avons mis en évidence une diminution de la teneur moyenne en eau des feuilles, La teneur en eau relative dans la feuille est un bon indicateur de l'état hydrique; elle diminue chez les variétés stressés.

Ainsi, il apparait selon nos résultats que la partie aérienne est très affectée par le manque d'eau Pour s'adapter et maintenir l'hydratation et la turgescence de ses tissus, la plante va faciliter l'entrée d'eau au niveau des racines. Soit en augmentant la conductivité hydraulique (composition membranaire) ou en effectuant un ajustement osmotique (contrôle des concentrations en solutés). Ces stratégies mises en œuvre pour maintenir l'homéostasie en condition de stress hydrique ou ionique sont consommatrices d'énergie et de ressources qu'elles détournent au dépend de la croissance (Dubois, 2005).

Selon plusieurs auteurs une baisse de la teneur en eau des organes de la plante est souvent notée lors d'un stress métallique (Barcelo et Poschenrieder, 1990 ; Pandolfini et al., 1992).

Celle-ci est à la base d'une diminution de la pression de turgescence et de plasticité pariétale des cellules, responsable d'une activité mitotique faible donc d'une réduction de la croissance (Maroti et Bognar, 1991).

Dans ce travail nous nous sommes également intéressés à la teneur en proline en présence du stress hydrique ; nous avons ainsi mis en évidence une forte augmentation de ce

paramètres connu comme étant un biomarqueur de stress.(Panda, 2003; Ben Khaled et al, 2003; Abdul, 2004 ; Leprince et al., 2004).

Ainsi, l'accumulation de la proline est le résultat de l'inhibition de l'assimilation du CO₂ (Viégas et Gomes Da Silveira, 1999) et l'augmentation du catabolisme des protéines (Viégas et Gomes Da Silveira, 1999 ; Lluch et al., 1995 in Ben khalled et al., 2003) et/ou une synthèse de nouveau de cet acide aminé.

De nombreuses études mettent en évidence une accumulation de teneurs élevées en sucres solubles chez différents types de plantes soumises à différents stress : hydrique (Mefti et al., 1998 ; Kameli et Losel, 1995) ; salin (Zid et Grignon, 1991), osmotique (Abdelkrim et al., 2005) et métallique (Bouchelaghem et al., 2011). Cette augmentation est en réalité un paramètre d'adaptation aux conditions de stress (Tahri et al, 1998), permettant de constituer une garantie pour le maintien d'une intégrité cellulaire élevée (Mefti et al., 1998).en effet, les sucres peuvent protéger les membranes et les protéines contre la déshydratation en incitant la formation d'une sorte de verre aux températures physiologiques (David et al., 1998). Le saccharose peut agir en tant que composé soluble compatible et son accumulation peut permettre d'éviter la cristallisation des molécules contenues dans la cellule. Elle limite donc les dommages au niveau des structures cellulaires.

L'accumulation des solutés organiques (sucres, proline) n'est autre qu'un phénomène d'adaptation au stress, permettant à la plante de maintenir sa turgescence par la diminution du potentiel hydrique, c'est une forme d'ajustement de son potentiel osmotique (Monneveux, 1991).

Conclusion

Conclusion

L'étude de la réponse au stress hydrique chez les six variétés de blé dur testées révèle l'existence d'une grande variabilité pour les paramètres mesurés (TRE ,teneur en proline et en sucres solubles). L'effet du stress hydrique est bien marqué entre les variétés témoins et leurs stressés.

Lors de notre expérimentation, nous avons étudié la réponse de ces six variétés de blé dur au stress hydrique (sévère et modéré), par une analyse de variance de quelques paramètres physiologiques et biochimiques. On a pu observer une diminution de la teneur relative en eau, et une Accumulation de la proline et des sucres solubles chez les six variétés mais avec des degrés différents .

Le stress hydrique a provoqué une diminution de la teneur relative en eau (TRE) chez les six géotypes testés qu'elles soient locale ou importé . Le stress hydrique induit une baisse dans la TRE (la variétés Capeiti 8 note le plus forte diminution en TRE) et inversement il provoque une augmentation de la proline (MBB est une variétés qui accumules le mieux la proline) par contre Waha accumules le mieux les sucre solubles ,

La réponse biochimique évaluée à travers le processus d'accumulation de proline et des sucres solubles des six variétés (Waha ,Bousselam ,Capeiti8 , Eider, MBB et BIDI 17) sous stress hydrique, a mis en évidence le caractère de ces six variétés qui expriment leur capacité à synthétiser et accumuler la proline et les sucres solubles .

L'accumulation de ces composés organiques au niveau des feuilles est un phénomène lié aux régimes hydrique et aux variétés. Les six variétés étudiées ont utilisé des stratégies différentes de tolérance vis-à-vis du stress hydrique. MBB et Capeiti 8 utilisé l'accumulation de proline pour la tolérance au stress hydrique mais la variété Eider , Waha et Bousselam

utilisent l'accumulation des sucres solubles comme mécanisme de défense, la variété Bidi 17 utilise la TRE comme mécanisme de défense.

Les résultats d'accumulation des sucres solubles de la proline, permettent de conclure que le stress hydrique modifie la composition biochimique des organes.

Perceptive :

- ❖ Croisé ces variétés entre elles.
- ❖ Étudier le rendement.
- ❖ Proposer une étude jusqu'au stade graine.
- ❖ De compléter le travail par des études de biologie moléculaire pour identifier les gènes responsables.
- ❖ Croisé les variétés locales et introduite entre celles qui portent les meilleurs gènes de défense contre le stress hydrique.

Références Bibliographiques

1. **Abeledo et al., 2008** . Abeledo L.G., Savin R., Gustavo A. & Slafer., 2008. Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. *Europ. J. Agronomy*. 28. 541-550p.
2. **Abdelkrim et al., 2005** . Abdelkrim F., Djebbar R. et Aid F., 2005. Effet d'un stress osmotique sur la germination et le début de croissance de deux variétés de colza : Brassica napus L. Eurol et Goeland. 1^{er} Colloque Euroméditerranéen de Biologie Végétale et Environnement, Annaba 28-30 novembre 2005.
3. **Albouchi et al., 2000** .Albouchi A., Sebei H., Mezni M. Y. & EL Aouni M. H., 2000. Influence de la durée d'une alimentation hydrique déficiente sur la production de biomasse, la surface transpirante et la densité stomatique d'Acacia cyanophylla. *Annales de l'INRGREF*. 4 : 138- 61p.
4. **Amigues et al., 2006** .Amigues J.P., Debaeke P., Itier B., Lemaire G., Seguin B., Tardieu F., Thomas A. (éditeurs), 2006. Adapter l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France), 72p.
5. **Anonyme., 2002** . Conseil international des céréales. International Grains Council. *World Grains Statistics*: 13-17 p.
6. **Anonyme., 2006** . Les marchés mondiaux du blé. USDA. http://www.agpb.com/fr/dossier/eco/marchesmondiaux_2006.pdf. (25.05.2008/11:37).
7. **Barcelo J. Poschenrieder C., 1990**. Plant water relations as affected by heavy metal stress: A review. *Journal of Plant Nutrition* ; Vol/Issue: 13:1; 1-37.
8. **Bajji et al., 2001**.Bajji M., Lutts S. & Kinet J-M. 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Sci*. 160 669 -681p.
9. **Barbottin et al., 2005**. (Barbottin A., Lecomte Ch., Bouchard Ch., Jeuffroy M.H. (2005): Nitrogen remobilization during grain filling in wheat: Genotypic and environmental effects. *Crop Sci.*, 45: 1141–1150.

10. **Barrs H., 1968.** Determination of water deficit in plant tissues. In: Water Deficit and Plant Growth. Koslowski T. Academy Press. New York. 235_368 p.
11. **Belhassen et al., 1995.** (Belhassen , E., This, D., Monneveux, P. 1995. L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. Cahiers Agricultures. 4 / 251 - 61.)
12. **Bellinger et al., 1991.** (Bellinger Y., Bensaoud A. & Larher F. 1991. Physiological significance of proline accumulation, a trait of use to breeding for tress tolerance. Colloque Physiology- Breeding of winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments, Montpellier (France). Les colloques .55. (éd). Inra. Paris
13. **Bencharif et Rastoin., 2007.** « Concepts et méthodes de l'analyse de filières agroalimentaires : application par la chaîne globale de valeur au cas des blés en Algérie ». Montpellier (France): UMR MOISA. 24 p. (Working Paper; n. 7).
14. **Ben naceur et al., 2001.** Ben Naceur M., Rahmone C., Sdiri H., Meddahi M.L., Selmi M., 2001. Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en de quelques variétés maghrébines de blé. Secheresse. Vol. 3, 167-174
15. **Bensalemet al., 1991.** Ben Salem M., Boussen 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.
16. **Bergareche et al., 1993.** Bergareche C., Llusia J., Febrero A., Bort J. & Araus J.L. 1993. Effect of water stress on proline and nitrate content of barley relationships with osmotical potential, carbon isotope ratio and grain yield. Colloque Diversité génétique et amélioration variétale. Montpellier (France). Les colloques.64. (éd). Inra. Paris
17. **Bernard., 2006.** L'eau et la vie. (éd). Dauphin. Paris : 13- 59 p.
18. **Blum., 1996.** Blum A., 1996. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation plant growth regulation. 20: 135 - 148 p.
19. **Bonjean et Picard., 1991.** Bonjean , A., Picard, E. 1991. Les céréales à paille. Origine-histoire-économie-sélection. Ligugé; Poitiers : Aubin imprimeur.

20. **Bouchelaghem., 2012.** Bouchelaghem S., 2012. Contribution à l'étude de l'impact d'un engrais couramment utilisé en algérie (NPK) sur la croissance le métabolisme et le développement racinaire d'un modèle végétale blé dur . Thèse de doctorat. Univ. Constantine
21. **Bouchelaghem S. Djebbar Berrebbah H. Djebbar M.R., 2001.** The impact of dust emits by the steel complex of El Hadjar (ANNABA) on two biological models: Mousse and lichens. African Journal of Biotechnology Vol. 10(18), 3574-3578
22. **Bouchelaghem S. Djebbar Berrebbah H. Djebbar M.R. 2011.** The impact of dust emits by the steel complex of El Hadjar (ANNABA) on two biological models: Mousse and lichens. African Journal of Biotechnology Vol. 10(18), 3574-3578
23. **Bouzerzour et al., 1998 .** Bouzerzour, H., 1998- La sélection pour le rendement en grain, la précocité la biomasse aérienne et l'indice de récolte chez l'orge (*Hordeum vulgare*.L) en zone semisaride Thèse d'état université Mentouri Constantine :165p.
24. **Boyer., 1982.** Plant productivity and environment. Sci, New series. 218: 443 - 448 p
25. **Bozzini., 1988.** Bozzini A. 1988. Origin, distribution and production of durum wheat in the world. In Fabriani G. & Lintas C. (éd). Durum: Chemistry and Technology. AACCC (Minnesota). Etats-Unis : 1-16 p.
26. **Chaib G., 1998.** Teneur en proline chez les différents organes de blé dur (*Triticum durum* Desf) : Essai d'explication des conditions d'accumulation sous manque d'eau. Thèse de magister. Univ. Constantine.
27. **Cechin et al., 2006.** Cechin I., Rossi S.C., Oliveira V.C. & Fumis T.F. 2006. Photosynthetic responses and proline content of mature and young leaves of sunflower plants under water deficit. PHOTOSYNTHETICA .44 (1): 143-146p.
28. **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
29. **Cheftel.J.C et Cheftel.H., 1992 .** Cheftel J.C. & Cheftel H. 1992. Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments.V1. Tec & Doc. Paris .Lavoisier : 381 p.

30. **Chehat, 2007.** Chehat F., « Impact des réformes économiques sur la céréaliculture algérienne », options méditerranéennes, Série B/ n°8 – Crises et transitions des politiques en méditerranée.(1994)
31. **Chehat F.**, « Les politiques céréalières en Algérie », Paris, France, CIHEAM 2006)
32. **Chehat F.**, « Analyse macroéconomique des filières, la filière blés en Algérie. Projet PAMLIM : Perspectives agricoles et agroalimentaires Maghrébines Libéralisation et Mondialisation » Alger : 7-9 avril 2007.).
33. **Chellali., 2007.**(Marché mondial des céréales : L'Algérie assure sa sécurité alimentaire.
<http://www.lemaghreb.dz.com/admin/folder01/une.pdf>
34. **Clark et al.,2002.** 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.
35. **Clarke & al., 1989** (Clarke, J.M., Romagosa, I., Jana S., Srivastava, J.P., McCaig, T.N. 1989. Relation of excised leaf water loss rate and yield of durum wheat in diverse environements. *Can; J.Plant Sci.* 69: 1057- 1081
36. **Clark et Mac-Caig, 1982.**Clarck & Mac-Caig. 1982. Excised leaf water relation capability as an indicator of drought resistance of Triticum genotypes. *Can.J . Plant Sci .* 62: 571-576 p.
37. **Cochard et al, 1996.** Cochard H., Bréda N. & Granier A. (1996a) Whole tree hydraulic conductance and water loss regulation: evidence for stomatal control of embolism? *Annales Des Sciences Forestières* 53, 197–206
38. **David et al., 1998.** 22.David M.M., Coelho D., Bannote I., and Correira M. J., 1998. Leaf age effects on photosynthetic activity and sugar accumulation in droughted and rewatered *Lupinus albus* plants. *Aust. J. physiol .*25: 299-306
39. **Davies et al., 1994** .Davies , W.J., Tardieu, F., Trejo, C.1994. How do chemical signals work in plant that grow in dryng soil? *Plant Physiol;* 104 : 309-14.
40. **Debaeke et al.,1996** .Debaeke P., Cabelguenne M., Casals ML. & Puech J., 1996. Élaboration du rendement du blé d’hiver en conditions de déficit hydrique. II. Mise au point et test d’un modèle de simulation de la

- culture de blé d'hiver en conditions d'alimentation hydrique et azotée variées. *Epicphase-blé. Agronomie*.16: 25 - 46 p.
41. **Déjardin et al.,1999**.Déjardin A., Sokolov L.N. & Kleczkowski L.A. 1999 .Sugar/osmoticum levels modulate differential abscisic acid-independent expression of two stress-responsive sucrose synthesis genes in Arabidopsis. *Biochem J* . 344: 503 -509 p.
42. **Dreier et Goring ,1974**.Dreier W., Gôring M., 1974. Der Einfluss hoher Salzkonzentrationen auf verschiedene physiologische Parameter von Maiswurzeln. *Wiss. Z. der HU. Berlin, Nath. Naturwiss. R.*, 23, 641-644.
43. **Dubois et al., 1956**(Dubois M., Gilles K.A., Hamilton P.A., Ruberg A. & Smith F., 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*.28.3:350-356p.
44. **Dubos .,2001** .Sairam et tyagi, 2004).(Dubos C., 2001. Réponse moléculaire de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse de doctorat. Univ. Henri Poincaré, Nancy-I. France.
45. **Elias, 1995** .Elias , E.M. 1995. Durum wheat products. In Fonzo, N., di (ed.), Kaan, F., (ed.), Nachit, M., (ed.). *Durum wheat quality in the Mediterranean region = La qualité du blé dur dans la région méditerranéenne*. Zaragoza: CIHEAM-IAMZ, 1995. p. 23-31: 1 ill.; 4 tables; 26 ref. (Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens ; n. 22).
46. **El jaafri, 1993**.El Jaafari S., 1993. Contribution à l'étude des mécanismes biophysiques et biochimiques de résistance à la sècheresse chez le blé.Thèse de doctorat.Univ.Gembloux.Belgique: 214p
47. **FAO.,2007**.FAO., 2007. Perspective alimentaires. Analyse des marches mondiales. <http://www.fao.org/010/ah864f/ah864f00.htm>.
48. **Feillet, 2000**(Feillet P., 2000. Le grain de blé : composition et utilisation. INRA. Paris.
49. **Fukaiet al., 1999** .Fukai, S., Pantuwan, G., Jongdee, B., Cooper, M., 1999. Screening for drought resistance in rainfed lowland rice. *Field Crops Research* 64, 61–74.
50. **Gate, 1995** .Gate, P. 1995. Ecophysiologie du blé blé- de la plante à la culture. In: *Techniques & Documentation tation*, p. 429, Paris.
51. **Gate et al.,1993**.Gate P., Bouthier A., Casabianca H. & Deleens E. 1993.Caractères physiologiques décrivant la tolérance à la sécheresse des blés cultivés en France : interprétation des corrélations entre le

- rendement et la composition isotopique du carbone des grains. Colloque Diversité génétique et amélioration variétale Montpellier (France). Les colloques. 64. Inra . Paris.
52. **Gaudillère et Barcelo, 1990.** J.P. Gaudillère et M.O. Barcelo, J. Agronomie, 10 (1990) 423-432
53. **Geigenberger et al., 1997.** Geigenberger P., Reimholz R., Geiger M., Merlo L., Canale V. & Stitt M . 1997. Resolution of sucrose and starch metabolism in potato tubers in response to short-term water deficit. Planta. 201: 502 -518 p.
54. **Henchi, 1987 .** Henchi, B. 1987. Effets des contraintes hydriques sur l'écologie et l'écophysologie de *Plantago albicans*. L. Thèse de doctorat d'État, univ Tunis
55. **Hinckley et Braatne, 1994 .** stomata in Wilkinson RE eds plant-environment interaction . new york : marcel dekker INC .323-255
56. **Hireche., 2006.** Hireche., 2006. Réponse de la luzerne *Medicago sativa* (L) au stress hydrique et à la profondeur du semis. Thèse de Magister. Univ. EL Hadj Lakhdar. Batna :83 p.
57. **Hopkins., 2003.** Physiologie végétale. Ed. Révision scientifique de Charles. Marie Evard. P 23-453
58. **Huang et al., 2002 .** Huang, Jikun, Scott Rozelle, Carl Pray, and Qingfang Wang. 2002a. "Plant Biotechnology in China," Science, Vol. 295, 25 January 2002: 674-677.
59. **Hurd, 1974 .** Phenotype and drought tolerance in wheat. Agric. Meteorol., 14: 39-55.
60. **Jeant et al., 2006.** Jeantet R., Croguennec T., Schuck P. & Brulé G. 2006. Science des aliments : Biochimie- Microbiologie- Procédés- Produits. V2. Technologie des produits alimentaires. (éd). TEC & DOC. Paris
61. **Jing et Chang, 2003.** Genetic diversity in wheat (*Triticum aestivum*) germplasm resources with drought resistance", Acta of Botanic Boreal-Occ Sin. 23, pp. 410-416) et Kasuga et al.
62. **Jones et al., 1989.** Jones H.G., Flowers T.J. & Jones M.B. 1989. Plants Under Stress. Univ. Cambridge.
63. **Jones et al., 1980.** Jones, M.M., Osmon, B., and Turner, N.C. 1980. Accumulation of solutes in leaves of sorghum and sunflower in response to water deficits. Aust J Plant Physiol, 7: 193-205.

64. **Kahali, 1998**. Des paramètres de l'élaboration du rendement chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.), cultivés en conditions de déficit hydrique-
thèse de magister ISN-Université Constantine
65. **Karakas et al., 2011**. Karakas O, Gurel F. and Uncuoglu AA 2011
Assessment of genetic diversity of wheat genotypes by resistance gene analog-est markers. *Genetics and Molecular Research* 10:1098-1110.
66. **Kellou, 2010** . KELLOU R., « Les exportateurs céréaliers français sur le marché algérien du blé : opportunités et contraintes », PP 77-104, Les Cahiers du CREAD n°94/2010
67. **Kreim et kronstad, 1981**. Kreim , D.L., kronstad, W.E. 1981. Drought response of winter wheat cultivars under field stress conditions. *Crop Sci* ; 21: 11-5.
68. **Laala., 2010**. Analyse en chemin des relations entre le rendement en grains et les composantes chez des populations F3 de blé dur (*Triticum durum* Desf.) Sous conditions semi-arides. L.Thèse de Magistère. Univ. ferhat abbas-setif ufas (algerie
69. **Laberche, 2004**. Larcher W., 2001. *Physiologie plant ecologie*. 4th edition .Ed. Based on the translation of the third edition. P 350
70. **Lacaze, 2006**. Lacaze , X. 2006. Développer des plantes résistantes à la sécheresse. Exemple des recherches sur les céréales menées à l'Institut de L'Évolution. Ambassade France en Israël. Service de coopération & d'action culturelle 16 pp
71. **Leclerc, 1999**. Leclerc J.C. 1999. *Ecophysiologie végétale*. Publication de l'université de Saint Etienne. Paris: 283 p.
72. **Levitt, 1980**. Levitt J. 1980. *Responses of plants to environmental stresses*. Academic Presse, New York.
73. **Levy et Feldman, 2002** .Levy, A.A. and Feldman, M. (2002) The impact of polyploidy on grass genome evolution. *Plant Physiology* 130, 1587-1593.
74. **Ludlow et Muchow, 1990** .Ludlow, M.M., Muchow, R.1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water limited environments. *Adv Agron* ; 43: 107-53.

75. **Madhava Rao et al., 2006.** Madhava Rao K.V., Raghavendra A.S. & Janardhan Reddy K. 2006 . Printed in the Netherlands. Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. Springer: 1-14 p.
76. **Makhlouf et al., 2006 .** Mekhlouf , A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Hadj Sahraoui, A., Harkati, N. 2006. Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. Sécheresse. Vol 17, Num 4, 507-1 3.
77. **Maroti et Bogнар, 1991.** Maroti M., Bogнар J., 1991. Effect of toxic metals inhibiting the growth of plant cellus tissues. acta agronomica hungaria, 40: 39-47.
78. **Mazouz, 2006.** Mazouz , L. 2006. Etude de la contribution des paramètres phéno morphologiques dans l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Dsf.) dans l'étage bioclimatique semi aride. Mémoire de Magister. Dept Agr, Fac Sci, UHL, Batna, Algérie
79. **Mefti M., Abdelguerfi A. et Chebouti A., 1998.** Etude de la tolérance à la sécheresse chez quelques populations de *Medicago truncatula* (L.) Gaertn. Science (5) : 173-176.
80. **Mckay, 1985.** in Bootsmaetal.,1996 (Bootsma A., Boisvert J.B., Dejong R. & Baier W. 1996. La sécheresse et l'agriculture canadienne. Sécheresse : 277 - 285 p
81. **Mouna e, Said m, Mounsif b, Nasserelhaq n., 2010.** Effet du stress hydrique sur la répartition ionique dans les feuilles et les racines du blé dur (*Triticum Durum*)
82. **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.
83. **Morgan et Gordan, 1986.** Morgan, J.M., Gordan, A.G. 1986. Water use, grain yield and osmoregulation in wheat. Aust J Plant Physiol; 13: 523-32.
84. **Morgan, 1984.** Morgan, J.M., 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. Plant Physiol.; 35,299-319.
85. **Meinzer , F.C., Grantz, D.A. 1990.** Stomatal and hydraulic conductance in growing sugarcane: stomatal adjustment to water transport capacity. Plant, Cell Environ. 13 :383-388.
86. **Monneveux P. and Nemmar M : 1986.** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et

- chez le blé dur (*Triticum durum* Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle développement Agronomie 6 : 583- 590.
87. **Mouellef., 2010.** Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Thèse de Magistère Université Mentouri Constantine
88. **Nouri L. 2002.** Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum*, Desf), en condition de déficit hydrique. Thèse de Magistère en Biologie végétale Univ Mentouri. Constantine. 77p. Nouri L., Ykhlef N. & Djekoun A. 2002. Ajustement osmotique et comportement hydrique chez certaines variétés de blé dur : relation avec la tolérance à la sécheresse. Actes de séminaire ' IIIème journées Scientifiques sur le blé'. (éd). Univ. Mentouri. Constantine. Prats,1960 ;Créte,1965 ;Feillet,2000
89. **Passioura J. B. 1983.** Roots and drought resistance. *Agric. Water Manag.* 7 265–280 10.1016/0378-3774(83)90089-6
90. **-Pandolfini et al., 1992 ,. Pandolfini T, Gabrielli R, Comparini C. 1992.** Nickel toxicity and peroxidase activity in seedlings of *Triticum aestivum* L. *Plant, Cell and Environment* 15, 719-25.
91. **Quarrie, S.A., J. S Tojanovic and S. PEKIC, (1999).** Improving drought tolerant in small-grained cereals: A case study, progress and prospects. *Plant. Growth. Reg.*, 29: 1-21
92. **Slama A. 2002.** Étude comparative de la contribution des différentes parties du plant du blé dur dans la contribution du rendement en grains en irrigué et en conditions de déficit hydrique. Thèse de doctorat en biologie. Tunis.
93. **Slama A., Ben Salem M. & Zid D. 2004 Slama A., Ben Salem M., Ben Naceur M. & Zid E.D. 2005** La proline est-elle un osmorégulateur chez le blé dur ? Communication aux 15es Journées biologiques. Forum des sciences biologiques. Association tunisienne des sciences biologiques. Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. Institut national de la recherche agronomique de Tunisie (Inrat). Univ. Elmanar. Tunisie.
(http://www.john-libbeyeurotext.fr/fr/revues/agro_biotech/sec/e-docs/00/04/11/2E/telecharger.md).

94. **Soltner D., 1998.** Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. Sainte-Gemme-sur-Loire, Sciences et Techniques Agricoles
95. **Samaras Y., Bresson R.A., Csonka L.N., Garcia-Rios M.G., Paino D'Urzo M. & Rhodes D. 1995.** Proline accumulation during drought and salinity. In : Sminoff N. Environment and plant metabolism, flexibility and acclimation. Oxford BIOS.161: 79- 88 p.
96. **Savouré A., Jaoua S., Hua XueJun., Ardiles W., Van Montagu M. & Verbruggen N., 1995.** Isolation, characterization, and chromosomal location of a gene encoding the DELTA 1-
97. **Tsimilli-Michael, M., Pêcheux, M., Strasser, R.J., 1998.** Vitality and stress adaptation of the symbionts of coral reef and temperate foraminifers probed in hospite by the fluorescence kinetics O-J-I-P. Archs. Sci. Genève 51, 1–36
98. **Triboï E.1990.** Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre. Agronomie. 10 : 191- 200p.
99. **Turner MG, Gardner RH, O'Neill RV. 2001.** Landscape Ecology in Theory and Practice. New York: Springer-Verlag. 401 pp
100. **Tardieu et Dreyer, 1997 TARDIEU F., et DREYER E., 1997.** Régulation des échanges gazeux par les plantes soumises à la sécheresse. In L'eau dans l'espace rural. Production végétale et qualité de l'eau. INRA (Éditions), (France : Institut National de Recherche Agronomique), pp. 41-59
101. **Troll, W. et Lindesly, J., 1955.** A photometric method for the determination of proline. J. Biol. Chem. (215): 655-660.
102. **Tahri E., Belabed A. & Sadki K., 1997.** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Bulletin de l'Institut Scientifique. Rebat.21: 81 - 89 p
103. **Venekamp JH, Lampe JEM, Koot JTM (1989)** Organic acids as sources of drought-induced proline synthesis in fidd bean plants, *Vicia faba* L. J Plant Physiol 133: 654-659
104. **Wang W.X., Vinocur P., Altman A., 2003.** "Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance", *Planta*, 218, pp. 1-14.

105. **Wartinger & al., 1990; Davies & Zhang, 1991 Wartinger , A., Heilmeier, H., Hartung, W., Schultze E.D. 1990.** Daily and seasonal courses of leaf conductance and abscisic acid in the sylem sap of almond trees (*Prunus dulcis* M.) under desert conditions. *New Phytol.* 116 : 581-587.
106. **Wilfried C., 2005.** Proline as a measure of stress in tomato plants. *Plant Sci* 168 : 241-248.
107. **Zohary et Hopf, 1994** beginning of growing in the old world sciencee . 187:319-327
108. **Zerrad W., Hillali S., Mataoui B., El Antri S. & Hmyene A., 2006.** Etude comparative des mécanismes biochimiques et moléculaires de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé
109. **Zid E., Grignon C., 1991.** Tests de sélection précoce et résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique, L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux aride.Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris. 91-108.

A n n e x e s

*Annexe 01***Tableau 1 - Evolution des rendements du blé dur par rapport aux surfaces récoltées .**

Année	Blé dur (qx/ha)	Total céréales (qx/ha)
1996	13	13
1997	8	7
1998	9	8
1999	11	10
2000	10	9
2001	11	11
2002	9	11
2003	15	15
2004	10	13
2005	15	15
2006	15	15
2007	15	15
2008	12	12

Source : MADR, 2010 (*Ministère de l'Agriculture et du Développement Rurale*)

Annexe 02

Tableau 3. Principaux caractères impliqués dans les mécanismes de tolérance à la sécheresse (Turner *et al.*, 2001)

Mécanisme	Utilité	Facilité de sélection	
1-Esquive			
Phénologie	Très haute	Facile	
Plasticité de développement	Haute	Facile	
2- Evitement de la déshydratation			Contrôle stomatique
ABA	Haute	Difficile	
Ajustement osmotique	Discutable	Difficile	
Développement racinaire	Fonction des espèces	Difficile	
3- Tolérance à la déshydratation			
Stabilité membranaire	Haute	Facile	
Potentiel hydrique létal	Haute	Difficile	
Proline	Discutable	Facile	

Annexe 03

les capacitaires et origines des différentes variétés utilisées :

Variété et caractéristiques	Caractéristiques des origines	Caractéristiques agronomiques et technologiques	Résistance au maladies
BOUSSELAM	<p>-Origine :SYRIE</p> <p>_pédigrée :eidar/marli/eidar-cro ICD-414-1BLCTR- 4AP</p> <p>-Obtenteur :semilas fito.Sa.</p> <p>-Demandeur :ITGC</p> <p>-Année d'inscription :2007</p>	<p>Rendement : -élevé</p> <p>Poids de milles graines (PGM) : - élevé</p> <p>Qualité semoulière : -bonne</p> <p>Mitadinage : -résistante</p> <p>Teneur en protéines : -15.01%</p>	<p>-oïdium sur feuilles : -moyennement sensible</p> <p>-oïdium sur épi : -résistante</p> <p>-rouille brune : - sensible</p> <p>-charbon : _*</p> <p>-fusariose : _*</p> <p>-septoriose : -moyennement sensible</p>

Variété et caractéristiques	Caractéristiques des origines	Caractéristiques agronomiques et technologiques	Résistance au maladies
BIDI 17	<p>-Origine :Espagne</p> <p>_pédigrée :*</p> <p>-Obtenteur :*</p> <p>-Demandeur :ITGC</p> <p>-Année d'inscription :1998</p>	<p>Rendement : -elevé</p> <p>Poids de milles graines (PGM) : - elevé</p> <p>Qualité semoulière : -bonne</p> <p>Mitadinage : -assez bonne</p> <p>Teneur en protéines : _*</p>	<p>-oïdium sur feuilles : -sensible</p> <p>-oïdium sur épi : _*</p> <p>-rouille brune : -assez sensible</p> <p>-fusariose : _*</p>

Variété et caractéristiques	Caractéristiques des origines	Caractéristiques agronomiques et technologiques	Résistance au maladies
CAPEITI	<p>-Origine :Italie</p> <p>_pédigrée :BIDI 17 X Eiti</p> <p>-Obtenteur :*</p> <p>-Demandeur :ITGC</p> <p>-Année d'inscription :2004</p>	<p>Rendement : -élevé</p> <p>-Poids de milles graines (PGM) : - élevé</p> <p>-Qualité semoulière : _*</p> <p>-Mitadinage : -assez sensible</p> <p>-Teneur en protéines : _*</p>	<p>-oïdium sur feuilles : -résistante</p> <p>-oïdium sur épi : _*</p> <p>-rouille brune : -assez sensible</p> <p>-charbon : _*</p> <p>-fusariose : _*</p> <p>-septoriose : -moyennement résistante</p>

Variété et caractéristiques	Caractéristiques des origines	Caractéristiques agronomiques et technologiques	Résistance au maladies
MOUHAMED BEN BACHIR	<p>-Origine :ALGERIE</p> <p>_pédigrée :*</p> <p>-Obtenteur :ITGC setif</p> <p>-Demandeur :ITGC</p> <p>-Année d'inscription :1998</p>	<p>Rendement : -élevé</p> <p>-Poids de milles graines (PGM) : - élevé</p> <p>-Qualité semoulière : -bonne</p> <p>-Mitadinage : -résistante</p> <p>-Teneur en protéines : _*</p>	<p>-oïdium sur feuilles : -résistante</p> <p>-oïdium sur épi : -résistante</p> <p>-rouille brune : -résistante</p> <p>-charbon : _*</p> <p>-fusariose : _*</p> <p>-septoriose : -moyennement sensible</p>

Variété et caractéristiques	Caractéristiques des origines	Caractéristiques agronomiques et technologiques	Résistance aux maladies
WAHA	<p>-Origine :SYRIE</p> <p>_pédigrée :PLC /Ruff//GTA "S"/3/...</p> <p>-Obtenteur :Icarda</p> <p>-Demandeur :ITGC</p> <p>-Année d'inscription :1998</p>	<p>Rendement : -élevé</p> <p>-Poids de milles graines (PGM) : - élevé</p> <p>-Qualité semoulière : -très bonne</p> <p>-Mitadinage : -sensible</p> <p>-Teneur en protéines : -13.95%</p>	<p>-oïdium sur feuilles : -résistante</p> <p>-oïdium sur épi : -résistante</p> <p>-rouille brune : -très sensible</p> <p>-charbon : -*</p> <p>-fusariose : -*</p> <p>-septoriose : -moyennement sensible</p>

Catalogue nationale des variétés céréalières édition 2015

❖ Heider est originaire de Syrie

Annexe 04

1-Analyse de la variance pour la TRE :

Classement et regroupements des groupes non significativement différents :
Tableau 09

Modalités	Moyenne	Regroupements
Bidi 17	83,164	A
Heider	61,095	B
MBB	54,091	C
Waha	44,168	D
bousselam	43,323	D
Capeiti	40,768	D

Classement et regroupements des groupes non significativement différents :
tableau 10 :

Modalités	Moyenne	Regroupements
témoin	77,360	A
stress	24,622	B

Annexe 05

2- analyse de la variance pour la proline (stress modéré) :

Classement et regroupements des groupes non significativement différents :
Tableau 11

Modalités	Moyenne	Regroupements
MBB	21,849	A
capeti	16,088	A B
BIDI 17	13,112	B C
bousselam	12,295	B C
waha	7,390	B C
eidar	5,644	C

Classement et regroupements des groupes non significativement différents :
Tableau 12:

Modalités	Moyenne	Regroupements
stress	14,440	A
témoin	11,019	A

Annexe 06

3-Analyse de la variance pour la proline (stress sévère) :

Classement et regroupements des groupes non significativement différents :
Tableau 13 :

Modalités	Moyenne	Regroupements
MBB	51,065	A
eidar	35,363	B
Capeiti	28,831	B
BIDI 17	27,710	B
waha	13,521	C
bousselam	11,969	C

Classement et regroupements des groupes non significativement différents :
Tableau 14 :

Modalités	Moyenne	Regroupements
stress	42,866	A
temoin	8,022	B

Annexe 07

4-Analyse de la variance pour la teneur en sucre (stress sévère) :

Classement et regroupements des groupes non significativement différents :

Tableau 15 :

Modalités	Moyenne	Regroupements
Bousselam	89,182	A
Heider	81,744	B
waha	70,446	C
MBB	64,328	C
capeti	50,087	D
BIDI 17	40,406	E

Classement et regroupements des groupes non significativement différents :

Tableau 16:

Modalités	Moyenne	Regroupements
stress	79,717	A
témoin	48,006	B

Annexe 08

5-Analyse de la variance pour la teneur en sucre (stress modéré) :

Classement et regroupements des groupes non significativement différents :
Tableau 17

Modalités	Moyenne	Regroupements
waha	98,169	A
capeti	66,798	B
heidar	60,483	C
bousselam	59,479	C
BIDI 17	49,581	D
MBB	29,835	E

Classement et regroupements des groupes non significativement différents :
Tableau 18 :

Modalités	Moyenne	Regroupements
témoin	67,698	A
stress	44,345	B

Nom : **Bachtarzi - Bensaad**
Prénom : **Nour Narimane – Narimane**

Date de Soutenance : 24 juin 2015

**Titre : L'adaptation au stress hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf) :
Criblage des critères physiologiques et biochimiques**

Résumé :

L'objectif de ce travail est d'étudier la variabilité des réponses au stress hydrique chez six variétés de blé dur d'origine diverses locales et introduites (*Triticum durum* Desf) : Bousselam, Bidi 17, Capeiti 8, Heider, MBB et Waha. Nous avons étudié quelques paramètres physiologiques et biochimiques à savoir la TRE ainsi que la teneur en proline et en sucres solubles sous deux niveaux de stress (sévère et modéré). Les résultats obtenus montrent que le stress hydrique a entraîné une diminution de la teneur relative en eau. Cependant une accumulation de la proline et des sucres solubles sont enregistrées chez chacune des variétés mais à des taux qui diffèrent, les variétés locale comme MBB montre une bonne résistance au stress hydrique par accumulation de taux élevé de proline contrairement à Waha et Bousselam qui eux accumule les sucres solubles, Bidi 17 montre une accumulation des deux osmolytes mais a des taux moindre, la variété introduite Heider résiste au stress en accumulent les sucres solubles plus que la proline contrairement à Capeiti 8 qui conte a lui accumule beaucoup plus la proline, la teneur en eau varient d'une variété a une autre et on remarque que les variétés introduites ont une meilleur teneur en eau que les variétés locales à l'exception de Bidi 17 qui compte a lui garde une bonne teneur en eau même en condition de stress.

Cette étude nous entraîne à privilégier l'accumulation de la proline et des sucres solubles comme des solutés osmorégulateurs et comme des critères de choix pour le criblage d'un grand effectif chez le blé dur. Les résultats ont montré que le stress hydrique provoque de différents mécanismes de réponse chez les différentes variétés

Mots clés : Blé dur, Stress hydrique, tolérance, TRE, Proline, Sucres solubles.

laboratoire de Nutrition Minérale et laboratoire de Développement et Valorisation et des Ressources
Phylogénétiques des Plantes à l'Institut de Science de la Nature et de la Vie Bio pole

Président : **Bélaribi M.,**

Prof. Université **Mentouri** Constantine.

Rapporteur : **Zoghmar M.,**

M C à Université **Mentouri** Constantine

Examineurs : **BOUchareb R.,**

M.C à l'Université **Mentouri** Constantine.

