

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DES SCIENCE
DE LA NATURE ET DE LA VIE

N° :.....



DOMAINE : SCIENCE DE LA NATURE
ET DE LA VIE

FILIERE : S. BIOLOGIQUES

OPTION : BIOTECHNOLOGIES
VEGETALES

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique
en Biotechnologies végétales**

Par : SAIDI Ahlam

Intitulé

**Etude comparative pour la tolérance au stress hydrique
chez quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.)**

Soutenu 23/06/2018 devant le jury composé de :

Dr. BOUNAR Rabeh, MCA

UMB, M'sila

Président

Dr. BENDERRADJI Laid, MCA

UMB, M'sila

Rapporteur

Dr. GHADBANE Mouloud, MCA

UMB, M'sila

Examineur

Année universitaire : 2017/2018

Remerciements

Tout d'abord, grâce à ALWWAHID qui m'a créé, m'a protégé, qui est toujours avec moi et qu'il ne me laisse jamais seule. Louanges à **ALLAH**.

Je tiens à remercier en particuliers mon encadreur, **Docteur. BENDERRADJI Laid** pour m'avoir encadré tout le long de ce travail, pour son soutien .Elle fut toujours présente, en particulier lorsque je me suis confrontée au doute, je lui suis reconnaissante pour : sa grande disponibilité, son ouverture d'esprit, son dynamisme et son optimisme, ainsi que pour ses multiples et précieux conseils scientifiques, professionnels ou tout simplement humains.

Je tiens à remercier les membres de jury : **Docteur. BOUNAR Rabeh**, pour avoir bien voulu présider le jury. **Docteur. GHADBANE Mouloud**, pour examiner et juger ce travail.

Je veux adresser tous mes remerciements à Mme **MESSAOUDI Noura** pour son octroi des variétés de blé dur pour ce travail. Je tiens à adresser mes remerciements à Mr. **SGHIRI Kamel**, chef des laboratoires de département SNV d'Université de M'sila. Je tiens particulièrement à remercier ingénieurs de laboratoire de Biotechnologies Végétales pour son aide.

Je voudrais aussi remercier également à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail à ma famille, je commence d'abord par mon très cher père, Ma très chère mère ;

J'espère qu'ils seront récompensés de tous les efforts Qu'ils ont déployés pour mon éducation ;

Pour mes sœurs sont adorables : Naoual et Samia ;

A mes frères : kamel, Samir, El Housine ;

Tous mes professeurs durant tous mes études ;

A tous mes amis pour leur soutien et leurs encouragements et spécialement mes copines, Ahlem, Hibat ;

La promotion de master 2 biotechnologies végétales de l'année universitaire 2017-2018 de M'sila.

SAIDI Ahlam

Liste des Abréviations

C° : Degré Celsius

Do : Densité optique

G% : Taux de germination

Mf : matière fraîche

PEG : polyéthylène glycol

PF : poids frais

PS : poids sec

PT : poids à pleine turgescence

RWC : Relative water content

SF : surface foliaire

PEG 0% : témoin par 0% de polyéthylène glycol

PEG 30% : traitement par 30% de polyéthylène glycol

PEG 50% : traitement par 50% de polyéthylène glycol

PEG 80% : traitement par 80% de polyéthylène glycol

TRE : teneur relative en eau

Liste des Figures

N°	Liste des Figures	Page
1	Localisation probable de la domestication du blé.	3
2	Différents stades de développement du blé.	6
3	Production et consommation de blé dur dans le monde.	7
4	Production mondiale du blé dur en 2016 et projections 2017.	8
5	Plan expérimental de germination et croissance des plantules.	20
6	Germination des grains du blé dur.	21
7	Contamination des quelques graines du blé dur	22
8	Méthode de la mesure de la teneur relative en eau (TRE).	23
9	La longueur de racine.	23
10	Mesure de la coléoptile.	24
11	Mesure de la longueur et la largeur de la feuille.	24
12	Quelques étapes de dosage de la proline.	26
13	Variation du taux de germination chez quater variétés de blé dur en fonction des concentrations en PEG.	27
14	Variation du taux de contamination chez quater variétés de blé dur en fonction des concentrations en PEG.	28
15	Variation de teneur relative en eau chez quater variétés de blé dur en fonction des concentrations en PEG.	28
16	Variation de longueur de racines chez quater variétés de blé dur en fonction des concentrations en PEG.	29
17	Variation de nombre de racines chez quater variétés de blé dur en fonction des concentrations en PEG.	29
18	Variation de longueur de la coléoptile chez quater variétés de blé dur en fonction des concentrations en PEG.	30
19	Variation du Surface foliaire chez quater variétés de blé dur en fonction des concentrations en PEG.	30
20	Variation de concentration en proline chez quater variétés de blé dur en fonction des concentrations en PEG.	31

Listes des Tableau

N°	Tableau	Page
1	Différents des concentrations du PEG6000	18

Sommaire

Remerciements	I
Dédicaces	II
Liste des Abréviations	III
Liste des Figures	IV
Liste des Tableaux	V
Introduction	1

Chapitre I : synthèse Bibliographie

I.1. Origine de blé dur	3
I. 1.1. Origines géographique	3
I. 1.2. Origine Génétique	3
I. 2. Classification botanique et Caractères généraux du blé dur	4
I. 2 .1. Classification botanique	4
I. 2. 2. Caractères généraux	4
I. 3. Cycle biologique du blé	5
A. Période végétative	5
B. Période reproductrice	6
I. 4. Importance et production du blé dans le monde et en Algérie	7
I.4. 1. Dans le monde	7
I. 4. 2. En Algérie	8
I. 5. Les contraintes de la production du blé dur	8
I. 5. 1. Notion de stress et types de stress environnementaux	8
I. 5. 2. Stress hydrique	9
I. 5. 3. Effet du stress hydrique sur la croissance et le développement du blé dur	10
I. 6. Mécanismes de la tolérance au stress hydrique	11
I. 6. 1. Adaptation phénologique	11
I. 6. 2. Adaptation morphologique	12
I. 6. 3. Adaptation physiologiques	13
I. 6.3.1. Teneur en chlorophylle	13
I. 6. 3. 2. Régulation stomatique	13
I. 6. 3. 3. Ajustement osmotique	14
I. 6. 4. Mécanisme d'adaptation biochimique en condition de stress hydrique	15

I. 6. 4. 1. Accumulation de la proline en condition de stress hydrique	15
I. 6. 4. 2. Sucres solubles	15
I. 6. 4. 3. Synthèse des protéines liées à la tolérance au stress hydrique	16
I. 6. 4. 3. 1. Déhydrines (Protéines du groupe des 'LEA' « Late-Embryogenesis-Abundant »)	16
I. 6. 4. 3. 2. Aquaporines	17

Chapitre II : Matériel et méthodes

II. 1. Objectif de l'essai	18
II. 2. Conduite de l'expérimentation et matériel végétal	18
II. 3. Plan expérimental	18
II. 3. 1. Préparation des solutions de polyéthylène glycol (PEG 6000)	18
II. 3. 2. Germination des graines sous stress hydrique	19
II. 3. 3. Croissance et développement des plantules sous stress hydrique	19
II. 4. Paramètres étudiés	21
II. 4. 1. Paramètres physiologiques	21
II. 4. 1. 1. Taux de germination (G%)	21
II. 4. 1. 2. Taux de contamination (%)	21
II. 4. 1. 3. Teneur relative en eau (TRE)	22
II. 4. 2. Paramètres morphologiques	23
II. 4. 2. 1. Longueur et nombre des racines	23
II. 4. 2. 2. Longueur de coléoptile (cm)	24
II. 4. 2. 3. Surface foliaire (SF « cm ² »)	24
II. 4. 3. Paramètres biochimiques	24
II. 4. 3. 1. Dosage de la proline	25

Chapitre III : Résultats et discussion

III. 1. Résultats	27
III.1. 1. Paramètres physiologiques	27
III.1. 1. 1. Taux de germination (G%)	27
III.1. 1. 2. Taux de contamination (%)	27
III.1. 1. 3. Teneur relative en eau (TRE)	28
III.1. 2. Paramètres morphologiques	28
III.1. 2. 1. Longueur de racines	28

III.1. 2. 2. Nombre de racines	29
III. 1. 2. 3. Longueur de coléoptile (cm)	29
III.1. 2. 4. Surface foliaire	30
III.1. 3. Paramètres biochimiques	30
III.1. 3. 1. Dosage de la proline	30
III. 2. Discussion générale	31
Conclusion et Perspectives	33
Références Bibliographies	34
Résumé	

Introduction

Introduction

Les céréales occupent, à l'échelle mondiale, une place primordiale dans les programmes de recherche agricole. Le blé occupe la première place pour la production mondiale et la deuxième, après le riz, comme source de nourriture pour les populations humaines (Slama et al., 2005). La culture des céréales est une spéculation prédominante de l'agriculture algérienne. Elle occupe près de trois millions d'hectares dans un système biennal dominant jachère-céréale (Adjabi, 2011).

Les céréales et particulièrement le blé dur occupe une place prépondérante dans l'agriculture et par conséquent l'économie Algérienne (Labdelli, 2011). Le blé dur y occupe une superficie importante : un million d'hectares environ (Larbi et al., 2000). Cette espèce constitue un élément de base du modèle alimentaire de la population locale néanmoins sa production demeure faible pour satisfaire les besoins sans cesse croissant et son importation constitue une lourde facture à l'économie Algérienne.

En Algérie, le blé est cultivé en conditions pluviales dans les plaines intérieures et plus particulièrement dans les hauts plateaux, appartenant aux étages bioclimatiques semi-arides (Labdelli, 2011). Dans la région méditerranéenne à climat aride ou semi- aride, l'eau constitue le principal facteur limitant l'extension et l'intensification des cultures céréalières. Les ressources en eau sont de plus rares (Alem et al., 2002).

La production nationale de blé dur (*Triticum durum* Desf.) est faible, ne permettant de satisfaire les besoins d'une population sans cesse croissante. Le pays figure parmi les plus grands importateurs mondiaux de blé dur, et s'accapare chaque année jusqu'à 50 % de l'offre de mondiale de blé dur. La faiblesse des performances de la céréaliculture algérienne a plusieurs origines dont le manque d'eau est le principal facteur limitant (Laala et al., 2009). Le déficit hydrique est l'un des facteurs limitants de la production. Dans les hautes plaines semi-arides de l'Algérie, la sécheresse est souvent un problème sérieux de la production du blé (Larbi et al., 2000). Il est à l'origine d'importantes variations locales et inter-annuelles de rendement chez le blé dur (Hafsi et al., 2001).

Toute stratégie visant à améliorer les niveaux de production de cette espèce, repose impérativement sur la qualité des solutions à apporter aux problèmes évoqués. La lutte contre les effets de la sécheresse nécessite deux voies. La pratique de l'irrigation d'appoint s'avère une solution difficile à atteindre, du fait de la rareté des ressources hydriques dont dispose la majorité des exploitations agricoles. Le recours à la culture des cultivars tolérants au déficit hydrique se montre comme la solution la plus judicieuse pour l'époque

actuelle (Zemour, 2014). Pour lutter contre le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu (Salmi, 2015). Les plantes ont développé des stratégies d'adaptation pour répondre à ces changements en ajustant leurs systèmes métaboliques (Oukarroum, 2007). La tolérance à la sécheresse est un phénomène complexe, faisant intervenir de nombreux mécanismes interagissant entre eux et à déterminisme génétique complexe. Les combinaisons de ces mécanismes définissent des stratégies d'adaptations de la plante vis-à-vis du stress (Meklicheet *al.*, 2003). Plusieurs caractères adaptatifs, d'ordres morphologiques, phénologiques et physiologiques, participent à l'amélioration de la tolérance aux stress abiotiques. Ils donnent, de ce fait, une certaine régularité à la production en milieux variables (Mazouz et Bouzerzour, 2017).

L'objectif de ce travail est de comparer le comportement de quelques variétés de blé dur soumises à un stress hydrique, en effectuant une étude de quelques paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques de tolérance au stress hydrique.

Ce mémoire est structuré en trois grandes parties, à savoir,

- Le Chapitre I, est une synthèse bibliographique sur le blé dur, le stress hydrique et les mécanismes morpho-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

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I. 1. Origine de blé dur

I. 1. 1. Origines géographique

Le blé est à l'origine la céréale des civilisations indo-européennes vivant sous climat tempéré (Botineau, 2010). Durant l'histoire, le passage d'une civilisation nomade à l'agriculture sédentarisée est le résultat de la domestication progressive des graminées cultivées dont la plus ancienne semble être le blé dur en 10000 an avant J.C puis le blé tendre entre 5000 et 6000 avant J.C (Doussinaut *et al.*, 1992 ; Harlan, 1995; Feillet, 2000. In : Amgoud, 2015). En ce qui concerne la localisation de la domestication des blés, on considérait jusqu'à aujourd'hui qu'elle avait eu lieu dans le Croissant fertile, vaste territoire comprenant, selon les auteurs, la vallée du Jourdain et des zones adjacentes de Palestine, de la Jordanie et de l'Irak, voire de la bordure Ouest de l'Iran. Récemment, des scientifiques israéliens (Lev-Yadun *et al.*, 2000) ont suggéré, sur la base de divers éléments botaniques, génétiques et archéologiques, que le creuset de notre céréaliculture se situerait en une zone plus limitée dudit Croissant fertile, localisée autour de l'amont du Tigre et de l'Euphrate, dans des territoires actuels de la Syrie et de la Turquie (Bonjean, 2001) et on croit que le blé dur provient des territoires de la Turquie, la Syrie, l'Iraq et l'Iran (Oudjani, 2009).

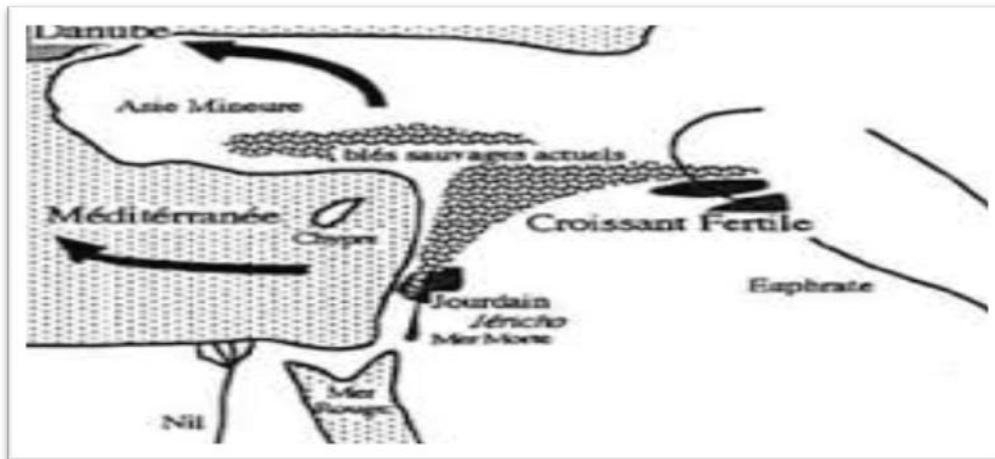


Figure 1 .Localisation probable de la domestication du blé (Naville, 2005)

I. 1. 2. Origine Génétique

Le blé constitue un groupe d'espèces polyploïdes (Henry et Buyser, 2000). La méthode d'analyse génomique, il a été clairement démontré que l'allopolyploïde a eu un

rôle essentiel dans l'apparition du blé dur et blé tendre. Les formules génomiques attribuées ont été (Gallais et Bannerot, 1992) :

AABB ($2n = 4x = 28$) pour le blé dur, AABBDD ($2n = 6x = 42$) pour le blé tendre. La filiation génétique des blés est complexe et incomplètement élucidée. Il est acquis que le génome A provient de *Triticum monococcum*, le génome B d'un *Aegilops* (*bicornis*, *speltoides*, *longissima* ou *searsii*) et le génome D d'*Aegilops squarrosa* (également dénommé *Triticum tauschii*). Le croisement naturel *T. monococcum* X *Aegilops* (porteur du génome B) a permis l'apparition d'un blé dur sauvage de type AA BB (*Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides*) qui a ensuite progressivement évolué vers *T. turgidum* ssp. *dicoccum* puis vers *T. durum* (blé dur cultivé). Les blés tendres cultivés (AA BB DD) seraient issus d'un croisement, également naturel, entre *T. turgidum* ssp. *dicoccum* (AA BB) et *Aegilops squarrosa* (DD) (Feillet, 2000).

I. 2. Classification botanique et caractères généraux du blé dur

I. 2 .1. Classification botanique

Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des Gramineae (Feillet, 2000). Leur famille très vaste, avec plus de 9500 espèces réparties en 660 genres environ, constituant par conséquent la quatrième famille par ordre d'importance des plantes à fleurs (Botineau, 2010). Les deux espèces les plus cultivées sont le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*) (Feillet, 2000). Sur plan génétique, le blé dur est une espèce tétraploïde ; il possède 14 paires de chromosome regroupées sous les génomes A et B, alors que le blé tendre est une espèce hexaploïde possédant 21 paires de chromosomes et associe le génome D aux deux génomes déjà présents dans le blé dur. (Franconie et al., 2010).

Le blé dur obéit à la classification suivante (Prats, 1960 ; Crête, 1965. In : Oudjan, 2009) ; (Feillet, 2000)

Règne : Planta ; Embranchement : Spermaphytes ; Sous Embranchement : Angiospermes

Classe : Monocotylédones ; Ordre : Glumiflorales ; Super ordre : Comméliniflorales ;

Famille : Gramineae ; Sous-famille : Festucoideae ; Tribu : Triticeae ; Sous tribu : Triticineae ; Genre : *Triticum* ; Espèce : *Triticum durum* Desf.

I. 2. 2. Caractères généraux

Le blé dur est une graminée annuelle et souvent fortement touffue, atteignant 170 cm de haut à racines fibreuses. La tige (chaume) est généralement cylindrique, lisse, creuse et entrecoupée de nœuds ou prennent naissance les feuilles. Ces dernières sont alternes distique, simple et entières à limbe linéaire et à nervures parallèles, plat et légèrement poilu. Le sommet de la tige porte un épi terminal, dense et distique de 4-12cm de long à épillets sessiles, solitaires comprimé latéralement, en quatre à sept fleurs bisexuées, mais dont l'une ou les trois supérieures sont généralement rudimentaires. Au niveau de chaque fleur, se trouve trois étamines et un ovaire supère se terminant par un petit appendice charnu et poilu à deux stigmates plumeux. Le fruit obtenu est caryopse (grain) ellipsoïde, muni d'un sillon central sur l'une des faces (Brink et Belay, 2006 ; Amallah, 2017).

I. 3. Cycle biologique du blé

A. Période végétative

A1. Stade Germination

La germination est le premier stade du cycle de vie des plantes pour produire une nouvelle génération. (Soussa et Brinis, 2016). Elle correspond à une activation métabolique de l'embryon qui assure l'élongation de la racicule puis celle du coléoptile (Boubaker et al., 1999). La germination du blé a lieu à des températures de 4-37°C, la fourchette optimale se situant entre 12-25°C. La coléoptile apparait 4-6 jours après la germination (Brink et Belay, 2006).

A2. Stade levée

La levée est définie par l'apparition de la première feuille qui traverse la coléoptile (Belagrouz, 2013). Cette période comporte 2 phases successives (Gate et Giban, 2003) :

- L'élongation de la coléoptile qui a pour fonction première d'amener la première feuille à la surface du sol ;
- La croissance de la première feuille qui d'abord perce en son sommet la coléoptile : stade levée, puis se développe et s'étale jusqu'au stade première feuille développe.

A3. Stade tallage

Cette phase s'amorce à partir de la quatrième feuille. La formation de la première talle se fait au stade 3 feuilles. La première talle primaire (maitre-brin) apparaît à l'aisselle de la première feuille du blé. La 2^{eme} et la 3^{eme} talle apparaissent à l'aisselle de la 2^{eme} et la 3^{eme} feuille (Hamadache, 2013. In : Salmi, 2015). La fin tallage est celle

de la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductive, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entrenœuds (Gate, 1995. In : Salmi, 2015).

B. Période reproductrice

B1. Stade Montaison- gonflement

Au sommet du bourgeon terminal se produit le début du développement de l'épi. Parallèlement, on assiste à l'allongement des entre nœuds. La montaison se manifeste à partir du stade épi à 1cm du plateau de tallage qui se caractérise par une croissance active des tallages. A la fin de la montaison apparait la ce terme désigne la dernière feuille sortie. Cette feuille est essentielle car elle seule contribue à 75% du rendement (et donc au remplissage du grain) (Zitouni, 2006).

B2. Stade épiaison – floraison

Elle est marquée par la méiose pollinique et l'éclatement de la grain avec l'émergence de l'épi. C'est au cours e cette phase que s'achève la formation des organes floraux (l'anthèse) et s'effectue la fécondation. Cette phase est atteinte quand 50% des épis sont à moitié sortis du grain de la dernière feuille (Gate, 1995 In : Nadjem, 2012).

B3. Stade de Remplissage du grain

Après la fécondation, l'évolution du poids du grain se fait en trois étapes. La première est une phase de multiplication des cellules du jeune grain encore vert, dont la teneur en eau est élevée. Suit la phase de remplissage actif du grain avec les assimilats provenant de la photosynthèse de la feuille étendard et du transfert des hydrates de carbones non structuraux stockés dans le col de l'épi. La quantité d'eau contenue dans le grain tend à se stabiliser : c'est le pallier hydrique (Mazouz, 2006).

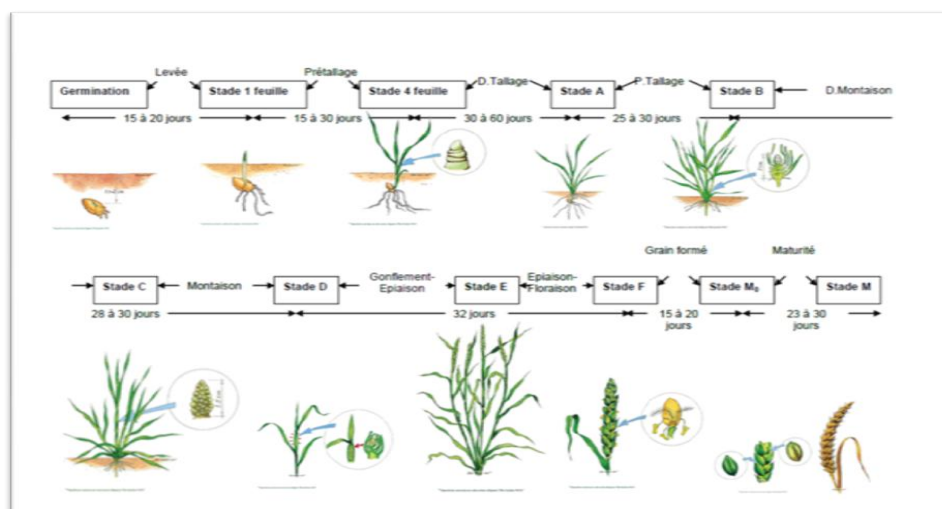


Figure 2 .Différents stades de développement du blé (cycle de soltner, 2005 modifié In : Labdelli, 2011).

I. 4. Importance et production du blé dans le monde et en Algérie

I. 4. 1. Dans le monde

Les céréales sont les principales sources de la nutrition humaine et animale dans le monde. Parmi ces céréales, le blé dur (*Triticum durum*) compte parmi les espèces les plus anciennes et constitue une grande partie de l'alimentation de l'humanité, d'où son importance économique. Le blé dur représente environ 8% des superficies de blé dans le monde. Il est cultivé principalement dans les pays du bassin méditerranéen et occupe, dans ces pays, une place importante dans l'alimentation humaine, étant à l'origine de nombreux aliments traditionnels (couscous, taboulé, frikey, pâtes alimentaires, pains et galettes de semoule...) (Nachit et al., 1998). Une variété de blé dur est intéressante lorsqu'elle présente un bon rendement de transformation en semoule et des qualités pastières. Des grains mitadinés donnent plus de farine que de semoule (Belaid, 2016).

La production mondiale de blé de 2017 à environ 744,5 millions de tonnes. Ce volume représente un recul de 1,8 % par rapport à l'année précédente mais reste supérieur à la moyenne des cinq dernières années (FAO, 2017).

Selon les statistiques du Conseil International des Céréales, au cours des dix dernières Campagnes (2014/2015), la production mondiale de blé dur a été inférieure à la consommation à 7 reprises (Figure 3). (France Agri-Mer, 2015). La production mondiale de blé dur en 2015/16 est de 39,1 millions de tonnes, Une hausse de 2% a été enregistrée pour la production mondiale du blé dur en 2016/2017 atteignant 39,7 millions de tonnes par rapport à la même période de l'année précédente (CIC, 2017).

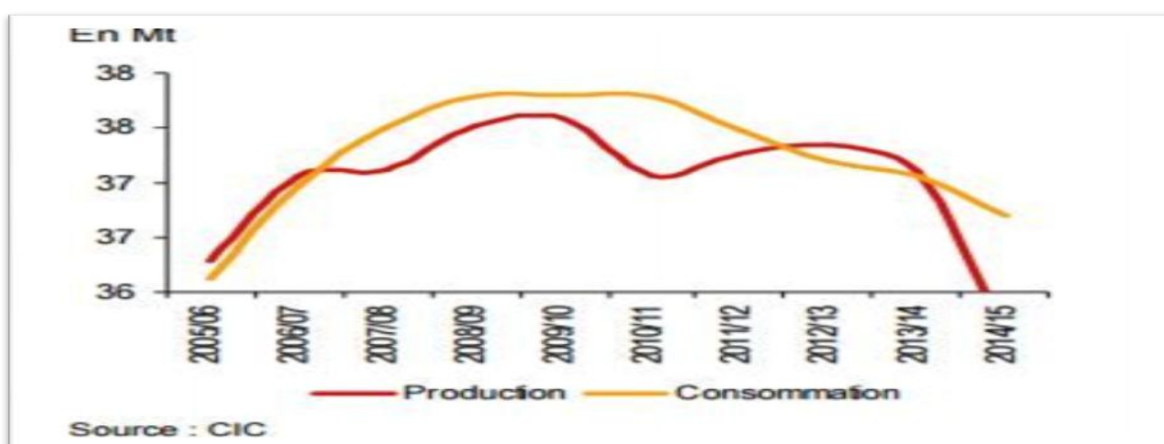


Figure 3. Production et consommation de blé dur dans le monde (France Agri-Mer, 2015).

I. 4. 2. En Algérie

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. (Djermoun, 2009). Le blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) est la première céréale cultivée en Algérie, en termes de superficies et de production, occupant la moitié d'une superficie de 3 millions hectares, destinés à la céréaliculture (Haddad et al., 2016). Sur les hautes plaines orientales algériennes, la culture pluviale du blé dur représente, avec l'orge et l'élevage ovin, l'essentiel de l'activité agricole. La production de blé dur est consommée par l'homme, le plus souvent directement sur le site de l'exploitation, et les résidus du blé sont utilisés par l'élevage. (Mekhlouf et al., 2006). L'Algérie importe actuellement jusqu'à 3,5 x 10⁶ tonnes de blé dur. Le rendement national en grains du blé dur est le plus faible du bassin méditerranéen ; il tourne bon an mal an autour de 8 qx/ha. Les rendements fortement soumis aux aléas climatiques de la région méditerranéenne oscillent autour de 10 q/ha (quintaux (Mazouz et Bouzerzou, 2017). Selon (OAIC) il a fait savoir que la moyenne de la production du blé dur entre 2011 et 2016 a été de 21,4 millions qx/an alors que les importations ont atteint 15,2 millions qx/an.

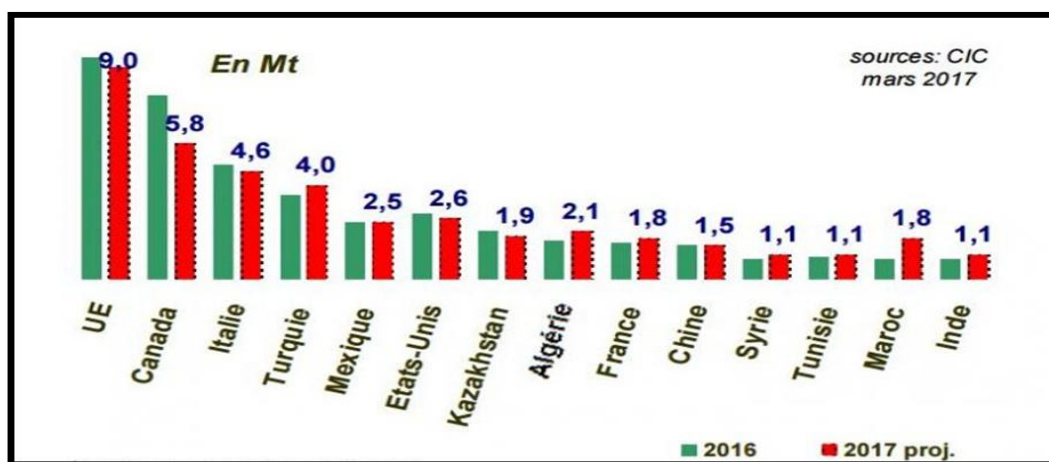


Figure 4. Production mondiale du blé dur en 2016 et projections 2017 (France AgriMer, 2016).

I. 5. Les contraintes de la production du blé dur

I. 5. 1. Notion de stress et types de stress environnementaux

Le mot stress fait référence à la réponse de l'organisme face aux situations agressives. Il s'agit de la « réponse au stress » qui permet d'agir et de réagir ; c'est-à-dire de s'adapter à un changement quelconque (Faye et al., 2003). Le stress est fondamentalement un concept de mécanique, défini par les ingénieurs et les physiciens comme étant une force

exercée par unité de surface d'un objet (Hobkinse, 2003). La définition du 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. In : Oukarroum, 2007). Ces stress peuvent être provoqués par des organismes vivants –on parle de stress biotique– ou par des excès physiques ou chimiques de l'environnement –on parle de stress abiotique (Chaumeil, 2006), Parmi les stress abiotique qu'elles provoquent, on peut distinguer, suivant leur nature (Monneveux et This, 1997) :

- Des stress << ioniques >>, liés à la composition en éléments minéraux du sol (carences ou toxicité en certains ions) ;
- Des stress thermique, parmi lesquels on distingue habituellement les basses températures, gélives ou non gélives, et les hautes températures ;
- Des stress hydrique liés aux humidités relative du sol et de l'air ; dans le cas du sol, on parlera de << stress osmotique >> et, dans le cas de l'air, de stress << stress évaporatoire >>. Alors que les stress lié à la composition minérale des sols peuvent facilement être caractérisés et son relativement contrôlables, il apparait plus difficile de décrire, prévoir et contrôle les stress hydrique et thermique. Les stress abiotique affectent le développement et la production des cultures et en particulier la culture des céréales (Benderradji et al., 2016).

I. 5. 2. Stress hydrique

Le stress provoqué par un déficit hydrique est bien plus fréquent, de sorte que l'expression de stress de déficit hydrique est abrégée en stress hydrique. Comme le stress hydrique dans des environnements naturels est dû à l'absence de pluies, une condition dite de sécheresse, ce stress est appelé stress de sécheresse (Hobkinse, 2003). Le stress hydrique occupe et continuera d'occuper une très grande place dans les chroniques agro-économiques (Mouellef, 2010). En région méditerranéenne, le stress hydrique peut intervenir à n'importe quel moment du cycle (Hafsi et al., 2001). Les déficits hydriques qui affectent la culture, et le manque d'eau ou stress qui en résulte dans la plante, se répercutent sur l'évapotranspiration le rendement. Le manque d'eau dans la plante peut être exprimé quantitativement au moyen de la relation entre le taux d'évapotranspirations réelles (Eta) et le taux d'évapotranspiration maximum (Etm) (Doorenbos, 1980).

Le stress hydrique se traduit chez la plante par une série de modifications qui touchent les caractères morphologiques, physiologiques et biochimiques, à partir du moment où les besoins en eau de la plante sont supérieurs aux quantités disponibles (Mefti

et al., 2001). Le déficit hydrique est la majeure contrainte environnementale qui affecte la production agricole mondiale, spécialement dans les zones aride et semi-aride (Chahbar et Belkhodja, 2016).

I. 5. 3. Effet du stress hydrique sur la croissance et le développement du blé dur

L'eau a un rôle fondamental dans la vie des plantes, dans la mesure où elle conditionne leurs activités physiologiques et métaboliques. Elle est le vecteur des éléments nutritifs de la plante (Bennaceur, 1999). Le manque d'eau reste le facteur le plus limitant auquel fait face la culture du blé dur (Mazouz et Bouzerzour, 2017). La nature et l'étendue des effets de la contrainte hydrique dépendent de sa durée et de son intensité ainsi que des potentialités génétiques des plantes face à cette contrainte (Chahbar et Belkhodja., 2006). Chez le blé dur, un déficit hydrique se traduit par une réduction de la croissance de la plante et/ou de sa production par rapport au potentiel du génotype (Slama et al., 2005). le stress hydrique est considéré parmi les facteurs défavorables pouvant affecter la germination des semences et par conséquent la qualité et le rendement de semis (Benjelloun et al., 2013). Un stress hydrique marqué accélère la sénescence des feuilles et réduit la durée de surface foliaire après floraison (Debaeke et al., 1996).

Pour la culture de blé, un stress hydrique pendant les premières phases de développement cause une levée retardée et incomplète qui crée un peuplement défectueux et hétérogène jusqu'à la récolte ainsi qu'une implantation racinaire médiocre et superficielle. Alors qu'un manque d'eau au moment de la montaison cause un arrêt de croissance des talles et une réduction du nombre d'épis par unité de surface. Par ailleurs, le stade reproductif du blé est très sensible au stress hydrique. En fait, un déficit hydrique pendant la phase épiaison-début floraison entraîne une diminution de la surface photosynthétisante des feuilles et du poids sec des grains à la récolte. Alors qu'un stress hydrique pendant la phase de remplissage de grains affecte fortement le rendement en grains en limitant le poids des grains (Bhour khila et al., 2015). L'effet du déficit hydrique peut engendrer des pertes de rendement à n'importe quel stade de développement du blé (Semcheddine , 2008).

Les effets du stress hydrique touchent toutes les fonctions de la plante. Une réduction de la quantité d'eau disponible influe sur le métabolisme et les processus physiologiques qui contrôlent la croissance et le développement de la plante. Ces effets se répercutent par la suite sur le rendement et les composantes de rendement ainsi que sur la qualité (Aldaoui et Hartani ,2000), la conséquence de l'effet du déficit hydrique qui réduit de plus de 80% le rendement de la culture du blé (Chennafi, 2012).

I. 6. Mécanismes de la tolérance au stress hydrique

Pour lutter contre le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu (Slama et al., 2005). Les voies d'adaptation au déficit hydrique sont diverses. Presque tous les aspects de la croissance sont affectés par le déficit en eau (Aboussouan-seropian et Planchon, 1985). La tolérance à la contrainte paraît être la forme la plus primitive de l'adaptation. (Vartanian et Lemée, 1984). La réponse des plantes à la sécheresse peut être étudiée par l'identification des caractères liés à la tolérance à la sécheresse aux niveaux physiologique, cellulaire, biochimique et les niveaux moléculaires. Par conséquent, l'étude de la diversité des mécanismes de tolérance à la sécheresse peut donner informations intéressantes sur les différentes possibilités d'adaptation (Larbi, 2004).

I. 6. 1. Adaptation phénologique

La phénologie est rythme le développement de la plante et l'ajustement du cycle végétatif de manière à s'adapter aux conditions optimales de croissance, de l'environnement et de production (Salmi, 2015). Pour éviter les périodes difficiles pour la croissance et le développement, certaines variétés accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de la contrainte hydrique (Bouatrous, 2013). Dans ces conditions, les paramètres phénologiques d'adaptation, ou paramètres de précocité, définissent le calage de cycle vis-à-vis des contraintes de l'environnement ; en intervenant sur ces paramètres, il est parfois possible d'éviter la coïncidence entre les stades critiques du développement et les dates d'occurrence maximale de certains accidents climatiques. (Ali Dib et al., 1992). La précocité constitue donc un important mécanisme d'évitement de la sécheresse de fin de cycle (Slama et al., 2005). L'augmentation de la précocité des céréales, bien qu'elle ait donné des résultats incontestables, n'est toutefois pas sans inconvénients. Elle contribue, entre autres, à la réduction de la productivité et ne convient que pour une sécheresse tardive et de courte durée (Melki et Dahmane, 2008). Leur adaptation essentielle réside dans la vitesse et la précocité de germination, de croissance, de floraison et de fructification : l'important pour la survie de l'espèce étant de parvenir à la production de graines avant le retour de l'extrême sécheresse (Vartanian et Lemée, 1984).

La précocité d'épiaison est un mécanisme d'adaptation très important qui permet l'esquive des stress de fin de cycle. Cette caractéristique est le plus souvent associée à une amélioration du rendement et de l'adaptation aux stress conduisant à la régularité de la production (Mekhlouf et al., 2006). En absence de stress, les génotypes tardifs sont

généralement plus productifs que les précoces. Ceci perçoit que les géotypes précoces font une moindre utilisation des disponibilités offertes par le milieu de production (Slafer *et al.*, 2005. In : Adjabi, 2011).

I. 6. 2. Adaptation morphologique

En milieu variable, les caractères morphologiques peuvent jouer des rôles assez importants qui réduisent la variabilité des rendements en grains (Harrath, 2003. In : Oudjani). 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 assimilats (Bouatrous, 2013). Les adaptations morphologiques se réalisent par réduction de la partie aérienne et développement de la partie racinaire. La réduction de la surface foliaire est souvent associée à la formation d'une cuticule épaisse et d'une pilosité couvrant la cuticule (Denden *et al.*, 2005). En cas de stress hydrique, et lorsque les stomates sont fermés, la transpiration se poursuit par la cuticule. La présence de cires au sein de la matrice cuticulaire et sur la cuticule ainsi que leur structure et leur composition peuvent modifier la conductivité hydraulique de la cuticule (Monneveux *et This*, 1997). La longueur des barbes est un paramètre morphologique qui semble également étroitement lié à la tolérance au déficit hydrique terminal tout au moins chez le blé dur (Hadjichristodoulou, 1985. In : Iabdelli, 2011). De nombreux travaux, réalisés sur une large gamme de géotypes, semblent confirmer le rôle des barbes dans le remplissage du grain en conditions de déficit hydrique (Ali Dib *et al.*, 1992). En effet, les barbes peuvent améliorer le rendement en conditions de sécheresse par augmentation de la surface photosynthétique de l'épi (Bouatrous, 2013).

La hauteur de la plante apparaît comme un critère de sélection important particulièrement dans les zones semi-arides (Salmi, 2015). L'association entre hauteur de la plante et le rendement en paille n'est généralement observable qu'en conditions de sécheresse. En conditions favorables, la production de paille est plus liée à la capacité de tallage épis qui est plus élevée chez les géotypes courts. De plus, ce caractère varie, selon les environnements, plus chez les lignées hautes que chez les courtes de paille (Salmi *et al.*, 2015).

L'enroulement foliaire, fréquent chez de nombreuses plantes cultivées (blé, sorgho...) peut donc être considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement de la déshydratation (Monneveux *et This*, 1997). Chez le blé, l'enroulement foliaire observé chez certaines variétés résistantes (El jaafari *et al.*, 1993).

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

I. 6. 3. Adaptation physiologique

I. 6. 3. 1. Teneur en chlorophylle

Les pigments chlorophylliens sont à l'origine de l'activité photosynthétique et toute augmentation de rendement ne peut être obtenue que par la recherche d'une meilleure efficacité photosynthétique, dépendant fortement de la teneur en chlorophylle (Aissa et Radhouane, 2014). La persistance de la chlorophylle qui se matérialise par une plus longue durée de vie de la feuille étandard est une forme d'adaptation aux stress abiotiques de fin de cycle. Elle favorise la durée plus que la vitesse de remplissage du grain (Bahlouli *et al.*, 2006). Sous un stress hydrique, une diminution de la teneur en chlorophylle est remarquée chez le blé dur (Labdelli , 2011). La diminution de la photosynthèse, liée à la diminution de la teneur relative en eau et du potentiel hydrique foliaire, est due essentiellement, à la réduction de la pénétration du CO₂, limitée par une fermeture des stomates, avec pour conséquence une augmentation de la résistance de la feuille à la diffusion du CO₂ (Ykhlef et Djekoun, 2000).

Le rapport chlorophylle (a/b) est un bon indicateur du seuil de tolérance au stress hydrique (Guettouche, 1990. In : Mouellef, 2010). Tahri *et al.*, (1998) montrent que l'augmentation de la teneur en proline foliaire sous l'effet du stress suivie par un abaissement dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles a et b). Les résultats de Tahri *et al.*, (1998) révèlent une certaine proportionnalité, mais inverse, entre les teneurs en proline accumulées et les teneurs en pigments chlorophylliens perdues. Ainsi la variété qui accumule plus de proline est aussi celle qui connaît la plus forte diminution de ses teneurs pigments chlorophylliens et vice versa (Tahri *et al.*, 1997. In : Mouellef, 2010).

I. 6. 3. 2. Régulation stomatique

La régulation de la conductance stomatique reste le mécanisme majeur intervenant à court terme pour limiter les pertes d'eau : le potentiel hydrique foliaire sera maintenu d'autant plus longtemps que la fermeture des stomates est précoce (Grieu *et al.*, 2008). Les stomates sont constitués de deux cellules affrontées qui peuvent ainsi se déformer sous l'effet de variations de leur pression hydraulique interne et ouvrir plus ou moins l'ostiole à travers lequel s'échappe l'eau transpirée (Durand, 2007).

Le rôle des stomates dans la régulation des flux hydriques et par conséquent dans l'adaptation au stress est indéniable. La diminution de la densité des stomates ne se traduit pas toujours par une réduction des pertes en eau par la plante, à cause de sa compensation par l'augmentation de leur taille. Ainsi les géotypes à stomates sensibles sont conseillés pour les environnements caractérisés par des sécheresses de courtes durées (Erchidi *et al.*, 2000). L'augmentation du nombre de stomates par unité de surface pourrait être un des facteurs de résistance au déficit hydrique chez les céréales si elle est accompagnée par une bonne activité physiologique. L'accroissement de la densité stomatique peut augmenter l'assimilation nette du CO₂ et diminuer la perte en eau. En effet, un nombre élevé de stomates peut engendrer des stomates de petite taille et à fermeture rapide (Slama *et al.*, 2005).

I. 6. 3. 3. Ajustement osmotique

Le principal mécanisme de maintien de la turgescence est l'ajustement osmotique (Turner, 1986). Elle est l'un des mécanismes adaptatifs principal de ces espèces, qui comporte l'accumulation des molécules en réponse à un stress hydrique (Ouis *et Belkhodja*., 2012). La capacité d'ajustement osmotique d'un végétal est liée à sa capacité accumuler, au niveau symplasmique et de manière active, certains solutés. Les solutés dont l'accumulation permet la diminution du potentiel osmotique et qui contribueraient ainsi à l'ajustement osmotique sont des ions inorganiques, tels que le potassium et les nitrates, des sucres solubles, et des acides organiques comme l'acide malique (Monneveux *et This*, 1997).

L'accumulation d'osmolytes (ou molécules d'ajustement osmotique) contribue à maintenir un équilibre osmotique au niveau cellulaire dans des conditions de déshydratation (Maury *et al.*, 2011). L'intérêt croissant qui lui est porté est lié à différents facteurs (maintien de la turgescence et de la croissance), retardement de l'enroulement et de la sénescence foliaire, régulation stomatique relations avec le comportement agronomique : relation entre capacité d'ajustement osmotique et rendement en grains sous stress hydrique. L'ajustement osmotique permet le maintien de nombreuses fonctions physiologiques (Photosynthèse, transpiration, croissance...). L'ajustement osmotique peut intervenir à tous les stades de développement et son caractère inductible suggère qu'il n'a pas (ou peu) d'incidence sur le rendement potentiel (Kara *et Bellkhiri*, 2011). L'ajustement osmotique apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation à la sécheresse (Monneveux *et This*, 1997).

I. 6. 4. Mécanisme d'adaptation biochimique en condition de stress hydrique

I. 6. 4. 1. Accumulation de la proline en condition de stress hydrique

Au niveau cellulaire, le maintien d'une pression osmotique interne élevée est liée à la taille et à la viscosité protoplasmique de la cellule, à l'épaisseur des parois cellulaires et à l'accumulation de certains acides aminés ; parmi ceux-ci, la proline semble jouer un rôle de première importance : son accumulation rapide lors d'un déficit hydrique ([Monneveux et Nemmar, 1986](#)). La proline serait synthétisée à partir de l'acide glutamique par l'intermédiaire de l'acide semialdéhyde glutamique et de l'acide 5- carboxylique $\Delta 1$ pyrroline (P5C) ([Monneveux, et Nemmar, 1986](#)).

L'accumulation de proline est l'une des stratégies adaptatives fréquemment observées chez les plantes pour limiter les effets du stress hydrique. L'adaptation des blés à la sécheresse s'est caractérisée par une accumulation en proline libre des feuilles. Cette accumulation est beaucoup plus marquée chez les variétés considérées comme tolérantes à la sécheresse ([Hireche, 2006](#)). L'accumulation de la proline, induite par les stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires : stimulation de sa synthèse, inhibition de son oxydation et/ou altération de la biosynthèse des protéines ([Tahri et al., 1998](#)). Aussi, lors d'un déficit hydrique, le métabolisme des hydrates du carbone s'affecte par l'accumulation des sucres solubles dans les tissus des plantes cultivées sous stress, notamment chez les feuilles ([Chaïb et al., 2015](#)).

I. 6. 4. 2. 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-bétaine ...etc.). Ainsi, les enzymes liés au métabolisme des sucres semblent avoir une importance majeure dans la tolérance au stress hydrique ([Dubos, 2001](#)). L'accumulation des sucres solubles reflète le rôle joué par le saccharose et les monosaccharides dans la diminution du potentiel hydrique dans l'ajustement osmotique chez les différentes plantes de blé dur, Elle leur confère une certaine aptitude à la tolérance au stress hydrique ([Chaïb et al., 2015](#)).

L'ajustement osmotique peut être aisément évalué à partir des mesures de potentiel osmotique et de teneur relative en eau, l'accumulation des sucres solubles étant la cause essentielle de la baisse du potentiel osmotique ([Mekliche et al., 2003](#)). Les sucres participent au maintien des réactions de phosphorylations et de production d'énergie ; Ils protègent les processus de synthèse des enzymes, ce qui impliquerait une meilleure

tolérance de la plante à la sécheresse (Chaib *et al.*, 2015). En effet les sucres, même s'ils représentent des osmoticums beaucoup moins puissants, participent également au maintien de la balance de la force osmotique pour garder la turgescence et le volume cytosolique aussi élevés que possible. Ils permettent également une préservation de l'intégrité membranaire dans les organes desséchés ainsi qu'une protection des protéines (Zerrad, 2008).

I. 6. 4. 3. Synthèse des protéines liées à la tolérance au stress hydrique

La tolérance au stress hydrique implique des changements du métabolisme cellulaire caractérisés par l'accumulation de solutés et de protéines spécifiques qui peuvent être induites rapidement sous l'effet du stress (Ledoigt et Coudret, 1992).

I. 6. 4. 3. 1. Déhydrines (Protéines du groupe 'LEA' « Late-Embryogenesis - Abundant »

Le chute du potentiel hydrique stimule non seulement le phénomène d'osmorégulation mais également l'inhibition ou la synthèse de nouvelles protéines dont les protéines LEA qui assurent une protection de l'ensemble vitale des protéines cellulaires et les protéines de choc thermique qui permettent un maintien des structures protéiques et membranaires de la cellule végétale (Zerrad *et al.*, 2008). Les protéines de la déhydrine ont une large gamme de tailles, n'ont aucune similitude avec des enzymes ou des protéines de fonction, et accumuler à des niveaux élevés. Ils sont en grande partie hydrophiles les protéines qui contiennent différentes quantités de K segment (répétition riche en lysine), le segment S (voie de résidus Ser), et le segment Y (séquence N-terminale conservée) (Danyluk *et al.*, 1998).

Les déshydrines (DHN) ou les protéines LEA du groupe 2 sont de loin les plus fréquemment décrites dans les conditions de stress. pourrait se situer dans le cytosol, le noyau et la membrane plasmique proche (Hamla *et al.*, 2014). Ces protéines induites par l'ABA pourraient jouer un rôle en protégeant les structures cytoplasmiques lors de la déshydratation (Maury *et al.*, 2011) . L'apparente existence d'une série de protéines très hydrophiles, comme les déhydrines ; les ARN messagers de ces protéines sont spécifiquement induits par le stress de déshydratation ; elles pourraient jouer un rôle de stabilisateur de membrane (Ledoigt et Coudret, 1992).

L'intérêt a porté sur les gènes qui codent pour les protéines Late embryogenesis abundant (LEA), qui sont synthétisées spécifiquement pendant la phase de dessiccation du grain et pourraient faire partie du système de tolérance au stress hydrique. C'est en fin de développement, juste avant la dessiccation finale de l'embryon, que les ARNm et les

protéines LEA sont les plus abondants. Cette recherche devrait permettre d'améliorer nos connaissances des bases moléculaires de la tolérance à la sécheresse des blés durs et du déterminisme du comportement de cultivars tolérants ou sensibles (Nachit *et al.*, 1998).

I. 6. 4. 3. 2. Aquaporines

Les plantes équilibrent leur état hydrique en ajustant la conductibilité de l'eau de leurs tissus. Les tissus vasculaires et les cellules de garde jouent un rôle important dans ce processus (Poormohammad kiani, 2007). Les aquaporines sont des protéines de transport qu'on trouve dans les membranes des cellules. Elles permettent de faire varier la perméabilité hydraulique de ces membranes de 1 à 20, orientant de vastes quantités d'eau d'un tissu à l'autre selon des mécanismes de régulation que l'on ne fait qu'explorer à l'heure actuelle. Elles sont sans aucun doute importantes dans la régulation des flux dans les organes entre les tissus comme dans la croissance volumique des organes par exemple. Pour ce qui est du transport d'eau au sein du continuum sol - plante - atmosphère, elles pourraient jouer un rôle particulier dans les cas de flux faibles comme la réhydratation nocturne et l'absorption d'eau par de fines racines (Durand, 2007). À ce niveau, des canaux hydriques, ou aquaporines, induits en réponse à tout déficit hydrique, ont été mis en évidence (Alem *et al.* , 2002).

Chapitre II: Matériel et méthodes

Chapitre II : Matériel et méthodes

II. 1. Objectif de l'essai

L'objectif de ce travail est d'étudier comparative pour la tolérance au stress hydrique à partir de quelques paramètres morphologique, physiologique et biochimique chez quatre variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Le but principal de cette étude est de déterminer l'effet du stress hydrique et la variabilité de la réponse chez ces variétés.

II. 2. Conduite de l'expérimentation et matériel végétal

L'expérimentation est réalisée au niveau de laboratoire de Biotechnologie Végétale du département science de la nature et la vie, Université de M'sila. L'étude a été portée sur quatre variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.), codés : V8, V9, V11 et V23.

II. 3. Plan expérimental

II. 3. 1. Préparation des solutions de polyéthylène glycol (PEG6000)

Le PEG constitue un agent relativement stable, inerte, non ionique mais bien soluble dans l'eau (Benjelloun et al., 2013). Le déficit hydrique a été induit par l'application de différents traitements de polyéthylène glycol (PEG6000) comme indicateur de stress hydrique osmotique. La solution de PEG est préparée en faisant dissoudre la quantité de PEG6000 dans l'eau distillée (Tableau 1). Les solutions à préparer des différents niveaux de stress hydrique osmotique suivant les traitements envisagés (30%, 50%, 80 %) on a procédé à la comparaison expérimentale.

Tableau 1 : Différents des concentrations du PEG6000

Concentrations des solutions en (%)	Quantité du PEG6000 ajoutée/l d'eau distillée
0 %	0 g/l d'eau distillée
30 %	30 g/l d'eau distillée
50 %	50 g/l d'eau distillée
80 %	80 g/l d'eau distillée

II. 3. 2. Germination des graines sous stress hydrique

Les graines choisies doivent être saines, elles ont été sélectionnées selon leur taille et leur forme, Pour tous les traitements, les graines ont été placées dans réfrigérateur à 5C° pendant 4 heures pour choc thermique. Pour les graines de chaque variété de blé dur sont désinfectées à l'eau de javel 6% pendant 15 min puis rincées par trois fois à l'eau distillée. Les graines sont mises à germer dans des boîtes de pétri, ces dernières sont tapissées par une couche de papier filtre, à raison de 10 semences par boîte, imbibé avec soit

2ml d'eau distillée pour le témoin, soit 2 ml avec l'une des solutions à différentes concentrations de PEG6000.

Notre dispositif se répartit en quatre blocs, chaque bloc contienne 4 traitements et chaque traitement est répété 3 fois. L'expérimentation se déroule dans les conditions de laboratoire, le nombre de graines germées a été noté après 24 heure jusqu'à 8^{ème} jour. Selon [Mrani Alaoui et al., \(2000\)](#), la germination est repérée par la sortie de la radicule hors des téguments de la graine dont la longueur est d'au moins 2mm. A la fin de l'essai, le taux de germination, la longueur et le nombre des racines, la longueur de la coléoptile ont été déterminés pour chaque variété soumise au stress hydrique. Les plantules de quater variétés de blé dur sont repiquées dans des gobelets rempli par un type de sol est terreau. Les gobelets, contenant chacun 4-5 plantes selon les nombres des graines germes normal, ont été disposés de façon aléatoire avec le maintienne sur différent niveau de traitement. L'irrigation a été effectuée 3 fois par semaine par la solution de PEG6000 des différents concentrations et le témoin par l'eau distillée jusqu'au stade de tallage.

II. 3. 3. Croissance et développement des plantules sous stress hydrique

Les grains sont mises en germination dans des gobelet en plastique (40 g de sol/gobelet), les gobelets sont remplis d'un type de sol terreau, Le semis a été effectué manuellement à raison de 4 grains réparties d'une façon homogène sur la surface de chaque gobelet à une profondeur de 3cm. Les gobelets ont été répartis en trois lots constituant respectivement des plantes témoins et des plantes stressées. Les quatre variétés ont reçu la même quantité d'eau jusqu'à l'apparition de la troisième feuille (l'irrigation a été effectuée deux fois par semaine), puis la contrainte hydrique est appliquée par différents niveau des solutions de PEG (50%, 80%) de toutes les répétitions de chaque variétés, alors que les témoins sont irrigués par l'eau distille de toutes les répétitions de chaque variété, l'irrigation a été appliquée trois fois par semaine.

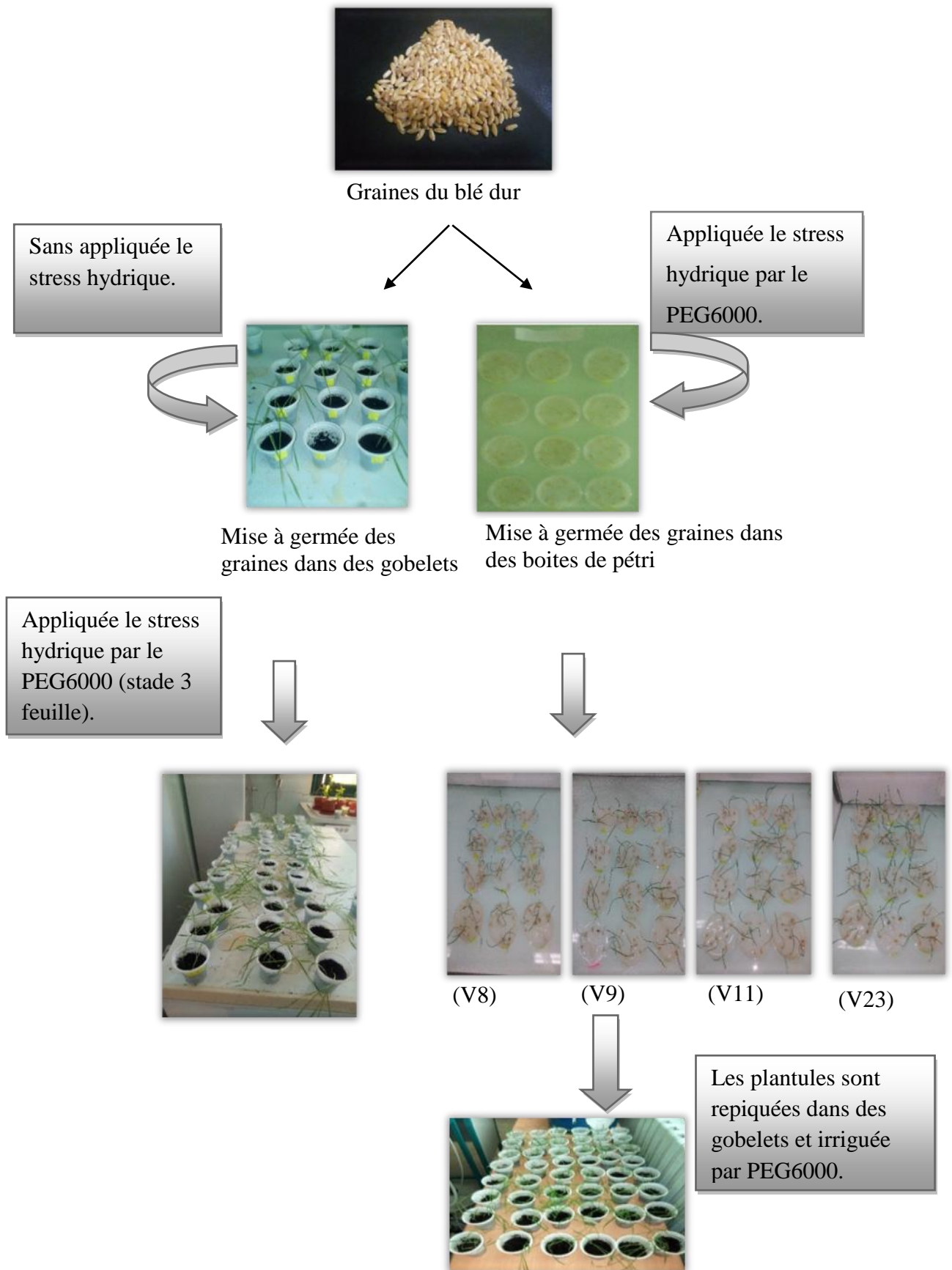


Figure 5. Plan expérimental de germination et croissance des plantules

II. 4. Paramètres étudiés

Dans cette expérimentation (01et 02) le suivi du comportement des quater variétés du blé dur vis-à-vis du stress hydrique a été basé sur plusieurs paramètres physiologiques, morphologiques et biochimiques.

II. 4. 1. Paramètres physiologiques

II. 4. 1. 1. Taux de germination (G%)

Le taux de germination des graines relevé chaque 24 heures pendant 8^{ème} jour de mise en germination, Il est exprimé par le rapport nombre de graines germées sur nombre total de graines initialement mises en germination.

Le taux de germination est déterminé est celle de (ISTA, 2003 décrite par Benderradji et al., 2016), selon la formule suivant :

$$G(\%)=100(NGG/NTG)$$

Où :

G (%) : le taux de germination ;

NGG : le nombre des graines germées ;

NTG : le nombre total des graines incubées.

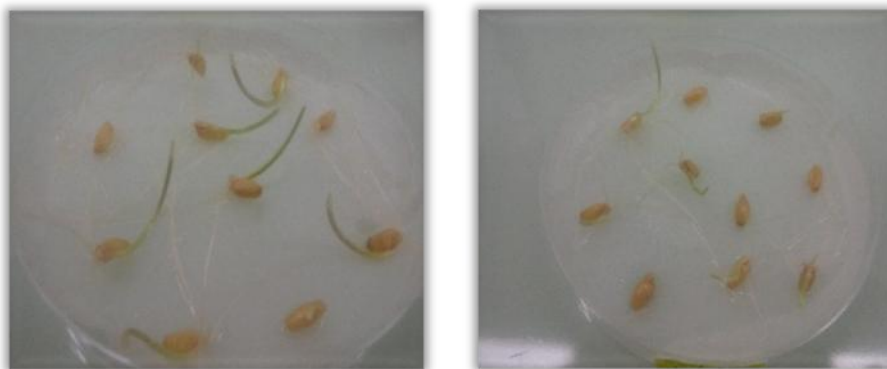


Figure 6. Germination des grains du blé dur

II. 4. 1. 2. Taux de contamination (%)

Le Taux de contamination est exprimé en pourcentage et représente le nombre de graines contaminées par rapport au nombre total des graines, à travers le rapport suivant :

Taux de contamination (%)= (nombre de graines contaminées /nombre total des graines) x 100.



Figure 7. Contamination des quelques graines du blé dur

II. 4. 1. 3. Teneur relative en eau (TRE)

L'un des principaux paramètres du niveau hydrique de la plante est la teneur relative en eau (TRE ou RWC) (Mazouz, 2006).

La teneur relative en eau de la feuille est déterminée par la méthode décrite par (Barrs, 1968). Les feuilles échantillonnées, un plantule par variable, par répétition et par traitement sont coupées à la base du limbe, sont pesées immédiatement à l'aide d'une balance de précision pour obtenir le poids frais (PF), puis aussitôt mises dans des tubes à essai remplis d'eau distillée(10ml), refermer par papier aluminium afin de maintenir une humidité relative saturante et placés à l'obscurité dans un endroit frais (4°C). 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 à pleine turgescence (PT). Les échantillons sont ensuite mis à l'étuve à 80°C pendant 48heures et pesés pour avoir le poids sec (PS). La teneur relative en eau est exprimée en pourcentage, est déterminée selon la formule de (Clark et Mac-Caig, 1982), utilisée par (Mouellef, 2010).

La teneur relative en eau est déduite par la formule suivante :

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

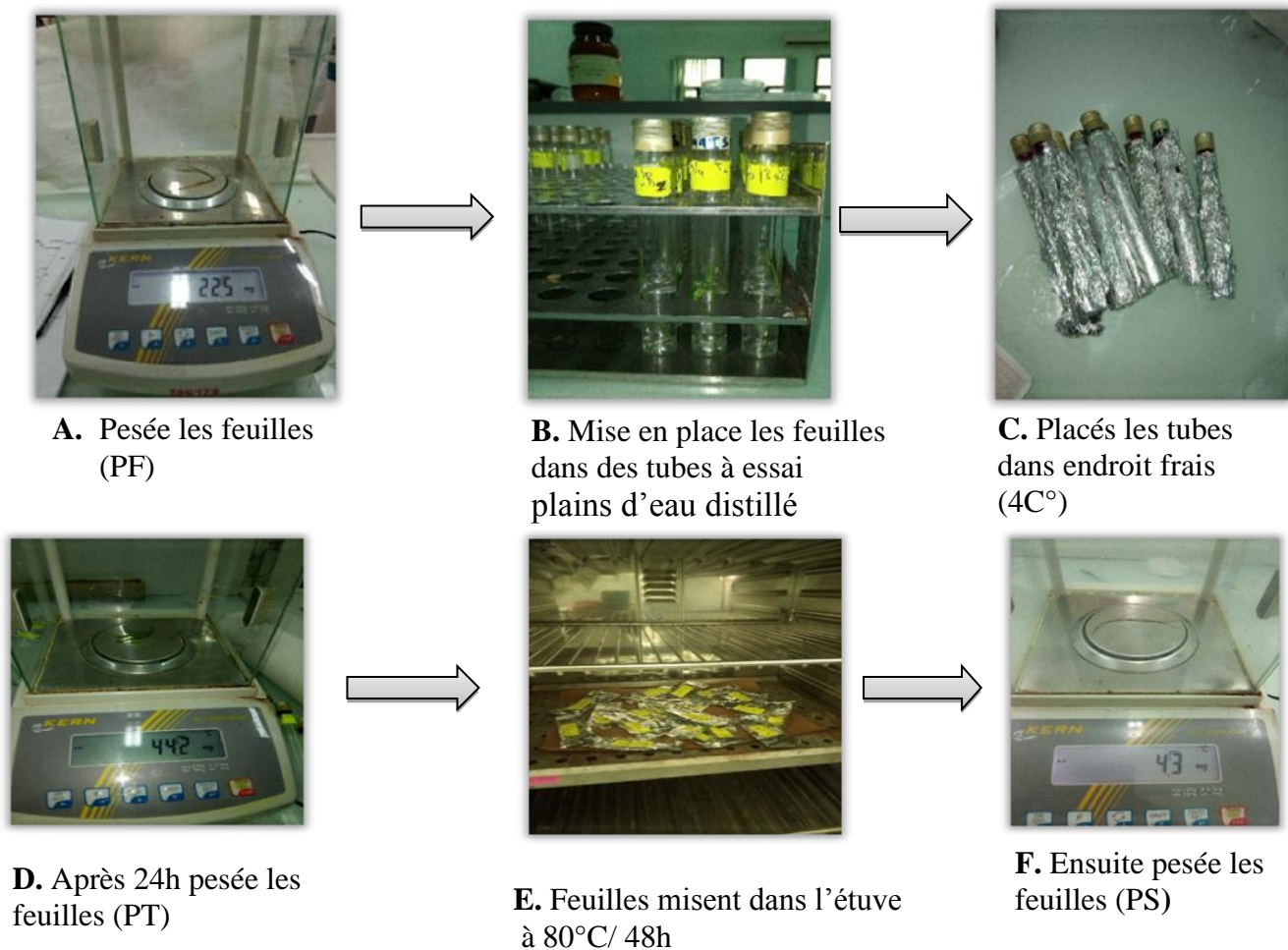


Figure 8. Méthode de la mesure de la teneur relative en eau (TRE)

II. 4. 2. Paramètres morphologiques

La croissance des différents organes a été mesurée 15 jours après l'émergence de la radicule.

II. 4. 2. 1. Longueur et nombre des racines

La longueur maximale des racines c'est la longueur de la racine la plus longue, en moyenne de l'échantillon de six graines germées, la mesure de la longueur de racine avec un papier millimètre (cm).

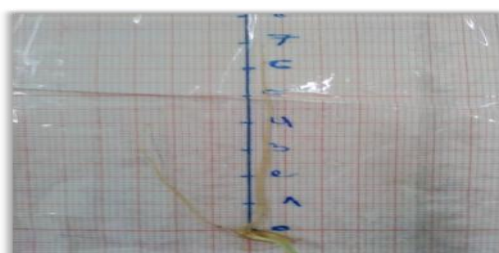


Figure 9. La longueur de racine

II. 4. 2. 2. Longueur de coléoptile (cm)

La longueur de coléoptile est mesurée à partir de la graine jusqu'à la sortie de la première vraie feuille. La longueur de la coléoptile en moyenne de l'échantillon de six graines germées, la mesure de la longueur de coléoptile avec un papier millimètre.

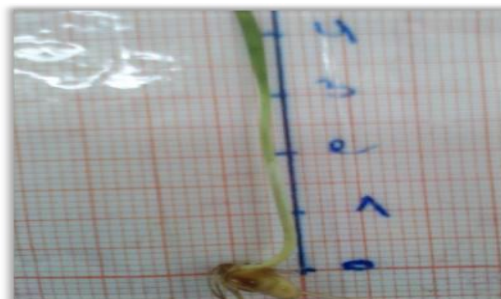


Figure 10. Mesure de la coléoptile

II. 4. 2. 3. Surface foliaire (SF « cm²»)

La surface foliaire qui concerne la troisième feuille, est déterminée par produit de la longueur par la plus grande largeur de la feuille étendard, mesurées sur un échantillon de 3 feuilles par variable.

La surface foliaire est déduite par la formule suivant:

$$SF (cm^2) = 0.606 (L \times l)$$

Où :

L = Longueur totale des 2 feuilles ;

l = Largeur moyenne des 2 feuilles ;

0.606 = coefficient de régression reliant la surface des feuilles photocopiées sur papier grammage sur celle déduite par le produit L x l (**Belkharchouche et al ., 2009**).

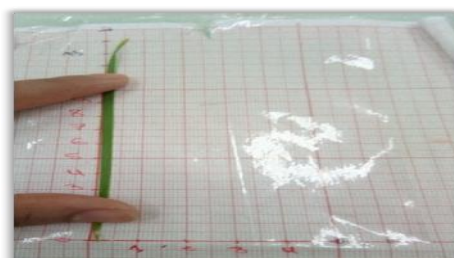


Figure 11. Mesure de la longueur et la largeur de la feuille

II. 4. 3. Paramètres biochimiques

Les paramètres biochimiques consistent à mesurer les quantités des constituants des organes biologiques tels que la proline. Les mesures suivantes ont été réalisées sur les plantules d'expérimentation (02).

II. 4. 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 jaafri, 1993 In : Mouellef, 2010). La méthode utilisée pour doser la proline est celle de (Monneveux et Nemmar, 1986) décrite par (Tahri et al., 1998). La méthode consiste à mettre 100mg de matériel végétal prélevés sur les tiers médians des plus jeunes feuilles, sont immédiatement pesés puis placés dans des tubes à essai contenant 2 ml de méthanol à 40%. Le tout est chauffé à 85°C dans un bain-marie pendant (1h). (Les tubes sont recouverts de papier aluminium pendant le chauffage pour éviter la volatilisation de l'alcool). Après refroidissement ; on prélève 1ml d'extrait auquel est ajouté 1 ml d'acide acétique (CH₃COOH) ; 25 mg de ninhydrine (C₆H₆O₄) ; 1 ml de mélange contenant ; 120 ml d'eau distillée ; 300 ml d'acide acétique ; 80 ml d'acide ortho phosphorique (H₃PO₄, d=1,7).

La solution obtenue est portée à ébullition pendant 30 mn au bain marie à 100°C, la solution vire au rouge. Après refroidissement, on ajoute 5ml de toluène à la solution qui est agitée par le vortex, pour séparer les deux phases : Une phase inférieure sans proline et une phase supérieure qui contient la proline. Cette phase est récupérée et déshydratée par l'ajout d'une spatule de Sulfate de Sodium Na₂SO₄ anhydre (pour éliminer l'eau qu'elle contient). La mesure de la coloration est effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre à 528 nm, en utilise le plan qui elle contienne tous les produit utilisée dans le dosage de proline sans ajoutée l'extrait.

On a calculé les concentrations de la proline (µmole /g.Mf) à partir des valeurs obtenues (Do) qui sont reportées sur la courbe d'étalonnage en utilisant la formule suivante :

$$Y = 100X + 1$$

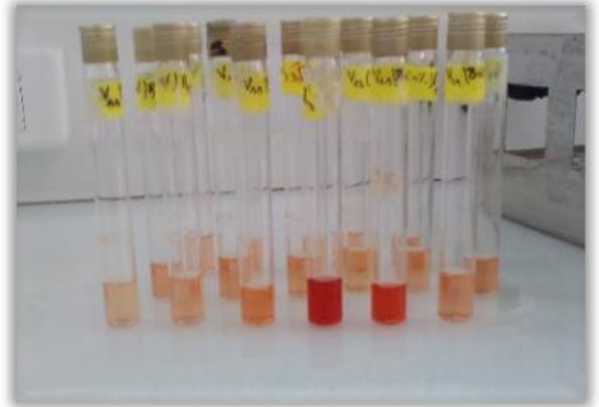
Où :

Y : Concentration de la proline ;

X : Densité optique.



A. L'extraction



B. La coloration



B. La séparation



C. Lecteur

Figure 12. Quelques étapes de dosage de la proline

Chapitre III : Résultats et Discussion

Chapitre III. Résultats et discussion

III. 1.Résultats

III. 1. 1. Paramètres physiologiques

III.1. 1. 1. Taux de germination (G%)

La germination des graines des quatre variétés utilisées dans cette étude se comportent indifféremment dans les différentes concentrations de stress hydrique appliqué sous forme de concentrations de PEG6000. Ce phénomène est manifesté par un taux de germination relativement élevé atteignant 80%. De ce fait le n'affecte pas ce processus physiologique (Figure 13).

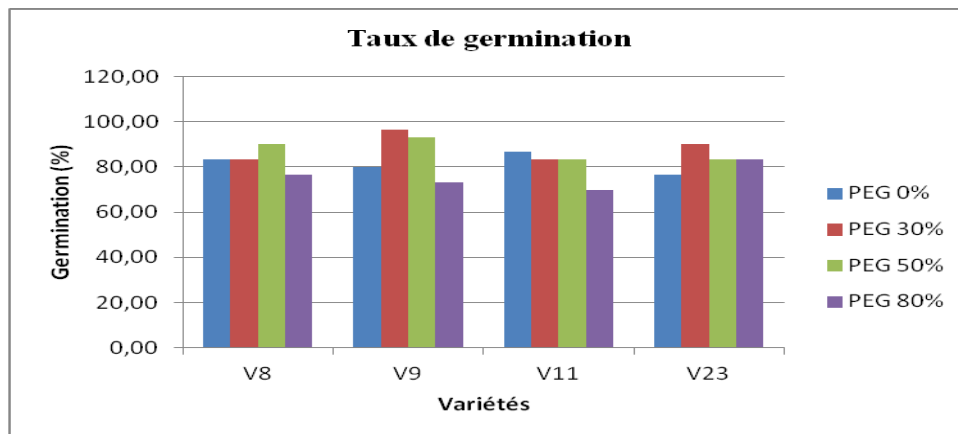


Figure 13. Variation du taux de germination chez quater variétés de blé dur en fonction des concentrations en PEG

III.1. 1. 2. Taux de contamination (%)

On a remarqué le phénomène de contamination mais à de faibles taux et qui dépasse légèrement les 6% chez les variétés V8 et V9 mais qui n'a guère atteindre les 4% chez les deux autres variétés (V11 et v23) (Figure 14).

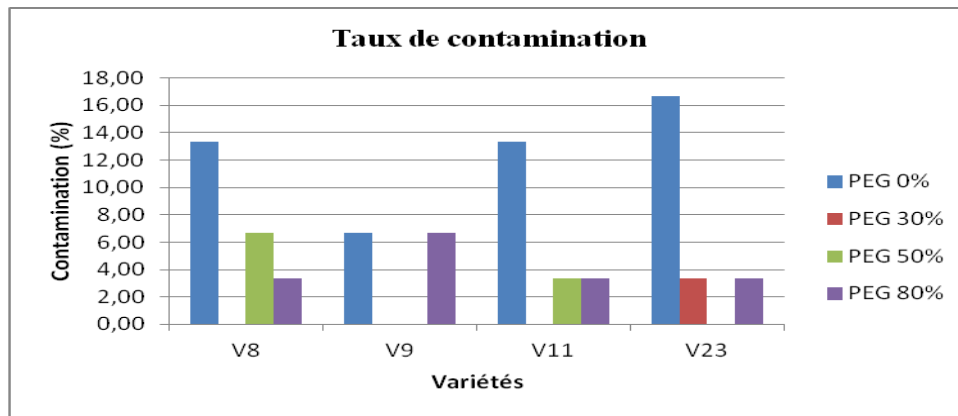


Figure 14. Variation du taux de contamination chez quater variétés de blé dur en fonction des concentrations en PEG

III.1. 1. 3. Teneur relative en eau (TRE)

Généralement les concentrations du PEG n'affectent pas la TRE sauf pour la concentration PEG 80% chez la variété V23 qui affiche moins de 50% de sa TRE (Figure15)

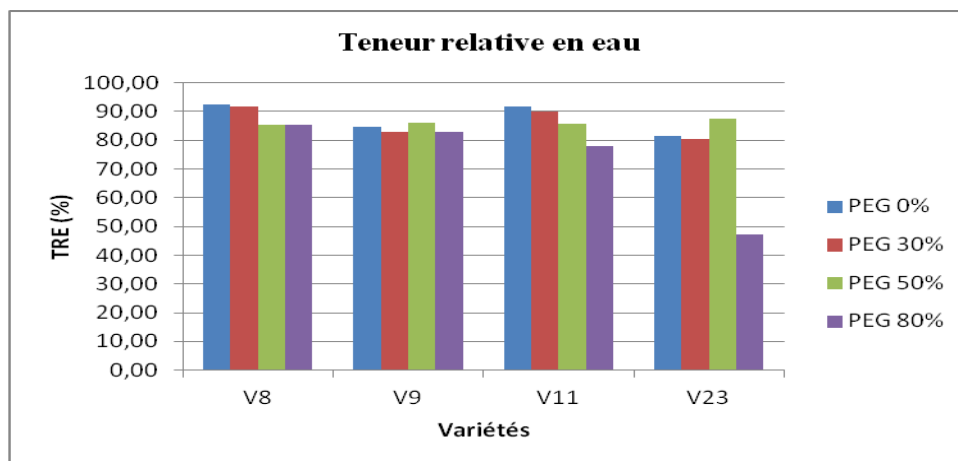


Figure 15. Variation de teneur relative en eau chez quater variétés de blé dur en fonction des concentrations en PEG

III. 1. 2. Paramètres morphologiques

III.1. 2. 1. Longueur de racines

La longueur des racines diminue progressivement par rapport au témoin en fonction des concentrations utilisées en PEG (Figure 16).

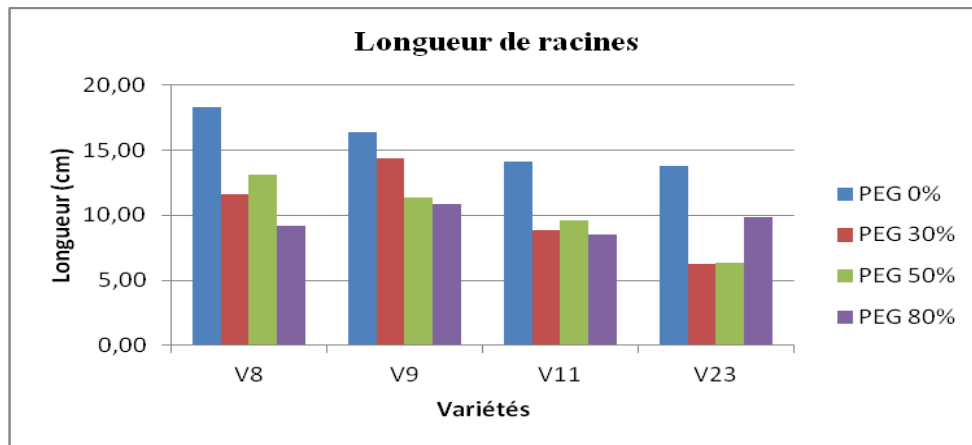


Figure 16. Variation de longueur de racines chez quater variétés de blé dur en fonction des concentrations en PEG

III. 1. 2. 2. Nombre de racines

Nous avons constaté qu'en générale le nombre de racines n'est pas affectée par les différentes concentrations de PEG (Figure 17).

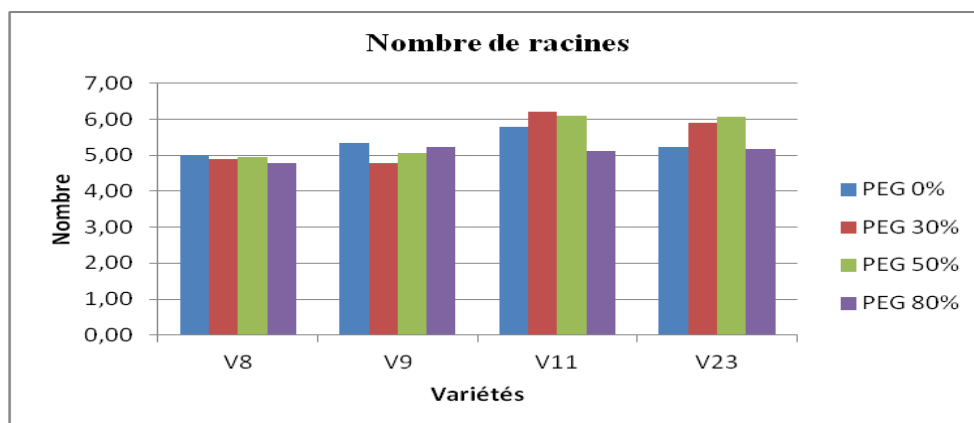


Figure 17. Variation de nombre de racines chez quater variétés de blé dur en fonction des concentrations en PEG

III.1. 2. 3. Longueur de coléoptile (cm)

Toutes les variétés se comportent de la même façon vis-à-vis le stress hydrique appliqué par le PEG. En effet les différentes concentrations en PEG n'affectent pas la longueur du coléoptile. Cette longueur qui prend en minimum une valeur de 2.5cm et en maximum une valeur de 3.5cm (Figure 18).

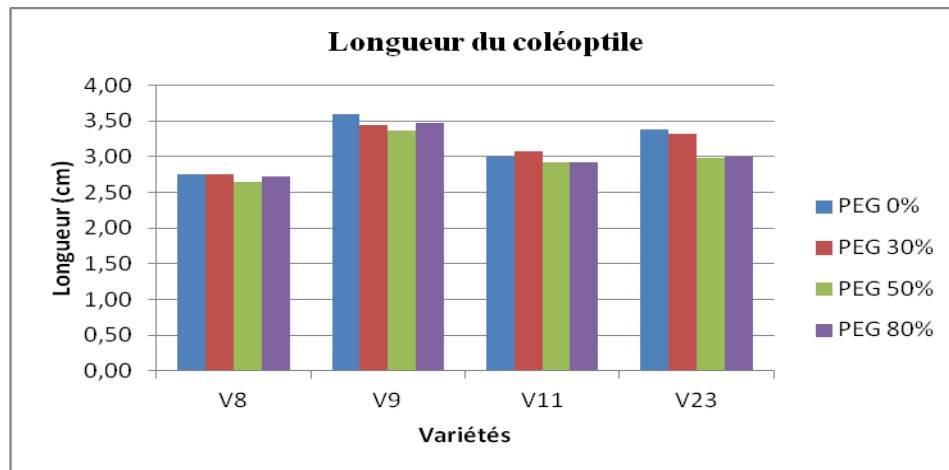


Figure 18. Variation de longueur de la coléoptile chez quater variétés de blé dur en fonction des concentrations en PEG

III.1. 2. 4. Surface foliaire

Globalement, on constate une diminution progressive de la surface foliaire chez les variétés V8, V9 et V11 par rapport au témoin, alors que pour la variété V23 on remarque une stabilité dans toutes les concentrations du PEG (Figure 19).

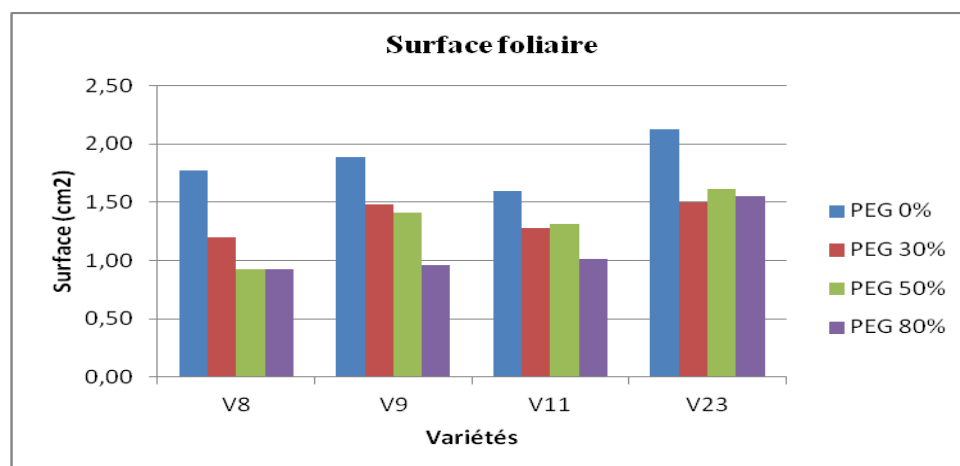


Figure 19. Variation du Surface foliaire chez quater variétés de blé dur en fonction des concentrations en PEG

III.1. 3. Paramètres biochimiques

III.1. 3. 1. Dosage de la proline

Les résultats obtenues montrent qu'il y'a une augmentation de concentration en proline en fonction des concentrations en PEG (Figure 20).

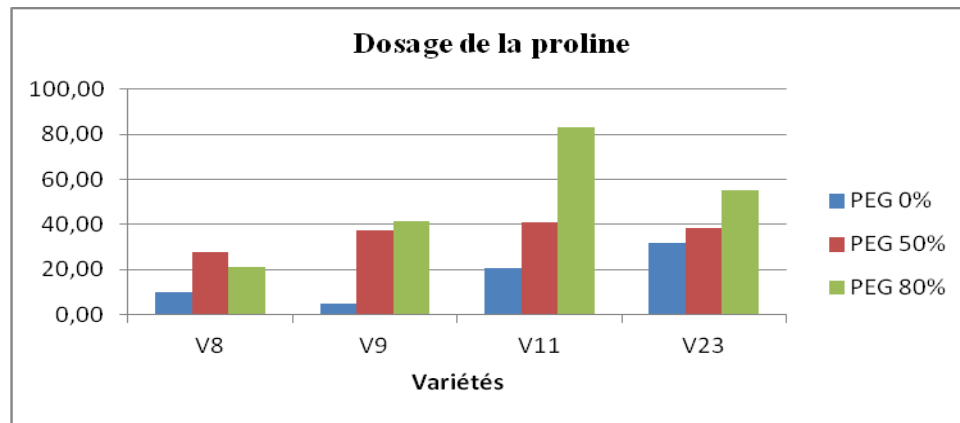


Figure 20. Variation de concentration en proline chez quater variétés de blé dur en fonction des concentrations en PEG

III. 2. Discussion générale

Le stress hydrique quel que soit le stade pendant lequel, elle survient, affecte tous les processus physiologiques, morphologique et biochimique de la plante. Les plantes répondent au déficit hydrique par des modifications morphologiques, physiologiques et métaboliques (Temagoult., 2009).

La tolérance à la sécheresse pendant la phase de germination constitue un critère important, pour l'évaluation de l'aptitude des variétés de blé dur à tolérer un déficit hydrique, durant leur première phase de développement. Le procédé de germination consiste en une prise d'eau par la graine (imbibition) puis d'une élévation de l'embryon menant au final à l'apparition des racines (Bewley et al., 1997 In : Hamla, 2016).

Selon Debaeke et al, (1996) Le stress hydrique précoce affecte en parallèle la croissance des racines et des parties aériennes, le développement des feuilles et des organes reproducteurs. Le stress hydrique osmotique imposé a provoqué une réduction de la longueur et du nombre des racines, d'autant plus importante que le stress est sévère. Cette réduction peut être conséquente à un arrêt de la division et de l'élévation cellulaire au niveau des racines. Ceci entraînant une sorte de lignification du système racinaire, permettant aux plantes d'entrée dans une 'vie ralentie', probablement dans l'attente de conditions plus favorables (Vartanian, 1973 In : Hamla, 2016). La longueur du coléoptile est aussi une caractéristique variétale fortement influencée par les effets du milieu. Le stress hydrique pendant le stade jeune plantule peut inhiber le développement du coléoptile.

Selon Moud et Maghsoudi, (2008) un faible taux de croissance du coléoptile est associé à une faible aptitude à l'osmorégulation. Selon Zhu, (2001) la réduction de croissance des parties aériennes est une capacité adaptative nécessaire à la survie des plantes exposées à

un stress abiotique. La surface foliaire est un déterminisme important de la transpiration. Une des premières réactions des plantes au déficit hydrique est de réduire la surface foliaire. Cette diminution est une des réponses des végétaux à la déshydratation, elle contribue à la conservation des ressources en eau, ce qui permet la survie de la plante (Lebon *et al.*, 2004).

La surface foliaire détermine progressivement à la fois les quantités d'eau utilisées par la plante sous forme de transpiration et les quantités de carbone fixées par voie photosynthétique. Elle conditionne la résistance à la sécheresse, vu qu'une surface foliaire élevée perdra plus d'eau qu'une faible surface foliaire (Belkharchouche *et al.*, 2009).

La teneur relative en eau (RWC) a été utilisée en tant que critère indirect pour examiner le statut de l'eau dans les feuilles. Elle est une approche alternative intéressante parce que ce trait est examiné facilement et rapidement (Oukarroum, 2007). 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). La teneur en eau des feuilles de blé dur diminue proportionnellement avec la réduction d'eau contenue dans le sol (Bajji *et al.*, 2001). El hakimi, (1995), montrent que cette caractéristique présente un coefficient d'héritabilité élevé et qu'elle se fixe rapidement chez les lignées en ségrégation d'un croisement donnée. Ainsi, les variétés tolérantes au stress hydrique, sont celles qui sont capables de perdre moins d'eau par unité de temps et unité de surface sous stress. Plusieurs auteurs montrent que l'augmentation de la teneur en proline est reliée directement à l'application du stress hydrique (Cechine *et al.*, 2006). En effet, la proline est l'un des acides aminés le plus accumulée dans des conditions de déficit hydrique chez plusieurs espèces, il est existé une corrélation positive entre l'accumulation de la proline et la tolérance du stress par les plantes (Berka *et Aid*, 2009).

Par ailleurs, la proline est considérée comme agent adaptatif et marqueur de stress favorable. L'accumulation de la proline au niveau des feuilles est un phénomène lié au déficit hydrique. Il présente à l'intérieur d'une espèce donné une assez grande variabilité, lié au niveau de tolérance de génotype (Chaib *et al.*, 2015). En effet, la teneur en proline est plus élevée en cas de déficit hydrique et, en particulier, chez les génotypes les plus résistants à la sécheresse (Slama *et al.*, 2005).

Conclusion

Conclusion et Perspectives

Le blé dur constitue une partie importante des ressources alimentaires de l'homme et de l'animal. Le stress hydrique est le principal facteur abiotique, qui limite la production du blé dur (*Triticum durum* Desf). Est affecté tous l'aspect de croissance et le bon fonctionnement de plante. Pour éviter le manque d'eau, les plantes développent plusieurs mécanismes adaptatifs qui varient en fonction de l'espèce.

Dans cette étude ont porté sur l'adaptation des quatre variétés de blé dur, semés aux différents niveaux de stress hydrique par l'ajout de différentes concentrations de PEG6000, appliqués au stade germination et stade de croissance.

Les résultats obtenus, démontrons que l'adaptation des variétés par les différentes réponses morpho-physiologique et biochimique dans les conditions de stress, par analyse comparative de quelques paramètres morpho-physiologiques et biochimiques. Il a peu observé du taux de germination était relativement élevé, une diminution de longueur des racines et le nombre de racines, de la longueur de coléoptile, de la teneur relative en eau n'est pas affectée par les différentes concentrations de PEG6000 et une diminution de la surface foliaire chez variétés (V8, V9 et V11) et augmentation d'accumulation de proline en fonction des concentrations en PEG6000.

Les résultats d'accumulation de la proline, permettent de conclure que le stress hydrique modifie la composition biochimique des organes biologiques. Donc en conclure que les quatre variétés utilisent le même stratège pour tolérance au stress hydrique mais à degrés différentes. Comme dans tout travail de recherche, des questions subsistent et de nouvelles perspectives à cette étude préliminaire, il semble important de vérifier sur l'analyse de la variance, et l'identification de variétés les plus tolérantes au stress par d'autres des études complémentaires plus approfondies, et aussi la mise au point des voies et outils de la génomique dans l'amélioration de la tolérance pour le développement de variétés résistantes .

Référence bibliographiques

Références bibliographiques

1. **Aboussouan-Seropian, C., Planchon, C. (1985)** Réponse de la photosynthèse de deux variétés de blé à un déficit hydrique foliaire. *Agronomie, EDP Sciences*, 5 (7) : 639-644.
2. **Adjabi, A. (2011)** Etude de tolérance aux stress abiotique chez le blé dur (*triticum durum* Desf) sous étage du semi –aride. Thèse de doctorat, Université El-harrach, Alger, 88 p.
3. **Aissa, N., Radhouane, L. (2014)** Importance du statut hydrique et de l'indice chlorophyllien de la feuille drapeau du Sorgho (*Sorghum vulgare L.*) dans l'élaboration du rendement grainier en présence de contraintes hydriques et salines. *Journal of Innovation and Scientific Research*, 10(1) : 111-117.
4. **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: 138-61.
5. **Aldaoui, A., Hartani, T. (2000)** Gestion de l'irrigation du blé par des indicateurs de l'état hydrique. In Royo, C. (ed.), Nachit, M. (ed.), Di Fonzo. N. (ed.), Araus, J.L. (ed.) . Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges. Zaragoza : CIHEAM, N°40 : 579 -582.
6. **Alem, C., Labhilili, M., Brahmi, K ., Jlibened, M., Nasrallahe, N., Filali-Maltouf, A. (2002)** Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. *C. R. Biologies*, 325 : 1097–1109.
7. **Ali Dib, T., Monneveux, P. (1992)** Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur. I. Caractères morphologiques d'enracinement. *Agronomie, EDP Sciences*, 12 (5) : 371-379.
8. **Amallah, L. (2017)** Structuration de la variabilité génétique d'une collection de blé dur au Maroc par les marqueurs agro-morphologiques, physico-chimiques, biochimiques et moléculaires et étude des associations marqueurs SSR – paramètres de qualité. Thèse de Doctorat, Université Mohammed V, Rabat, 186 p.
9. **Amgoud, H. (2015)** Influence de deux fongicides sur la germination, la croissance et la teneur en proline de quelques variétés de blé. Mémoire de magister, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 107 p.
10. **Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmahammec, A., Assous, K.L. (2006)** Etude des liaisons entre le rendement, la durée de vie de la feuille étendard, la vitesse de remplissage

et la remobilisation des assimilats de la tige du blé dur (*triticum durum* desf.) sous climat méditerranéen. *Annales de l'institut National Agronomique*, 21(1) : 15-35.

11. 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: 669-681.

12. Barrs, H. (1968) Determination of water deficit in plant tissues. In: *Water Deficit and Plant Growth*. Koslowski T. *Academy Press*, New York: PP 235-368.

13. Belagrouz, A. (2013) Analyse du Comportement du Blé Tendre, Variété El WIFAK (*Triticum aestivum L.*) Conduite en Labour Conventionnel, Travail Minimum et Semis Direct sur Les Hautes Plaines Sétifiennes. Mémoire de magister, Université Ferhat Abbas, Sétif, 107 p.

14. Belaid, D. (2016) La production de semences en Algérie (Tome 1). Collection dossiers agronomiques : PP18.

15. Belkharchouche, H., Fellah, S., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Chellal, N. (2006) Vigueur de croissance, translocation et rendement En grains du blé dur (*triticum durum* desf) Sous conditions semi arides. *Courrier du Savoir*, N°09 : 17-24.

16. Benderradji, L., Hadji, N., Kellou, K., Benniou, R., Brini, F. (2016) Effet du NaCl et PEG 6000 sur le comportement morpho-physiologique et biochimique des variétés de blé dur et tendre cultivées *in vitro* en milieu hydroponique. *Revue Agriculture*, 1 : 278 – 286.

17. Benjelloun, M., Rais, C., Wahid, N., El ghadraoui, L., Mhamdi, M.A. (2013) Evaluation de la tolérance de *Myrtus communis L.* au stress hydrique au stade germinatif. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Vie*, 35 : 19-26.

18. Ben naceur, M., Naily, M., Selmi, M. (1999) Effet d'un déficit hydrique, survenant a différents stades de développement du blé, sur l'humidité du sol, la physiologie de la plante et sur les composantes du rendement. *MEDIT*, 2 : 53-60.

19. Berka, S., Aïd, F. (2009) Réponses physiologiques des plantes d'*Argania spinosa (L.)* Skeels soumis à un déficit hydrique édaphique. *Sécheresse*, 20 (3) : 296-302.

20. Bhour khila, S., Douh, B., Mguidiche, A., Boujelben, A. (2015) Effets de la contrainte hydrique et des changements climatiques sur la productivité du blé dur en conditions climatiques semi arides de tunisie. *Larhyss Journal*, 23 : 69-85.

21. Bonjean, A. (2001) Histoire de la culture des céréales et en particulier de celle du blé tendre (*triticum aestivum L.*). *Dossier de l'environnement de l'INRA*, 21 : 29-37.

- 22. Botineau, M. (2010)** Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs. Lavoisier, Paris : PP221.
- 23. Bouatrous, Y. (2013)** Effet du stress salin et l'haplodiploïdisation chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse de doctorat, Université Mentouri, Constantine, 210 p.
- 24. Boubaker, M., Ben Hammouda, M., Gdiri, H. (1999)** Réponse du blé dur au stress hydrique et à la profondeur de semis pendant le stade jeune plante. *Sécheresse*, 10 (1) : 35-38.
- 25. Brink, M., Belay, G. (2006)** Ressources végétales de l'Afrique tropicale I. Céréales et légumes sec. Fondation PROTA/ Backhuys Publishers /CTA, Pays-Bas : PP 327.
- 26. Cechin, I., Rossi, S.C., Oliveria, 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): 143-146.
- 27. Chahbar, S., Belkhodja, M. (2016)** Water deficit effects on morpho-physiological parameters in durum wheat. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 8(3): 1166-1181.
- 28. Chaib, G., Benlaribi, M., Hazmoune, T. (2015)** Accumulation d'osmotiques chez le blé dur (*triticum durum* desf.) sous stress hydrique. *European Scientific Journal August*, 11(24) : 378-395.
- 29. Chaumeil, P. (2006)** Plasticité moléculaire de deux écotypes de pin maritime soumis à un stress osmotique. Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy I, 382 p.
- 30. Chennafi, H., (2012)** Decadal evaluation of durum wheat water requirements to improve rainfed agriculture under semi-arid conditions. *J. Energ Proc.*18: 896-904.
- 24. CIC : Commerce international des céréales. (2017)** Observatoire national des filières agricoles et agroalimentaires 2. *Rue des frères ouedekk, Alger, N°10.*
- 25. Danyluk, J., Perron, A., Hoade, M., Sarhan, F. (1998)** Accumulation of an Acidic Dehydrin in The Vicinity of the Plasma Membrane During cold Acclimation of weat. *Pant Cell*, 10: 623-638.
- 26. Debaeke, P., Cabelguenne, M., Casals, M., 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 : Epiephase-Blé. *Agronomie*, 16 (1) : 25-46.

- 27. Denden, M., Bouslama, M., Slimi, H., Bouaouina, T. (2005)** Action du trajet foliaire de diffusion de l'eau et de l'épaisseur de la cuticule sur la transpiration. *Sécheresse*, 16 (2): 125-129.
- 28. Djermoun, A. (2009)** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Nature et Technologie*, N°1 :45 -53.
- 29. Doorenbos, J., Kassam, A.H., Bentverisen, C. L. M., Bransheid, V., Plusjé. J.M.G.A., Smith, M., Uittenbogaard, G.O., Van Der Val, H.K. (1980)** Réponse des rendements à l'eau. Print book, French : PP 1.
- 30. Dubos, C. (2001)** Réponse moléculaire de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy-I. PP 292.
- 31. Durand, J.L. (2007)** Les effets du déficit hydrique sur la plante : aspects physiologiques. *Fourrages*, 190 : 181-195.
- 32. El fakhri, M., Mahboub, S., Benchekroun, M., Nsarellah, N. (2010)** Effet du stress hydrique sur les caractéristiques d'enracinement du blé dur (*Triticum Durum*. Desf). *Revue Nature et Technologie*, N°3 : 6-12.
- 33. El hakimi, A. (1995)** sélection sur la base physiologique et utilisation des espèces tétraploïdes du genre Tritium pour l'amélioration génétique de la tolérance a la sécheresse du blé. Thèse de doctorat, Université Montpellier, 220 p.
- 34. El Jaafari, S., Paul, R., Lepoivre, P., Semal, J., Laitat, E (1993)** Résistance à la sécheresse et réponses à l'acide abscissique : analyse d'une approche synthétique. *Cahiers Agricultures*, 2 : 216-263.
- 35. Erchidi, A.E., Grieu, P., Maury, P., Debaeke, P., Sarrafi, A. (2008)** Améliorer la tolérance à la sécheresse du tournesol : apports de l'écophysiologie et de la génétique. *Innovations Agronomiques*, 2 : 37-51.
- 36. FAO, 2017:** <https://www.agenceecofin.com/>.
- 37. Faye, K., Heng, L.H., Collomp, R., Peroux, E. (2003)** Hypertension et stress, *Journal des Maladies Vasculaires*, 28 (1) : 4-8.
- 38. Feillet, P. (2000)** Le grain de blé : Composition et utilisation. INRA, Paris : PP 17-18.
- 39. France AgriMer. (2015)** Turbulences sur le marché du blé dur ? Retour sur la campagne 2014/15 et perspectives 2015/16. La note de conjoncture Céréales. (<http://www.franceagrimer.fr>)
- 40. France AgriMer. (2016)** Présentation marché du blé dur. ([WWW.franceagrimer.fr](http://www.franceagrimer.fr))

- 41. Franconie, H., Chastanet, M., Sigaut, F. (2010)** Couscous, boulgour et polenta : Transformer et consommer les céréales dans le monde. KARTHALA : PP 427.
- 42. Gallais, A., Bannerot, H. (1992)** Amélioration des espèces végétales cultivées. INRA, Paris : PP 23.
- 43. Gate, P., Giban, M. (2003)** Stade du blé. ITCF, ARVALIS: PP 24.
- 44. Haddad, L., Bouzerzour, H., Benmahammed, A. Zerargui, H., Hannachi, A., Bachir, A., Salmi, M., Oulmi, A., Nouar, H., Laala, Z. (2016)** Analysis of the phenotypic variability of some varieties of Durum wheat (*triticum durum* desf) to improve the efficiency Of performance under the constraining conditions of semiarid Environments. *Fundam Appl Sci*, 8(3): 1021-1036.
- 45. Hafsi, M., Monneveux, P., Merah, O., Djekoune., A. (2001)**_Discrimination isotopique du carbone et rendement du blé dur dans les hautes plaines Sétifiennes, *Algérie*, 12(1) : 37-43.
- 46. Hamla, C., Brini, F., Malika Ayadi, M., Masmoudi, K., Djekoun,A., Ykhlef, N. (2014)** Drought stress response in two Algerian durum wheat genotypes: physiological and molecular analysis of two stress responsive genes. *International Journal of Advanced Research*, 2(10): 330-338.
- 47. Hamla, C. (2016)** Caractérisation des gènes de tolérance à la sécheresse chez le blé dur : étude du rôle des déhydrines et des aquaporines. Thèse de doctorat, Université des Frères Mentouri, Constantine, 181 p.
- 48. Henry, Y., Buysier, J. (2000)** L'origine des blés. Hors-série, 26 :60-62.
- 49. Hireche, Y. (2006)** Réponse de la luzerne (*Medicago sativa* L) au stress hydrique et à la profondeur de semis. Mémoire de magister, Université Hadj Lakhdar, Batna, 83 p.
- 50. Hopkins, W. (2003)** Physiologie végétale, 2^{re} édition, De Boeck Université, paris : PP 452.
- 51. Kara, Y., Bellkhiri, C.E. (2011)** Etude des caractères d'adaptation au déficit hydrique de quelques variétés de blé dur et d'espèces sauvages apparentées : intérêt potentiel de ces variétés pour l'amélioration de la production. *Courrier du Savoir*, N°11 : 119-126.
- 52. Labdelli, A. (2011)** Etude des effets des variations morpho-structurales du système racinaire pour la tolérance a la sécheresse du blé dur (*triticum durum* Desf.). Mémoire de magister, Université ES- SENLA, ORAN, 120 p.
- 53. Larbi, A. (2004)** Relative water content (RWC) and leaf senescence as screening tools for drought tolerance in wheat. *In: Cantero-Martínez, C. (ed.), Gabiña, D. (ed.)*.

Mediterranean rainfed agriculture: Strategies for sustainability. Zaragoza : CIHEAM, 60 : 193-196.

54. Lebon, E., Pellegrino, A., Tardieu, F., Lecoeur, J. (2004) Shoot development in grapevine is affected by the modular branching pattern of the stem and intra and inter-shoot trophic competition. *Annals of Botany*, 93 : 263 -274 .

55. Ledoigt, G., Coudret, A. (1992) Stress hydrique : étude des mécanismes moléculaires et des modifications de l'expression du génome. *Bulletin de la Société Botanique de France. Lettres Botaniques*, 139 (2) : 175-190.

56. Lev-yadun, S., Gopher, A., Abbo, S. (2000) The cradle of agriculture. *Science*. 288 : 1602-1603.

57. Maury, P., Langlade, N., Grieu, P., Rengel, D., Sarrafi, A., Debaeke, P., Vincourt, P. (2011) Ecophysiologie et génétique de la tolérance à la sécheresse chez le **Tournesol**. *Innovations Agronomiques*, 14 : 123-138.

58. Mazouz, L. (2006) Etude de la contribution paramètre phéno morphologique dans la l'adaptation du blé dur (*triticum durum Desf.*) dans l'étage bioclimatique semi -aride. Mémoire de magister, Université EL-HADJ LAKHDAR, Batna, 97 p.

59. Mazouz, L., Bouzerzour, H. (2017) Etude de la contribution des paramètres phéno-morphologiques dans la sélection du blé dur (*Triticum durum Desf.*) dans le climat semi-aride. *Revue Sci. Technol*, 35: 45-58.

60. Mefti, M., Abdelguerfi, A., Chebouti, A. (2001) Etude de la tolérance à la sécheresse chez quelques populations de *Medicago truncatula* (L.) Gaertn. In: Delgado, I. (ed.), Lloveras, J. (ed.). Quality in lucerne and medics for animal production. Zaragoza, CIHEAM : 173-176.

61. 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*, 17(4) : 507-503.

62. Mekliche, A ., Boukecha, D., Hanfi-Mekliche, L .(2003) Etude de tolérance a la sécheresse de quelques variétés de blé dur (*triticum durum Desf*) .I. Effet de l'irrigation de complément sur les caractères phénologique, morphologiques et physiologiques, *Annales de l'Institut National Agronomique*, 24 (1 et 2) : 97-110.

63. Melki, M., Dahmane, A. (2008) Identification de quelques mutants de blé dur performants en conditions de sécheresse naturelle. *Sécheresse*, 19 (1) : 47-53.

- 64. Monneveux, P., Nemmar, M. (1986)** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) : étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie, EDP Sciences*, 6 (6) : 583-590.
- 65. Monneveux, P., This, D. (1997)** La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : espoirs et difficultés. *Sécheresse*, 8 (1) : 29-37.
- 66. Moud, A. M., Maghsoudi, K. (2008)** Application of coleoptile growth response method to differentiate osmoregulation capability of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Research Journal of Agronomy*, 2(2): 36-43.
- 67. Mouellef, A. (2010)** Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Mémoire de magister, Université Mentouri, Constantine, 118 p.
- 68. Mrani Alaoui, M., El jourmi, L., Ouarzane, A., Lazar, S., El Antri, S., Zahouily, M., Hamyene, A. (2013)** Effet du stress salin sur la germination et la croissance de six variétés marocaines de blé (*Effect of salt stress on germination and growth of six moroccan wheat varieties*). *J.Mater.Environ.Sci*, 4(6) : 997-1004.
- 69. Nachit, M., Picard, E., Monneveux, P., Labhilili, M., Baum, M., Rivoal, R. (1998)** Présentation d'un programme international d'amélioration du blé dur pour le bassin méditerranéen. *Cahiers Agricultures*, 7 : 510-515.
- 70. Nadjem, K. (2012)** contribution à l'étude des effets du semis direct sur L'efficience d'utilisation de l'eau et le Comportement variétal de la culture de blé en Région semi-aride. Mémoire de magister, Université Ferhat Abbas, Sétif, 131 p.
- 71. Naville, M. (2005)** La biodiversité des espèces cultivées : Analyse dans le cas du blé, ENS cachan- département biochimie et génie biologique. Université Paris XI : PP 7.
- 72. O. A. I. C. Office algérien interprofessionnel des céréales. (2018)** mise sur l'amélioration des rendements pour atteindre l'autosuffisance à l'horizon 2020. (<http://www.aps.dz/economie/69762-ble-dur>).
- 73. Oudjani, W. (2009)** Diversité de 25 génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.): étude des caractères de production et d'adaptation. Mémoire de magister, Université Mentouri, Constantine, 113 p.
- 74. Ouis, M., Belkhodja, M. (2012)** Réponse protéique d'une halophyte face aux stress salin. *Algerian journal of arid environment*, 2 (1) :16-24.

- 75. Oukarroum, A. (2007)** Vitalité des plantes d'orge ("*Hordeum vulgare*" L.) en conditions de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne. Thèse de doctorat, Université Genève, 196 p.
- 76. Poormohammad kiani, S. (2007)** Analyse génétique des réponses physiologiques du tournesol (*Helianthus annuus* L.) soumis à la sécheresse. Thèse de doctorat, Université Toulouse. PP18.
- 77. Salmi, M. (2015)** Caractérisation morpho-physiologique et biochimique de quelques générations F2 de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. Mémoire de magister, Université Ferhat Abbas, Sétif 1, 124 p.
- 78. Salmi, M., Haddad, L., Oulmi, A., Benmahammed, A., Benbelkacem, A. (2015)** Variabilité phénotypique et sélection Des caractères agronomiques du blé dur (*triticum durum* desf.) Sous conditions semi-arides. *Journal July*, 11(21) : 99-111.
- 79. Semcheddine, N. (2008)** Utilisation de la discrimination isotopique du carbone comme critère de sélection du blé dur (*triticum durum* desf) en relation avec le bilan hydrique. . Mémoire de magister, Université Sétif.
- 80. Slama, A., Ben Salem, M., Ben Naceur, M ., Zid, E. (2005)** Les céréales en Tunisie :production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Sécheresse*, 16 (3) : 225-229.
- 81. Soussa, A., Brinis, L. (2016)** Effets de vieillissement accéléré sur la germination et l'établissement des jeunes plants vigoureux de semences macrobiotiques : cas de blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Sci. Technol*, 33: 37-47.
- 82. Tahri, E., Belabed. A., Sadki, K. (1998)** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat*, N°21 : 81-87.
- 83. Temagoult, M. (2009)** Analyse de la variabilité de la réponse au stress hydrique chez des lignées recombinantes de Tournesol (*Helianthus annus* L.).Mémoire de Magistère, Université Mentouri, Constantine, 106 p.
- 84. Turner, N.C. (1986)** Adaptation to Water Deficits: A Changing Perspective. *Aust. J. Plant Physio*, 13: 175-190.
- 85. Vartanian, N., Lemée, G. (1984)** La notion d'adaptation à la sécheresse. *Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques*, 131 (1) : 7-15.

- 86. Ykhlef, N., Djekoun, A. (2000)** Adaptation photosynthétique et résistance à la sécheresse chez le blé dur (*Tri ti cu m tu rgi du m L. var. du ru m*) : Analyse de la variabilité génotypique. In: Royo C. (ed.), Nach it M. (ed.), D i Fon zo N. (ed.), Arau s J.L. (ed.). Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges. Zaragoza: CIHEAM, N°40: 327 -330.
- 87. Zerrad, W., Maataoui1, B.S., Hilali1, S., El Antri, S., Hmyene, A. (2008)** Etude comparative des mécanismes biochimiques de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. *Lebanese Science Journal*, 9 (2) : 27-36.
- 88. Zhu, J. K. (2001)** Plant salttolerance Trends in Plant Sci. 6: 66-71.
- 89. Zitouni, Z. (2006)** cinétique de quelques paramètres physiologique du blé dur *triticum durum* (variété vitron) sous contrainte hydrique dans la plaine de la Mitidja. Mémoire de magister, Alger ,177 p.

Résumé

L'objectif de ce travail étant de réaliser une étude comparative du comportement de quatre variétés de blé dur (*Triticum durum Des.*) en réponse au stress hydrique au niveau physiologique, morphologique et biochimique. Dans la première partie, on a étudié différents paramètres morphologiques, physiologiques sous quatre niveaux de stress hydrique provoqués par des solutions de PEG6000 (0%, 30%, 50%, 80%). Les résultats obtenus montrent que le taux de germination était relativement élevé et une réduction de la longueur des racines, et le nombre des racines et longueur du coléoptile et la teneur relative en eau restée fixe, ainsi qu'une réduction de la surface foliaire. Dans la deuxième partie, on a étudié les paramètres biochimiques sous trois niveaux d'irrigation de stress hydrique provoqués par des solutions de PEG6000 (0%, 50%, 80 %), le choix des niveaux d'irrigation est appliqué au stade 3^{ème} feuille. Les résultats obtenus est une augmentation d'une accumulation de proline. L'étude a montré que le stress hydrique provoque les mêmes mécanismes de la tolérance chez les quatre variétés mais à degrés différents.

Mots clés : blé dur, tolérance, stress hydrique, PEG6000, morphologique, physiologique, biochimique.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو إجراء دراسة مقارنة لسلوك أربعة أصناف من القمح الصلب استجابة للإجهاد المائي على المستويات الفيزيولوجية والمورفولوجية والبيوكيميائية. في الجزء الأول، قمنا بدراسة الصفات المورفولوجية والفسيوولوجية المختلفة تحت أربعة مستويات من الإجهاد المائي الناجم عن محلول بولي ايثيلان كليكول (0%، 30%، 50%، 80%). أوضحت النتائج أن معدل الإنبات كان عالي نسبياً وانخفاض في طول الجذور، وعدد الجذور وطول كيليبوتيل ومحتوى الماء النسبي ثابتاً وكذلك انخفاض طفيف في مساحة الورقة. في الجزء الثاني، قمنا بدراسة المعلمات البيوكيميائية تحت ثلاثة مستويات من الري المائي الناتج عن محلول بولي ايثيلان كليكول (0%، 50%، 80%)، يتم تطبيق اختيار مستويات الري على مرحلة الورقة الثالثة. النتائج التي تم الحصول عليها هي زيادة في تراكم البرولين. وأظهرت الدراسة أن في جميع الأصناف الأربعة كان لها نفس آليات الاستجابة للإجهاد الأسموزي لكن بدرجات متباينة.

الكلمات المفتاح: القمح الصلب، التحمل، الإجهاد المائي، بولي ايثيلان كليكول، المورفولوجية، الفسيولوجية، البيوكيميائية.