

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA 01**



**FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE**

**DEPARTEMENT DE BIOLOGIE DES POPULATIONS**

**ET DES ORGANISMES**

**Mémoire de Fin d'Etudes en vue de l'obtention**

**Du diplôme de Master en Science Biologique**

**Option : Biodiversité et physiologie végétale**

**Thème**

**Etude du comportement morpho-physiologique et  
biochimique de blé dur (*Triticum durum Desf.*) développé  
sous stress hydrique.**

**Réalisé par :**

**AKCHA YAMINA**

**BENYOUCEF ROMAÏSSA**

**Date de soutenance : Septembre 2020**

**Devant le jury :**

Me.AMEDJKOUH.H	MAA/BPO	USDB 1	Présidente
Me.BELHIS.I	MAA/BPO	USDB 1	Examinatrice
Mr.ROUIBLA	PROF/BPO	USDB 1	Promoteur
Mr.BACHIRI.H	Chargé de recherche	INRAA	Co-Promoteur

**Année universitaire : 2019 /2020**

## **REMERCIEMENTS**

الحمد لله الذي هدانا لهذا وما كنا لنهتدي لولا هدانا الله

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

*Nous adressons l'expression de nos très vives gratitudee et respects à notre encadreur, Monsieur ROUIBI.A pour son soutien, pour ses conseils utiles et sa gentillesse et pour ses appréciations sur ce travail.*

*Tous nos remerciements au Mr.BACHIRI.H notre co-encadreur.*

*Nous remercions beaucoup les membres du jury : Me.AMEDJKOUH.H, de nous avoir fait l'honneur de présider le jury de ce travail.*

*Me.BELHIS.I, d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nous remercions tous les enseignants du département de biologie des populations et des organismes pour leurs aides et encouragements au cours de nos études.*

## **DÉDICACE**

*Je dédie ce travail aux plus précieux de l'existence :*

*Mes chers parents*

*A celle qui offre tout et n'attend rien, à l'exemple même  
de la bonté et de générosité, à la femme la plus noble au  
monde,*

*A ma Mère*

*A mon Père qui sacrifié leur vie pour moi, qui  
encouragé pendant mes études*

*A mon fiancé, Nasreddine pour ses encouragements*

*A mes sœurs Fatima Zahra et Meriem*

*A mon frère Samir*

*A Ma belle sœur Nadjla*

*Et a toute la famille AKCHA*

*A Mes chères amies: Karima et Ouafaa*

*Et bien sur a mon binôme Romaiassa*

**YAMINA**



# **DÉDICACE**

*Je dédie ce travail à:*

*Mes très chers parents pour leurs encouragements et pour leur énorme sacrifice durant mes études, je les remercie.*

*Mes sœurs : Yousra ,Wissal ,Ines et Douaa .*

*Et Tous mes collègues et mes amies, et toutes personnes qui me sont chers.*

**ROMAÏSSA**

## Résumé

L'objectif de ce travail consiste d'étudier l'effet de stress hydrique durant la phase végétative chez différents génotypes de blé dur (*Triticum durum Desf.*) variété locale Ain abid et les variétés mexicaines V1 et V2

Divers paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques lié a l'adaptation au déficit hydrique (surface foliaire, teneur relative en eau, teneur en chlorophylle et en proline), ont été étudié chez différents génotypes de blé dur.

Les résultats obtenus par des travaux antérieurs montrent que le stress hydrique a entraîné une réduction de la surface foliaire, une diminution de la teneur relative en eau et de teneur en chlorophylle. De même, une accumulation de la proline.

En conclusion les majorités des travaux suggèrent que le stress hydrique provoque les mêmes mécanismes de réponse chez les différents génotypes mais a des degrés différents.

**Mots clés :** stress hydrique, blé dur, paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques.

## الملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير الاجهاد المائي في الانماط الجينية المختلفة للقمح القاسي خلال النمو الخضري لصنف محلي

Ain abid وصنف مكسيكي V1 و V2.

تمت دراسة مختلف العوامل المورفولوجية والفيزيولوجية و الكيمائية الحيوية المتعلقة بالتكيف مع العجز المائي (مساحة الاوراق والمحتوى المائي النسبي والكلوروفيل و محتوى البرولين) في انماط وراثية مختلفة للقمح القاسي.

اظهرت النتائج التي تم الحصول عليها ان الاجهاد المائي ادى الى انخفاض مساحة الورقة وانخفاض في محتوى الماء النسبي وفي محتوى الكلوروفيل. وبالمثل تراكم البرولين.

وفي الختام يظهر العمل ان الاجهاد المائي يسبب نفس اليات الاستجابة في الانماط الجينية المختلفة ولكن بدرجات مختلفة.

**الكلمات المفتاحية** الاجهاد المائي القمح الصلب العوامل المورفولوجية الفيزيولوجية الكيمائية الحيوية.

## **Abstract**

The objective of this work is to study the effect of water stress in different genotypes of durum wheat (*Triticum durum Desf.*) variety local Ain Abid and variety Mexican V1, V2.

Various morphological, physiological and biochemical parameters related to adaptation to water deficit (leaf area, relative water content, chlorophyll and proline content) have been studied in different durum wheat genotypes.

The results obtained show that water stress led to a reduction in the leaf area, a decrease in the relative water content and in chlorophyll content. Likewise, an accumulation of proline.

In conclusion, work shows that water stress causes the same response mechanisms in different genotypes but to different degrees.

**Key words** : water stress, durum wheat, morphological, physiological and biochemical parameters.



**AO** : Ajustement Osmotique

**ERO** : Espèces Réactives de l'Oxygène

**Chl a** : Chlorophylle a

**Chl b** : Chlorophylle b

**IR** : conditions Irriguées

**NIR** : conditions Non Irriguées

**N1, 2, 3, 4** : Niveau de stress hydrique

**SF** : Surface Foliaire

**SPAD** : Développement pour l'Analyse du Sol et des Plantes

**TRE** : Teneur Relative en Eau

**T0** : Témoins

**T1** : Stress modéré

**T2** : Stress sévère

**TCT** : Taux de la Chlorophylle Totale

**XET** : xyloglucane endo-trans-glucanase.

<b>Figure 01</b> : Morphologie des graminées.....	06
<b>Figure 02</b> : Stades repères du cycle de développement du blé.....	09
<b>Figure 03</b> : Courbe étalon du dosage de la proline.....	24

Introduction.....	01
-------------------	----

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

I. Généralité sur le blé dur.....	04
1. Taxonomie du blé dur.....	04
2. Origine et diversité du blé en Algérie.....	04
3. Description morphologique du blé dur.....	05
3.1. Appareil végétative.....	05
3.2. Appareil reproducteur.....	06
4. Le cycle de développement du blé dur.....	06
4.1. Période végétative.....	06
4.1. Période reproductrice.....	07
II. Le stress.....	09
1. Le stress hydrique.....	09
2. effet de stress hydrique.....	10
2.1. Effet de stress hydrique sur la photosynthèse.....	10
2.2. Effet de stress hydrique sur la croissance et le développement de blé.....	11
2.3. Influence de stress hydrique sur le rendement de blé dur.....	12
3. Mécanismes d'adaptation des plantes aux stress hydrique.....	13
3.1. Adaptation phénologique.....	13
3.2. Adaptation morphologique.....	14
3.3. Adaptation physiologique.....	15
3.4. Adaptation biochimique.....	18

## Chapitre II : Matériels et méthodes

I. Matériel végétal.....	21
II. Conduite et organisation des essais.....	21
II.1. Détermination et application des niveaux de stress.....	21
III. Les paramètres mesurés.....	21
III.1. Les paramètres morphologie.....	21
III.1.1. La surface foliaire.....	21
III.2. Les paramètres physiologiques.....	22
III.2.1. La teneur relative en eau (TRE%).....	22

III.2.2. La teneur en chlorophylle totale (TCT).....	22
III.3. Les paramètres biochimiques.....	23
III.3.1. Le dosage de la proline.....	23

## Chapitre III : Synthèse des résultats

I. Effet de stress hydrique sur les paramètres morphologiques.....	26
I.1. Effet de stress hydrique sur la surface foliaire.....	26
II. Effet de stress hydrique sur les paramètres physiologiques.....	28
II.1. Effet de stress hydrique sur la TRE.....	28
II.2. Effet de stress hydrique sur la teneur en chlorophylle.....	30
III. Effet de stress hydrique sur les paramètres biochimiques.....	32
III.1. Effet de stress hydrique sur la teneur en proline.....	32
Conclusion.....	34
Références bibliographiques	

# Introduction

En Algérie, les céréales sont les principales cultures, cultivées sur une superficie annuelle d'environ 3,6 millions d'hectares (MADR, 2012). Parmi les céréales le blé dur occupe une place de choix dans l'alimentation des populations algériennes (Megherbi et *al.*, 2012).

Le rendement grain national de cette culture est le plus faible du bassin méditerranéen (Belaid, 2000). Le pays figure parmi les premiers importateurs mondiaux de blé dur en s'accaparant de près de 50% du marché mondial (CIC, 2007). Cette situation risque de se prolonger à plusieurs années, faute de rendement insuffisants et des besoins de consommation sans cesse croissants devant une forte évolution démographique (Chellali, 2007).

Chez le blé dur (*Triticum durum*), la sécheresse est une des causes principales des pertes de rendement, qui varient de 10 à 80% selon les années, en région méditerranéenne (Nachit et *al.*, 1998). La lutte contre ce facteur climatique doit être envisagée à travers une approche multidisciplinaire (Monneveux, 1991) qui intègre essentiellement, dans ce cas, l'irrigation d'appoint, les techniques culturales et la sélection d'un matériel végétal adapté.

Le stress hydrique constitue un important facteur limitant la production des céréales. Il affecte tous les aspects de croissance. Il se traduit chez la plante par une série de modifications qui touchent les caractères morpho- physiologiques, biochimiques, génétiques et même les niveaux d'expression des gènes associés à la sécheresse (Mefti et *al.*, 2000).

L'ajustement osmotique (AO) apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation des plantes à ce stress (Zhang et *al.*, 1999). Cependant, en dépit de l'abondante littérature consacrée à ce mécanisme, il n'existe, à l'heure actuelle, qu'un nombre limité de travaux se rapportant au blé dur (Kameli et Lösel, 1995; Rekika et *al.*, 1998; Bajji et *al.*, 1999).

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'effet du stress hydrique sur les aspects morphologiques, physiologiques et biochimiques et leur contribution dans le processus de tolérance à la sécheresse.

Ce mémoire est présenté en trois chapitres :

Le chapitre I, est une synthèse bibliographique sur le blé dur, le stress hydrique, les mécanismes morphologiques, physiologiques et biochimiques de la tolérance du blé dur au stress hydrique.

Le chapitre II, porte sur « matériel et méthodes » qui décrit d'une manière détaillée la description du matériel végétal, les différents caractères mesurés et les méthodes d'analyse utilisées dans ce travail.

Le chapitre III, est réservé à la discussion des résultats des travaux antérieurs consacrés aux effets du stress hydriques sur le blé dur.

Le mémoire se termine, par une conclusion, suivie par la liste de références bibliographiques.

# **Synthèse bibliographique**



**I –Généralités sur le blé dur****I. 1. Taxonomie du blé dur**

Le blé dur (*Triticum durum*) est une plante annuelle de la classe de monocotylédones de la famille des graminées (Poaceae), de la tribu des triticeées et du genre *Triticum* (Feillet, .2000).

**1. Classification botanique du blé dur**

**Règne :** Plantae

**Embranchement :** spermaphytes

**Sous embranchement :** Angiospermes

**Classe :** Monocotylédones

**Ordre :** Poales

**Famille :** Poaceae

**Tribu :** Triticeae

**Genre :** *Triticum*

**Especce :** *Triticum durum* Desf.

**I.2.Origine et diversité du blé dur en Algérie**

Les blés constituent le genre *Triticum*, qui comporte un certain nombre d'espèces cultivées. Du point de vue génétique on peut les classer en diploïdes (*Triticum monococcum*: 14 chromosomes), tétraploïdes (*Triticum turgidum*: 28 chromosomes), et hexaploïdes (*Triticum aestivum*: 42 chromosomes). Ainsi l'origine du blé dur est un hybride, résultant du croisement aléatoire et naturel de l'espèce *Triticum monococcum* (sauvage) et une herbe spontanée apparentée au blé nommée *Aegilops speltoides*, toutes deux vraisemblables, puisqu'on les rencontre dans la même aire géographique (Belaid, 1996).

Les blés cultivées en Algérie appartiennent pour la presque totalité aux espèces (*Triticum aestivum* L.) (Blé tendre) et (*Triticum durum* Desf.) (Blé dur). A l'intérieur de

chaque espèce on trouve de nombreuses variétés botaniques. En effet, la diversité des blés algériens a été à l'origine, étudiée à partir des caractères morphologiques. D'autres paramètres tels que la taille, la forme de l'épi, la position des barbes ont été pris en considération afin de distinguer ainsi un grand nombre de populations (Erroux, 1961).

Ducellier en (1930), a décrit l'ensemble des espèces de blé cultivées en Algérie: les blés durs (avec et sans barbes). Avant l'indépendance, il en comptait vingt-neuf variétés d'origine arabes (Hedba, Mohamed ben Bachir, Bidi). Plus de 30 années après les travaux de Ducellier (1930), Laumont et Erroux (1961) ont mentionné les mêmes variétés cultivées de blé dur à une ou deux exceptions.

### **I.3.Description morphologique du blé dur**

Le blé est une plante herbacée annuelle à croissance définie, monocotylédone, appartenant au groupe des céréales à paille (Naville, 2005). Elle est constituée d'un ensemble de brins appelées talles, chaque talle est une entité comportant une tige feuillée, qui constitue la partie végétative, un épi qui est la partie reproductrice et un système racinaire (Soltner, 2005). (Figure 01)

#### **I.3.1.L'appareil végétatif**

Elle est constituée par un système racinaire et un système aérien :

##### **A. Le système racinaire**

Il comprend des racines séminales produites par la plantule durant la levée, ainsi que des racines adventives (latérales) qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent (Bozzini, 1988).

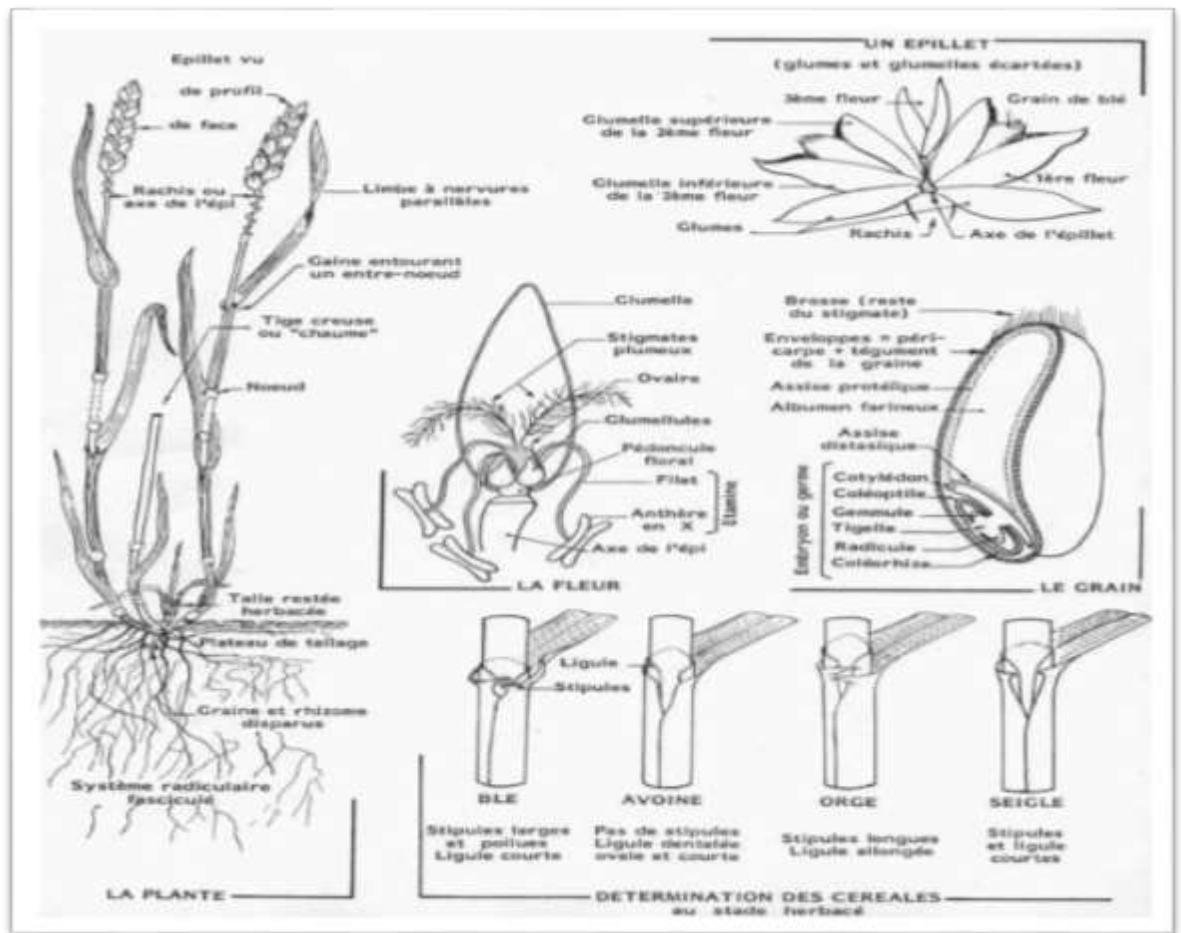
##### **B. Le système aérien**

Il est formé d'un certain nombre d'unités biologiques, les talles, les feuilles et les gaines. Le talle est formé d'une tige feuillée ou chaume portant à son extrémité une inflorescence (Clarke et al., 2002). Les feuilles se composent d'une base (gaine) entourant la tige, d'une partie terminale qui s'aligne avec les nervures parallèles et d'une extrémité pointue.

Au point d'attache de la gaine de la feuille se trouve une membrane mince et transparente (ligule) comportant deux petits appendices latéraux, les oreillettes (Bozzini, 1988).

**I.3.2. L'appareil reproducteur**

L'inflorescence du blé est un épi. Ce dernier est constitué d'unité de base, les épillets. L'épillet est une petite grappe de un à cinq fleurs enveloppées chacune par deux glumelles (inferieur et extérieur). La grappe est incluse entre deux bractées ou glumes, les fleurs sont attachées sur le rachis et son autogame (Anonyme, 2002).



**Figure 01.**Morphologie des graminées (exemple du blé) (Soltner, 1998)

**I.4.Le cycle de développement du blé dur**

Le cycle du blé comporte deux grandes périodes, une période végétative et une période reproductrice. La période végétative comporte les phases germination. Pré tallage et tallage.

Cependant la période reproductrice comporte les phases montaison, épiaison, floraison et maturation (Hucl, P et Baker, R.J., 1998, et Davidson et Chevalier., 1990). (**Figure 02**)

## **I.4.1.Période végétative**

Elle s'étend de la germination à l'ébauche de l'épi. On y trouve trois stades :

### **I.4.1.1.La germination**

La germination est l'ensemble des phénomènes par lesquels la plantule, en vie ralentie dans la graine mure, commence une vie active et se développe grâce aux réserves contenues dans cette dernière (Mazoyer, 2002). Elle se débute lorsque la graine commence à absorber de l'eau (Bill, 2007) et elle se traduit par la sortie des racines séminales et par la croissance de la coléoptile (Boulal et *al.*, 2007).

### **I.4.1.2.La levée**

La levée est notée quand 50% de plantules sont sortie de sol (Karou et *al.*, 1998). Et que la première feuille pointe au grand jour son limbe la levée de dormance ou l'embryogenèse tardive est la première phase de développement d'une plante (Tourte et *al.*, 2005).dans laquelle la graine retourne a la vie active après une période de dormance (Théron, 1964) .lors de la germination l'embryon augmente dans le volume par le phénomène d'hydratation et l'utilisation des réserves qui dégagent progressivement les enveloppes qui l'entourent (Binet et Brunel, 1999).

### **I.4.1.3.Le tallage**

Le tallage comporte 03 principaux stades, début, plein et fin tallage. Cette phase s'amorce à partir de la quatrième feuille, elle se caractérise par l'entré en croissance des bourgeons différenciés à l'aisselle de la première feuille, dont le bourgeon donnera le maître-brin (Soltner, 1990). Le fin tallage est celle de la fin de la période végétatif.

## **I.4.2.La période reproductrice**

Elle comprend la formation et la croissance de l'épi, elle se caractérise par :

**I.4.2.1.Montaison**

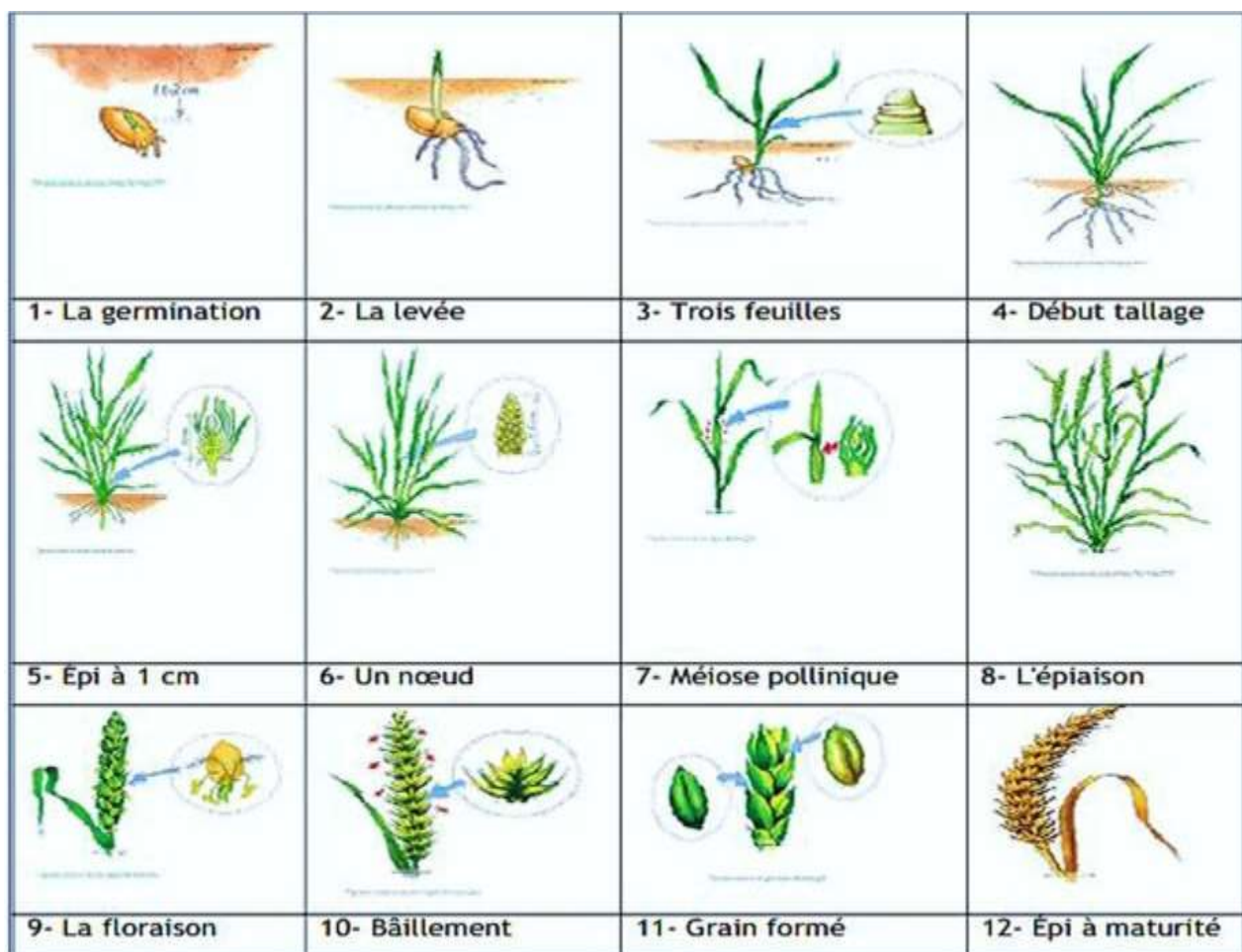
Elle se manifeste, à partir du stade épi à 1cm, par l'élongation du premier entre nœud. Elle est repérable une fois l'ébauche de l'épi du brin-maître atteint 1cm de hauteur à partir de la couronne ou plateau de tallage (Gate, 1995).

**I.4.2.2.Epiaison**

L'épiaison se détermine par l'apparition de l'épi hors de la gaine de la dernière feuille. Les épis dégainés fleurissent généralement entre 4 à 8 jours après l'épiaison (Bahlouli et *al.*, 2005).

**I.4.2.3.Maturation**

La maturation durant laquelle, le grain se développe en deux stades. Le stade laiteux, où le grain vert clair, au contenu laiteux, atteint sa dimension définitive. Le stade pâteux où le grain d'un vert jaune s'écrase facilement. Les glumes et les glumelles sont jaunes striées de vert, les feuilles sèches et les nœuds de la tige encore verts. Puis le grain mûrit. Il prend une couleur jaune. Il est brillant et durci. Les nœuds de la tige deviennent jaunes striées de vert. Une maturité complète, le grain prend la couleur typique de la variété et la plante est complètement sèche. À sur - maturité, le grain est mat et tombe tout seul de l'épi. (Houot et *al.*,1990).



**Figure 02.** Stades repères du cycle de développement du blé (Ait Slimane et

Ait Kaki, 2008)

## II. Le stress

### II.1. Le stress hydrique

L'eau est l'élément vital du développement et de la survie de la plante elle est l'essence même de la vie par le fait qu'elle est l'élément constitutif principale des plantes et des animaux. D'après Diehl (1975), l'eau constitue par l'intermédiaire des solutions du sol, la base essentielle de l'alimentation de la plante. Elle est le précurseur du fonctionnement normal de la cellule végétale (Deysson, 1970). La notion de stress hydrique a toujours été assimilée à la notion de la sécheresse.

La sécheresse est une des causes principales des pertes de rendement du blé dur, l'impact de la contrainte hydrique sur le rendement varie de 10 à 80% selon les années (Chennafi et *al.*, 2006). Turk (1978) parle de déficit hydrique lorsque la teneur en eau du sol est inférieure à la

capacité du champ. Levitt (1982) utilise le terme de stress ou de contrainte pour définir l'effet de la sécheresse climatique ou du déficit hydrique du sol subit par la plante.

Les risques du manque d'eau sont et deviendront de plus en plus fréquents et persistants, à l'avenir, par suite des changements climatiques provoqués par l'effet de serre (Witcombe et *al.*, 2009). En effet, selon Trinchant et *al.*, (2004), Chaque année, les surfaces perdues à cause du stress hydrique et salin varient autour de 20 millions d'hectares dans le monde. En Algérie, la rareté et le caractère irrégulier des précipitations (200 à 600 mm / an) peuvent être les facteurs d'une perte partielle ou totale de production, en particulier dans le cas des céréales (Kara et Bellkhiri, 2011).

Les stress provoqués par un déficit en eau constituant une menace permanente pour la survie des plantes (Hopkins, 2003). L'effet du stress dépend de son degré, de sa durée, du stade de développement de la plante, du génotype et de son interaction avec l'environnement (Yokota et *al.*, 2006). Tous les processus de la plante sont touchés par un déficit hydrique, que ce soit le métabolisme, l'organogénèse (production d'organe par les méristèmes) et la morphogénèse (phénomène de différenciation, et de croissance aboutissant à des organes mûrs (Doré et *al.*, 2006).

## **II.2.Effet du stress hydrique**

### **II.2.1.Effet du stress hydrique sur la photosynthèse**

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 CO<sub>2</sub>, limitée par une fermeture des stomates (Plaut et Federman, 1991). En effet, les effets dépressifs du stress hydrique sur la photosynthèse sont dus à une baisse de la conductance stomatique, soit à une altération de l'appareil photosynthétique et / ou une diminution de la surface foliaire (Kaiser, 1987).

Différents auteurs, ont souligné une diminution significative de la photosynthèse en cas de sécheresse (Nouri, 2011). Selon (Radhouane, 2009), La culture du mil en condition <sup>difficile</sup> d'alimentation en eau, conduit à une diminution de la capacité maximale photosynthétique d'environ 37%. Gharti - Chhetri et Lales, (1990) ont montré chez certaines espèces du genre



Triticum, la photosynthèse devient nulle quand le potentiel hydrique foliaire atteint -26 à -27 bars.

Une diminution de la teneur en chlorophylle a été remarquée chez le blé dur soumis sous un stress hydrique (Bousba et *al.*, 2009). Selon Tahri et *al.*, (1997), une baisse des teneurs en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles a et b) a été enregistrée chez trois variétés de blé soumise au stress hydrique. Cependant, une nette diminution de la teneur en pigments chlorophylliens (chlorophylle a, b) et des caroténoïdes ont été remarquées chez les feuilles d'arganier, soumises au stress hydrique, selon les auteurs la diminution de la teneur en pigments peut être dû soit à la fermeture partielle des stomates qui limite la photosynthèse ou à la dégradation de la chlorophylle (Fahmi et *al.*, 2011).

### **II.2.2.Effet du stress hydrique sur la croissance et le développement du blé**

Le stress hydrique se concrétisé, chez la plupart des espèces, par un ralentissement de la mise en place de nouveaux organes aériens, c'est -à- dire des feuilles et des tiges, et par une réduction de la croissance des organes préexistants (Gaufichon et *al.*, 2010). Ces modifications résultent d'une diminution de la vitesse de division des cellules constituant les tissus végétaux (Granier et *al.*, 2000).

L'un des premiers effets provoqués par le déficit hydrique est une réduction de la croissance végétative. La croissance de la partie aérienne, et surtout celle des feuilles, est généralement plus sensible que celle des racines (Hopkins, 2003). Toutefois, si le stress est sévère on peut observer un arrêt total du développement foliaire (Hegarty et Ross, 1978).

Pour les céréales, la période de sensibilité la plus élevée est celle qui va de la formation du grain de pollen (stade fin gonflement) à la fécondation. Tout déficit hydrique à ce moment affecte le nombre de grains / épillet (Gate et *al.*, 1990). Le stress hydrique a deux conséquences quasi simultanées sur le conditionnement du blé (Casals, 1996). La première est l'arrêt du processus de l'emballage qui se traduit par un arrêt de la croissance des bourgeons axillaires. Une carence hydrique précoce durant la phase végétative réduit donc le nombre et la taille des talles chez le blé (Davidson et Chevalier, 1990; Stark et Longley, 1986; Blum et *al.*, 1990). La seconde est la réduction de la vitesse de croissance des talles les plus jeunes (Assem, 2006).



### II.2.3. Influence du stress hydrique sur le rendement du blé

Le déficit hydrique a un effet dépressif sur le rendement et ses composantes (Kara, 2000; Chennafi et *al.*, 2006). L'organe qui subit l'effet du déficit hydrique en premier lieu est le limbe foliaire dont la croissance ralentit et la sénescence s'accélère. Le stress hydrique diminue l'indice foliaire et la durée de vie de la feuille, et par voie de conséquence la capacité photosynthétique (Turner, 1997). Chez le blé dur (*Triticum durum Desf.*), la sécheresse est une des causes principales des pertes de rendement, qui varient de 10 à 80% selon les années, en région méditerranéenne (Nachit et *al.*, 1998).

En effet le rendement est la résultante de trois composantes principales qui sont le nombre d'épis, celui des grains/épi et le poids du grain (Fellah et *al.*, 2002 ; Benmahammed et *al.*, 2010). Ces composantes se forment à des différentes phases végétatives réparties tout le long du cycle de la plante. Tout déficit hydrique qui affecte la formation d'une ou plusieurs composantes, affecte le rendement. L'effet du déficit hydrique, au cours de la phase de maturation qui correspond à la période de remplissage du grain, se traduit par une diminution de la taille du grain (Bahlouli et *al.*, 2005).

D'après Grignac (1986), la diminution du poids du grain est liée au dessèchement de la dernière feuille, du dernier entre nœud, et de l'épi. Une sécheresse survenant au stade jeune (tallage) réduit surtout la croissance en hauteur et le nombre d'épis par unité de surface. Par contre, lorsqu'elle survient aux stades gonflement ou anthèse, elle réduit, plutôt le poids des épis et le rendement en grains. Ainsi, Le stade juste avant épiaison (gonflement) est le stade le plus sensible au déficit hydrique puisqu'une sécheresse survenant à ce stade peut réduire les rendements en grains d'environ 70% par rapport au témoin (Ben Naceur et *al.*, 1999). Cependant (Bahlouli et *al.*, 2006), soulignent que ces stress réduisent les assimilés stockés dans les tiges après l'épiaison et affectent l'appareil photosynthétique au cours de la phase de remplissage.

Selon Bouzerzour et *al.*, 2002, le nombre d'épillets fertiles est réduit lorsque la sécheresse se produit pendant la phase de différenciation des épillets se traduisant par une réduction du nombre de grains par épi. Le manque d'eau après la floraison, combiné à des températures élevées, entraîne une diminution du poids de 1000 grains par altération de la vitesse de remplissage des grains et/ou de la durée de remplissage (Triboï, 1990), provoquant ainsi l'échaudage (Benbelkacem et Kellou, 2001), Ce qui entraîne une réduction du rendement. Par

ailleurs, et pour bien se développer, la plante doit disposer de mécanismes d'adaptation qui lui permettent de supporter la sécheresse (Slama et *al.*, 2005).

### **II.3.Mécanismes d'adaptation des plantes 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. La résistance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître et, du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles (Hsissou, 1994). La résistance à la sécheresse est liée à la capacité d'une variété à développer un nombre élevé de mécanismes d'adaptation et non pas à la présence d'un mécanisme donné (Hayek et *al.*, 2000).

Passioura, (2004) mentionne qu'elle est la résultante de nombreuses modifications phénologiques, morphologiques, physiologiques et biochimiques, reflétant différents types d'adaptation (esquive, évitement, et tolérance).

#### **II.3.1.Adaptation phénologique**

La stratégie appliquée en amélioration variétale, pour réduire les effets des stress, consiste à raccourcir la durée du cycle de la variété. La phénologie rythme le développement de la plante et ajuste le cycle végétatif de manière à l'assortir aux conditions optimales de croissance de l'environnement de production. 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. La précocité constitue donc un important mécanisme d'évitement de la sécheresse de fin de cycle (Ben Naceur et *al.*, 1999). Les variétés qui pourront s'adapter au climat caractéristique des hauts plateaux doivent se caractériser par une croissance élevée en début du cycle, parce que l'eau est disponible à ce moment-là (Belkharchouche et *al.*, 2009), ce qui leur permet d'éviter la période de stress hydrique de fin de cycle.

Par l'évitement de la déshydratation des tissus en maintenant un potentiel hydrique peu variable, à l'aide d'un système racinaire profond et le contrôle des pertes par transpiration. Ainsi que par une tolérance remarquable de l'activité physiologique (Hayek et *al.*, 2000). Une croissance rapide en début du cycle améliore l'utilisation des pluies hivernales et permet l'obtention d'une biomasse élevée à maturité (Cantero et *al.*, 1995). Cependant, ce type de croissance entraîne souvent une précocité excessive au stade épiaison et fait donc courir les

risques de destruction des organes floraux par le gel tardif en zone d'altitude (Oosterom et *al.*, 1993). Comparativement les géotypes qui retardent leur croissance vers le début du printemps, pour des raisons de satisfaction des besoins physiologiques en matière de vernalisation et photopériode souffriront des effets des stress de fins de cycle (Belkharouché et *al.*, 2009). Turner (1979) note que l'amélioration des rendements en conditions sèches est due, pour sa plus grande part, à la précocité. Celle-ci serait responsable de 40 à 60% de la variabilité du rendement.

### **II.3.2. Adaptation morphologique**

L'effet du stress hydrique peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou géotype, par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilés. Ces modifications affectent la partie aérienne ou souterraine (Bajji, 1999).

#### **II.3.2.1. Au niveau de la plante**

La diminution de la surface foliaire des feuilles et du nombre de talles est considérée comme une réponse ou adaptation au manque d'eau (Blum, 1996).

Chez le blé, l'enroulement des feuilles chez certaines variétés peut être considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement de la déshydratation, il entraîne une diminution de 40 à 60 % de la transpiration (Amokrane et *al.*, 2002). La longueur des barbes est un paramètre morphologique qui semble également étroitement lié à la tolérance au stress hydrique (Hadjichristodoulou, 1985). La hauteur de la plante apparaît comme un critère de sélection important particulièrement dans les zones arides, ceci s'expliquerait par le fait qu'une paille haute s'accompagne souvent d'un système racinaire profond ce qui conférerait à la plante une capacité d'extraction de l'eau supérieure (Bagga et *al.*, 1970). Les plantes à enracinement superficielle et peu dense souffrent plus du déficit hydrique que ceux à enracinement profond (El hassani et Persoons, 1994).

#### **II.3.2.2. Au niveau structurel**

Une des principales modifications structurelles, observée sur des plantes ayant subi un stress hydrique, concerne l'altération des propriétés physico-chimiques des parois cellulaires (Dixon et Paiva, 1995). Ces changements peuvent être induits par des modifications au niveau des enzymes impliquées dans la biosynthèse des monolignols ou dans leur assemblage dans la

paroi. L'augmentation de l'expression de ces gènes peut être reliée à l'arrêt de la croissance et à l'épaississement de la paroi (Dixon et Paiva, 1995).

Un autre composant majeur de la paroi correspond aux composés issus de la polymérisation des sucres (cellulose et hémicellulose). Xu et *al.*, (1996) ont mis en évidence des modifications au niveau de l'hémicellulose via, notamment, la modulation de l'expression d'une famille multigénique appelée XET (xyloglucane endo-trans-glucanase).

Les XET effectuent des coupures internes dans les polymères de xyloglucanes, pour ensuite lier les fragments générés à d'autres chaînes de xyloglucanes (Xu et *al.*, 1996). Braam et *al.*, (1997) ont proposé l'idée qu'à l'instar des gènes impliqués dans la lignification, les XET pourraient intervenir dans l'altération des propriétés (exemple: extensibilité) de la paroi lors des stress abiotiques et notamment hydriques.

Des changements structuraux au niveau du cytosquelette peuvent également s'opérer. Creelman et Mullet, (1991) ont aussi mis en évidence une diminution de l'expression de deux gènes chez le soja, le premier codait pour une  $\beta$ -tubuline, une protéine impliquée dans les phénomènes de croissance cellulaire et le second codait pour l'actine, une protéine impliquée dans la structure du cytoplasme et dans l'orientation des organes.

### **II.3.3. Adaptation physiologique**

#### **II.3.3.1. La régulation stomatique**

Lorsque l'évapotranspiration potentielle, déterminée par les caractéristiques de l'atmosphère, devient supérieure à ses possibilités d'alimentation en eau, la plante réagit en fermant ses stomates pour éviter de se dessécher (INRA, 2000). Cependant, il faut garder à l'esprit que les stomates sont des cellules isolées au milieu de l'épiderme et qui possèdent leurs propres mécanismes de régulation de la turgescence. Aussi leur fonctionnement peut être relativement indépendant de la turgescence du mésophylle. (Laffray et Louguet, 1991).

Ils 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).

La fermeture des stomates est déclenchée par une diminution du potentiel hydrique du mésophylle. Une hormone l'acide abscissique (ABA) semble jouer un rôle important de la fermeture des stomates (Hopkin, 2003). L'accumulation d'ABA dans un organe, chez les

plantes en conditions hydriques limitant, est due d'abord à une augmentation de sa synthèse, mais peut être aussi le résultat d'une diminution de sa dégradation ou d'une augmentation de son importation à partir d'un autre compartiment (Cornic, 2008). D'après Tardieu et Simonneau, (1998) on peut classer les plantes en deux groupes :

- Les plantes dites isohydriques : comme le maïs, ferment rapidement leurs stomates lors d'un déficit hydrique. Ceci conduit à une économie de l'eau du sol disponible, mais entraîne une baisse précoce de la photosynthèse.
- Les plantes dites anisohydriques : comme le tournesol, maintiennent tardivement leurs stomates ouverts. L'état hydrique des tissus de ces plantes tend à suivre celui du sol lorsque ce dernier se dessèche.

La densité stomatique paraît également un autre moyen pour esquiver une sécheresse. En effet, Miskin et *al.*, (1972), en étudiant l'effet de la densité stomatique sur la transpiration, la photosynthèse et la résistance stomatique de 05 variétés d'orge, ont conclu que la sélection des plantes à faible densité stomatique serait un moyen efficace et logique pour trouver des cultivars résistants au stress hydrique.

### II.3.3.2. La teneur relative en eau de la feuille

La teneur relative en eau correspond à une signification physiologique directe de l'état hydrique du végétal (Collinson et *al.*, 1997). C'est un paramètre physiologique indicateur de la résistance des espèces vis-à-vis d'un stress hydrique (Berka et Aïd, 2009). Le maintien d'un potentiel hydrique élevé est lié à l'aptitude à extraire l'eau du sol et à la capacité à limiter les pertes d'eau par transpiration (Turner, 1986). Les génotypes qui maintiennent leur TRE élevée lors du stress hydrique seront probablement les plus tolérants et seront les plus productifs (Sassi et *al.*, 2012). Benmahammed et *al.*, (2008) notent que la corrélation positive entre la teneur relative en eau et la biomasse accumulée indique, qu'en général, l'accumulation de la biomasse sous stress est dépendante du contenu foliaire en eau.

Les variétés de blé dur semblent présenter une meilleure résistance à la déshydratation foliaire que les variétés de blé tendre, et cette supériorité se manifeste essentiellement au stade de l'épiaison où la diminution de la teneur foliaire en eau chez le blé dur est significativement moins importante que celle enregistrée chez le blé tendre (Alem et *al.*, 2002). Fahmi et *al.*, (2011) rapportent qu'en présence d'un stress hydrique, la teneur en eau relative des feuilles d'*argania spinosa* augmente de 55.09% à 77.82%, cette augmentation est due à une fermeture graduelle des stomates ; ce qui permet de maintenir la turgescence foliaire de la plante pour

tolérer la déshydratation. Clarke et *al.*, (1991) suggèrent que la teneur relative en eau comme critère de criblage pour la sélection de lignées tolérantes à la contrainte hydrique.

### **II.3.3.3.La teneur en chlorophylle**

Selon El-jaafari et Paul, 1993, la diminution de la photosynthèse nette chez les plantes soumise sous stress hydrique peut être attribuée à la diminution de la concentration interne du CO<sub>2</sub> sans que la capacité photosynthétique des tissus de la feuille ne soit endommagée. Cependant, Bousba et *al.*, (2009), indiquent qu'une diminution de la teneur en chlorophylle a été remarquée chez le blé dur sous stress hydrique. Une augmentation de la teneur en proline foliaire suivie par un abaissement de la teneur en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles a et b) chez le blé sous l'effet du stress ont été signalés par Tahri et *al.*, (1997). Ainsi la variété qui accumule plus de proline est aussi celle qui connaît la plus forte diminution de ses teneurs en pigments chlorophylliens et vice versa (Tahri et *al.*, 1997).

### **II.3.3.4.La capacité photosynthétique**

La cinétique de la fluorescence chlorophyllienne est utilisée pour étudier les effets des stress abiotiques sur le rendement de la photosynthèse et principalement sur l'activité des photosystèmes PSII (Krause et Weis, 1991). Djekoun et Planchon, (1991) ont confirmé l'intérêt des mesures *in vivo* de la fluorescence chlorophyllienne pour l'étude de l'adaptation des plantes cultivées aux contraintes de l'environnement.

### **II.3.3.5.L'ajustement osmotique**

La tolérance est la stratégie qui permet à la plante d'assurer ses fonctions physiologiques malgré une dégradation de son état hydrique (Temagoult, 2009). L'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique (El Midaoui et *al.*, 2007).

L'ajustement osmotique peut aussi jouer un rôle important en aidant des feuilles partiellement flétries à redevenir turgescents lorsque l'apport d'eau reprend. En aidant la feuille à maintenir sa turgescence, l'ajustement osmotique permet aux plantes de garder leurs stomates ouverts et de prélever du CO<sub>2</sub> pour effectuer leur photosynthèse dans des conditions de stress hydriques modérés (Hopkins, 2003). Il peut intervenir à tous les stades du développement (Monneveux et This, 1997). Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs (El Midaoui et *al.*, 2007). Les solutés responsables de la

régulation osmotique sont essentiellement des acides organiques, des acides aminés (proline, glycine-bétaine), des sucres solubles et certains constituants inorganiques (Richards et *al.*, 1997). La fonction principale des solutés compatibles est d'empêcher la perte d'eau pour maintenir la turgescence cellulaire et à maintenir le gradient de reprise en eau dans la cellule. Ces accumulations de métabolite dans les cellules conduisent à une augmentation du potentiel osmotique et ont finalement abouti à une plus grande capacité d'absorption d'eau par les racines et l'économie d'eau dans les cellules (Seyed et *al.*, 2012).

L'ajustement osmotique apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation à la sécheresse (Monneveux et This, 1997).

### **II.3.4.Adaptation biochimique**

Plusieurs molécules de résistance aux stress hydrique sont accumule dans la plante citant : la synthèse des sucres solubles, la synthèse des protéines (dehydrines (protéine late-embryogenesis-abundant protéine (LEA) et les aquaporines) et la synthèse de la proline.

#### **II.3.4.1.Accumulation de la proline**

Parmi les acides aminés pouvant être accumulés, la proline représente des manifestations les plus remarquables des stress hydriques et osmotiques. Singh et *al.*, (1973) proposent d'utiliser la proline comme critère de sélection pour la tolérance au stress chez l'orge. La proline est l'un des solutés compatibles le plus fréquemment accumulé en réponse à des contraintes environnementales variées et joue un rôle important dans la tolérance des plantes (Ben Rejeb et *al.*, 2012). L'accumulation de proline est l'une des stratégies adaptatives fréquemment observées chez les plantes pour limiter les effets du stress hydrique. Elle est liée à l'osmorégulation cytoplasmique (Acevedo et *al.*, 1989).

Selon Tahri et *al.*, (1997) 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. La proline est synthétisée selon deux voies distinctes, via le glutamate et l'ornithine (Neffar, 2013). La chaîne de réaction commence par la réduction du glutamate en glutamyl-5-semialdéhyde. Ce composé se cyclise spontanément et forme l'acide pyrroline-5-carboxylique qui est réduit ensuite en proline. La proline peut être issue aussi de l'ornithine, précurseur de l'acide pyrroline-2-carboxylique, transformé ensuite en proline (Jean-François et Morot-Gaudry, 1997).



Son accumulation dans les feuilles de plantes qui souffrent d'un manque d'eau a été décrite très anciennement (Cornic, 2008).

On pense que l'accumulation se fait dans le cytoplasme où sa concentration atteint parfois 230 à 250 mM. Elle peut à cette concentration participer effectivement à l'ajustement osmotique de la plante (Samars et *al.* 1995). Un déficit hydrique plus grave amplifie davantage l'accumulation de la proline dans les tissus foliaires, atteignant pratiquement le double de celle du témoin (757,15 contre 345,72  $\mu\text{g}$  / 100 mg feuilles, soit 119,01 % d'augmentation) (Hireche, 2006).

Outre son rôle osmotique, la proline semble aussi avoir un rôle dans l'enroulement foliaire, constituant un mécanisme de limitation de la transpiration chez les céréales, qui serait lié à l'accumulation d'acide abscissique (ABA) au niveau des feuilles. Elle pourrait en outre jouer plusieurs rôles dans le métabolisme intracellulaire, dans la protection des membranes et des systèmes enzymatiques, et favoriserait la reprise après réhydratation (Lepoivre, 2003). Plusieurs sélectionneurs et physiologistes ont utilisé la capacité de son accumulation dans le criblage de génotypes résistants au déficit hydrique sur le blé dur (Benlarabi et Monneveux, 1988).

### II.3.4.2.L'accumulation de sucres solubles

La diminution du potentiel hydrique du sol en conditions de sécheresse provoque une perte importante de la turgescence au niveau de la plante (HENCHI, 1987). Le potentiel osmotique peut être maintenu pour un stress hydrique de faible ou moyenne intensité, par ajustement osmotique (Dubos, 2001). Les sucres peuvent servir de composés solubles compatibles pour cet ajustement osmotique (Dubos, 2001). Ils permettent également une préservation de l'intégrité membranaire dans les organes desséchés ainsi qu'une protection des protéines (Darbyshire, 1974).

Généralement, on pense que l'accumulation de sucres solubles peut avoir comme origine l'hydrolyse de réserves (en particulier, d'amidon) mais aussi une modification du métabolisme carboné. Les sucres sont considérés par plusieurs auteurs comme de bons osmorégulateurs (Kameli et Losel, 1995; Sanchez et *al.*, 1999) qui peuvent jouer un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation des plantes à la sécheresse (Morgan, 1984; Zhang et *al.*, 1999).



# **Matériels et méthodes**

**I. Matériel végétal**

Ces études ont porté sur quelques génotypes de blé dur (*Triticum durum Desf.*) d'origine locale (Ain abid) et introduite V1 et V2 provenant du Mexique.

**II. Conduite et organisation des essais**

Toutes les expérimentations ont été réalisées dans des conditions contrôlées sous serre (in vivo). Ces essais ont été réalisés au niveau de laboratoire de physiologie végétales et biochimie.

**II.1. Détermination et application des niveaux de stress**

Les pots ont été placés sous serre, ils sont irrigués régulièrement 2 fois par semaine Jusqu'à l'obtention de la quatrième feuille, à ce stade le stress hydrique est appliqué par l'arrêt de l'irrigation jusqu'à l'obtention des différents niveaux de stress hydrique (80 %, 50 %, 25 % et 12.5% de la capacité aux champs). Pour calculer ces niveaux d'irrigation (80%, 50%, 25% et 12.5%) par rapport à la capacité au champ du pot, nous avons pesé des pots contenant 5Kg de substrat sec utilisé dans l'expérimentation, P1 (P1 = poids de sol sec). En suite nous avons irrigué ces derniers jusqu'à saturation, tout en couvrant les pots à l'aide d'un plastique noir pour éviter l'évaporation de l'eau par la surface. Après 24h de repos, les pots sont pesés de nouveau P2 (P2 = poids à saturation). La différence entre P2 et P1 est la quantité d'eau retenue par le sol et qui représente la capacité au champ des pots. On estime la capacité au champ (C.C) par l'équation suivante :

$$C.C = (P2 - P1) / P1.100$$

Ainsi cinq traitements sont retenus; le témoin (T), stress niveau 1 (N1) a été maintenu à 80% de la CC, stress niveau 2 (N2) a été maintenu à 50% de la CC, stress niveau 3 (N3) a été maintenu à 25% de la CC et stress niveau 4 (N4) a été maintenu à 12.5% de la CC.

**III. Les paramètres mesurés****III.1. Les paramètres morphologiques****III.1.1. La surface foliaire**

La surface foliaire qui concerne la troisième feuille, est déterminée par la méthode de Paul et *al.*, (1979) qui consiste à :

- Prendre la feuille de blé dur sur papier calque et découper les contours de la feuille, ce dernier est pesé (Pf).
- couper un carré de 1cm (S (1cm<sup>2</sup>)) de coté de ce même papier qui est également pesé (P (1cm<sup>2</sup>)).
- déduire la surface foliaire SF par la formule suivante :

$$SF \text{ (cm}^2\text{)} = Pf. S \text{ (1cm}^2\text{)} / P \text{ (1cm}^2\text{)}$$

### III.2. Les paramètres physiologiques

#### III.2.1. La teneur relative en eau (TRE%)

La teneur relative en eau de la feuille a été déterminée par la méthode décrite par Barrs, (1968). Selon cette méthode, les feuilles sont coupées à la base du limbe, elles sont pesées immédiatement pour obtenir leur poids frais (PF) .Ces feuilles sont mises par la suite dans des tubes à essai remplis d'eau distillée et placés à l'obscurité dans un endroit frais, après 24h les feuilles sont retirées, passées dans un papier buvard pour absorber l'eau de la surface, pesées de nouveau pour obtenir le poids de la pleine turgescence (PT). Les échantillons sont enfin mis à l'étuve régler à 80°C pendant 48h et pesés pour avoir leur poids sec (PS). La teneur relative en eau est calculée par la formule suivante (la formule de Clark et Mac-Caig, 1982) :

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

#### III.2.2. La teneur en chlorophylle

Le taux de chlorophylle au niveau des feuilles a été mesuré à l'aide d'une chlorophylle mètre SPAD 502 de Minolta (Nouri, 2002).

L'appareil a la forme d'une pince que l'on tient dans la main ; il est compact et léger et entre dans n'importe quelle poche. Il mémorise jusqu'à 30 mesures, qui peuvent être affichées une à une. Les valeurs classiquement retrouvées se situent entre 0 et 50 (unités SPAD). La

chlorophylle mètre est utilisé pour évaluer la teneur en azote des feuilles puisque la majeure partie de l'azote est contenue dans la chlorophylle. Il suffit de fermer la pince vide sur elle-même pour étalonner l'instrument. Par la suite, trois prises de mesure sont effectuées au niveau de la feuille sur trois différents (sommet, milieu, et base). La moyenne des trois valeurs s'affiche sur l'écran à la fin (unité SPAD). Sachant que le temps de chaque mesure est de l'ordre de deux secondes.

### **III.3. Les paramètres biochimiques**

#### **III.3.1. Dosage de la proline (Prol « µg/100mg MF »)**

La proline ou acide pyrrolidine 2-carboxylique est l'un des vingt principaux acides aminés qui entrent dans la constitution des protéines. La proline est facilement oxydée par la ninhydrine ou tricetohydrindène. C'est sur cette réaction que se base le protocole de mise en évidence de la proline dans les échantillons foliaires (El Jaafari, 1993). La méthode suivie est celle de Trolls et Lindsley, (1955), simplifiée et mise au point par Rasio et *al.*, (1987).

Elle consiste à prendre 100 mg de matière fraîche dans des tubes à essai contenant 2 ml de méthanol à 40%. Le tout est chauffé à 85°C dans un bain-Marie pendant 60mn. (Les tubes sont recouverts de papier aluminium pendant le chauffage pour éviter la volatilisation de l'alcool.) Après refroidissement ; on prélève 1ml d'extrait auquel il faut ajouter :

-1 ml d'acide acétique (CH<sub>3</sub>COOH) ;

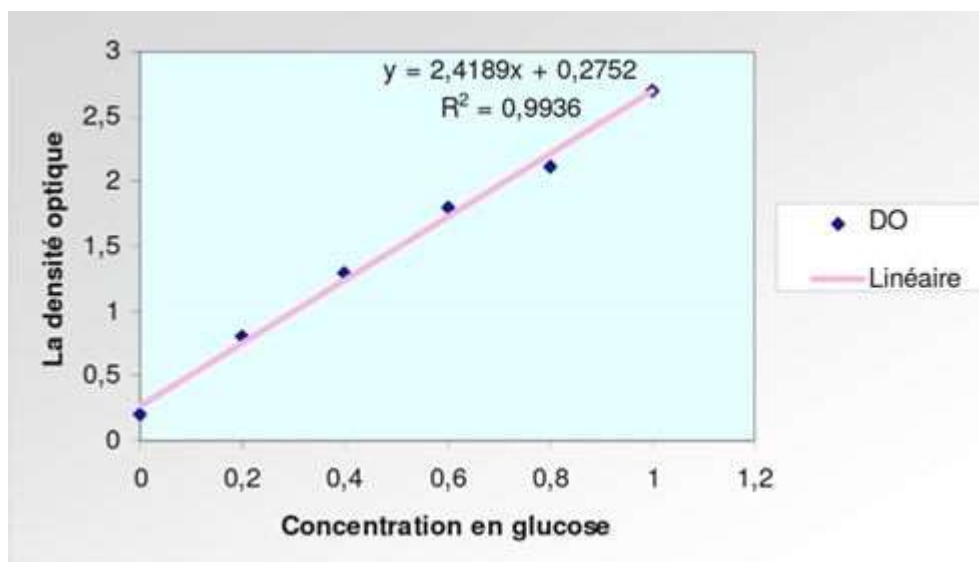
-25 mg de ninhydrine (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>O<sub>4</sub>) ;

-1 ml de mélange contenant :

120 ml d'eau distillée.

300 ml d'acide acétique.

80 ml d'acide orthophosphorique (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.d=1.7).



**Figure 03:** Courbe étalon du dosage de la proline.

La solution obtenue est portée à ébullition pendant 30 mn à 100°C, la solution vire au rouge, après refroidissement, 5 ml de toluène sont rajoutés à la solution qui est agitée, deux phases se séparent (une phase supérieure à la couleur rouge contient la proline et une phase inférieure transparente sans proline). Après avoir éliminé la phase inférieure, la phase supérieure est récupérée est déshydratée par l'ajout d'une spatule de Sulfate de Sodium Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhydre (pour éliminer l'eau qu'elle contient). On détermine la densité optique (Do) à l'aide d'un spectrophotomètre (type 20D) sur une longueur d'onde de 528nm. Les valeurs obtenues sont converties en taux de proline par le biais d'une « courbe étalon » (Fig. 04), préalablement établie à partir d'une série de solution de concentration en proline connue. Cette courbe est utilisée pour déterminer les teneurs en proline dans les feuilles des plantes

# **Synthèse des résultats**

## I. Effet du stress hydrique sur les paramètres morphologiques

### 1. Effet du stress hydrique sur la surface foliaire

L'effet du stress hydrique sur la surface foliaire de blé soumis au stress hydrique a été souligné par plusieurs chercheurs.

Mouellef, (2010) a souligné une diminution de la surface foliaire sous conditions non irriguées chez les différents génotypes testés. Selon le même auteur, la comparaison des moyens de la surface foliaire et l'analyse de la variance montrent qu'il existe une différence très hautement significative entre les niveaux de stress, le génotype et l'interaction variété x niveau de stress.

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 (Lebon *al.*, 2004). Le développement végétatif sous conditions limitantes d'alimentation hydrique est fortement perturbé (Ferryra et *al.*, 2004), on note principalement une diminution importante de la taille et de la surface foliaire.

L'effet du stress hydrique peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou variété par des modifications morphologiques, ces modifications affectent la partie aérienne ou souterraine : réduction de la surface foliaire et du nombre de talles, enroulement des feuilles et meilleur développement du système racinaire (Slama, 2005). Granier et *al.*, (2000) ont rapporté que les feuilles des plantes soumises au déficit hydrique atteignent habituellement des tailles finales apparentes plus petites par rapport aux contrôles.

Les résultats de Benhebireche, (2013) montrent une diminution importante de la surface foliaire chez les deux variétés étudiées en fonction du degré du stress hydrique appliqué.

La réduction de la surface foliaire suite à la réduction de l'élongation cellulaire est l'une des conséquences du déficit hydrique (Temagout, 2009). La diminution de la surface foliaire des feuilles et du nombre de talles est considérée comme une réponse ou adaptation au manque d'eau (Blum., 1996). Comme la croissance des plantes est contrôlée par des signaux hormonaux (Heller., 1990), le stress hydrique provoque une augmentation de la concentration en acide abscissique (ABA) dans la partie où il y a une réduction des concentrations en cytokinines. Ceci résulte en une croissance et une transpiration réduite (Bois, 2005).

Semiani, (2018) a trouvé une diminution importante de la surface foliaire sous conditions non irrigués.

La diminution de la surface foliaire 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). Aussi la réduction de la surface foliaire, conditionne la résistance à la sécheresse, en milieux variables, cette régression de la surface foliaire peut avoir des effets bénéfiques en réduisant la surface évaporante et celle soumise à la radiation solaire. Cette réduction est un moyen pour le contrôle des pertes d'eau. Cette stratégie permet à la plante des économies en eau qui seront utilisées pour la survie au cours du stress et de s'adapter aux environnements peu favorables.

Wolfe *et al.*, (1992), ont remarqué, aussi, que la réduction de la surface foliaire, suite à la réduction de l'élongation cellulaire, est l'une des conséquences du déficit hydrique. Granier *et al.*, (2000) ont rapporté que les feuilles des plantes soumises au déficit hydrique atteignent habituellement des tailles finales plus petites par rapport aux témoins. Cependant, Johnson *et al.*, (1983) suggèrent que les plantes à surface foliaire plus grande sont tolérantes à la déshydratation en maintenant un potentiel hydrique élevé. La durée de vie de la feuille étandard estimée par l'évolution de sa surface verte apparaît comme révélateur du niveau de fonctionnement de l'appareil photosynthétique en présence de déficit hydrique (Austin, 1987; Chartzoulakisa *et al.*, 2002, Monneveux, 1991). Selon Abbassenne (1997), une variété, avec une faible surface foliaire, est capable de faire un bon rendement grâce à une meilleure efficacité d'utilisation de l'énergie lumineuse par unité de surface foliaire.

L'autre type d'adaptation foliaire, développée par les plantes face à une contrainte hydrique, est l'enroulement de la feuille. Chez le blé l'enroulement foliaire observé chez certaines variétés résistantes peut être considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement de la déshydratation (Amokrane *et al.*, 2002). O'tool *et al.*, (1980), ont montré que l'enroulement des feuilles entraîne une diminution de 40% à 60% de sa transpiration.

Selon Salmi, (2015) qui a réalisé une expérimentation porté sur le suivi de la génération F2 des différents croisements, ces résultats montrent que la surface foliaire exprimée par les F2 est relativement plus réduite que celle des parents.

La surface foliaire 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). De ce



fait, une surface foliaire réduite comme celle de la F2 perdra moins d'eau, donc cette dernière adopte une stratégie d'évitement, qui permet le maintien d'un potentiel hydrique élevé dans la plante (Belhassen et *al.*, 1995). Cependant, Benmahammed et *al.*, (2008) indiquent que suite à la variabilité climatique des hauts plateaux et à l'intensité des stress de fin de cycle, la stratégie d'évitement est théoriquement la plus intéressante, car la plante évite le stress au lieu de le contrer. En effet la réduction de la surface foliaire lorsque le stress hydrique s'installe est une stratégie développée par les plantes pour réduire de leurs besoins et pertes en eau (O'toole et Cruz, 1980).

D'autre part, Cherfia, (2010) trouve une corrélation positive entre le rendement et la surface foliaire de la feuille étendard. Ainsi, les variétés de blé étudiées qui se distinguent par les surfaces les plus élevées donnent un rendement en grains très important. Toute fois une diminution de la surface foliaire peut affecter le rendement à cause de la réduction de la capacité photosynthétique (Lefi et *al.*, 2004). D'après Araus et *al.*, (1998) la sélection pour une surface foliaire large contribue à des améliorations du rendement grain.

## **II. Effet du stress hydrique sur les paramètres physiologique**

### **1. Effet du stress hydrique sur la teneur relative en eau**

L'effet du stress hydrique sur la teneur relative en eau de blé soumis au stress hydrique a été souligné par plusieurs chercheurs.

Selon les résultats obtenues par Mouellef, (2010) la TRE est diminuée par rapport aux différents degrés de stress hydrique.

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). Clark et Mac-Caig, (1982) attirent l'attention sur l'utilisation de la teneur relative en eau comme indicateur de l'état hydrique de la plante sous stress.

La teneur en eau des feuilles de blé dur diminue proportionnellement avec la réduction d'eau contenue dans le sol (Bajji et *al.*, 2001). Scofield et *al.*, (1988) notent que cette diminution de la TRE est plus rapide chez les variétés sensibles que chez les variétés résistantes. Par contre une TRE élevée dans des conditions de stress a été observée chez le soja (Raissac, 1984 in Zeghida et *al.*, 2004). D'autre part, Matin et *al.*, (1989) in Nouri,(2002)

montrent que les géotypes qui maintiennent une TRE élevée dans la présence de stress hydrique sont des géotypes tolérants.

Morsli, (2010) a souligné que certains résultats ressort l'action positive du stress hydrique chez quelques variétés dans la mesure où l'on note une augmentation de leur TRE.

Selon Blum (1989), le maintien d'un niveau élevé de la TRE serait lié à une bonne capacité d'ajustement osmotique.

Semiani, (2018) a souligné une diminution remarquable de la TRE chez tous les géotypes étudiés dans les conditions hydriques non irrigués.

La teneur relative en eau est un paramètre qui décrit la capacité de la plante à se maintenir hydratée en conditions déficitaires (Pirzad. A 2011). Etant donné que, la TRE (%) est plus facile et moins coûteuse à mesurer, elle représente un critère plus approprié pour la mesure du stress hydrique comparativement au potentiel hydrique foliaire (Merah, 2001).

Selon Slafer et Andrade, 1990, la diminution de la TRE (%) est due à la fermeture des stomates à cause de l'élévation de la température. Rasio *et al.*, (1987), Ait Kaki et Brinis, (1997), travaillant sur le blé, ont montré que les effets du stress hydrique sur la turgescence relative ne sont apparents que si la restriction est sévère. (Pirzad. A 2011) et Semiani M., (1994) ont montré que le maintien de valeurs assez élevées de la TRE(%), en condition de stress hydrique peut résulter de deux mécanismes d'adaptation: maintien d'une élasticité élevée des tissus, ou une diminution de la pression osmotique. D'autre part, Matin *et al.*, (1989) ont montré que les géotypes qui maintiennent une TRE(%) élevée en présence d'une contrainte hydrique sont des géotypes tolérants. Nemmar, (1983) et Brinis, (1995) sont parvenus à la même conclusion.

Egalement, certains résultats ont montré qu'il y a une variation génétique significative des TRE (%) chez les blés avec une haute héritabilité. Aussi, la TRE(%) est considérée comme un outil de criblage vis-à-vis de la sécheresse (Schonfeld *et al.*, 1988). Ce résultat a été également annoncé par Teulat *et al.*, (1997) qui ont signalé que la TRE(%) peut être utilisée comme une technique de criblage dans des programmes de sélection pour la tolérance à la sécheresse.

Salmi, (2015) a souligné une TRE supérieure chez la génération F2 à celles des parents.

Rascio (1985), mentionne que les génotypes qui maintiennent une teneur relative en eau élevée sont les plus résistants à la sécheresse.

La teneur relative en eau, c'est un paramètre physiologique indicateur de la résistance des espèces vis-à-vis d'un stress hydrique. Les espèces végétales qui maintiennent des teneurs foliaires relatives en eau élevées sont considérées comme étant des espèces résistantes à la sécheresse (Berka et Aïd, 2009). D'après Oulmi, (2010) la sélection pour une teneur relative en eau élevée a contribué à des améliorations du rendement grain et économique.

## **2. Effet du stress hydrique sur la teneur en chlorophylle**

Le manque d'eau représente un facteur limitant à la croissance et au développement végétal. La photosynthèse et le processus physiologique qui conditionne la croissance végétale. Ce processus est étroitement dépendant de la présence des pigments chlorophylliens. Afin de cerner l'impact du manque d'eau sur la croissance plusieurs travaux ont étudié l'effet de ce dernier sur la teneur en pigments chlorophylliens.

Selon les résultats obtenus par Morsli (2009), le déficit hydrique augmente la teneur en chlorophylle (a) chez certaines variétés de blé, cependant il le fait diminuer chez d'autres.

Néanmoins, certains auteurs tels que Guettouche (1990) affirment que la teneur en chlorophylle n'est pas un bon indicateur de résistance mais c'est plutôt le rapport ( Ch a / Chb).

Mouellef (2010), a souligné une diminution du taux de la chlorophylle totale chez 7 génotypes de blé dur. Cette diminution est corrélativement liée au degré de stress hydrique chez les différents génotypes étudiés

Selon Hireche, (2006) les différentes fluctuations de la teneur en chlorophylle totale entre les génotypes sont liées à la tolérance au stress hydrique, il montre dans ses travaux sur la luzerne que la variété *Dessica* a tendance à lutter contre le stress hydrique en baissant sa teneur en chlorophylle. Alors que la variété *Moapa* implique une stratégie inverse (Siakhène, 1984).

L'augmentation des teneurs en chlorophylle totale est la conséquence de la réduction de la taille des cellules foliaires sous l'effet d'un stress hydrique qui engendre une plus grande concentration (Siakhène, 1984).

La quantité de la chlorophylle des feuilles peut être influencée par beaucoup de facteurs tels que l'âge des feuilles, la position des feuilles, et les facteurs environnementaux tels que la lumière, la température et la disponibilité en eau (Hikosaka *et al.*, 2006).

Semiani (2018), a souligné une diminution de taux de chlorophylle totale chez tous les génotypes étudiés en conditions de stress hydrique.

Les résultats des travaux de Mokhtar *et al.*, (2009) , et Cha-um S. et Kirdman C., (2008) et Rong-hual *et al.*, (2006), ont montré que le manque d'eau induit une chute de la teneur en chlorophylle dans les feuilles de blé dur soumis au stress hydrique. Selon ces derniers, la chute des teneurs en chlorophylle est la conséquence de la réduction de l'ouverture des stomates visant à limiter les pertes en eau par évapotranspiration et par augmentation de la résistance à l'entrée du CO<sub>2</sub> atmosphérique nécessaire à la photosynthèse (Bousba *et al.*, 2009).

La teneur des feuilles en chlorophylle est un facteur important dans la détermination du taux de la photosynthèse et de la production de la matière sèche (Ghosh *et al.*, 2004),

Selon Salmi (2015), la génération F2 renferme une faible teneur en chlorophylle à celles des parents en fonction des niveaux de stress hydrique.

Une faible teneur en chlorophylle serait un facteur d'adaptation aux stress qui caractérisent les milieux semi-arides (Mahdadi et bouzidi, 2013). Les plantes de blé sous stress hydrique réagissent par une baisse de leur teneur en chlorophylle totale qui peut être dû à une dilution suite au maintien d'une teneur relative en eau élevée. Cette baisse est d'autant plus importante que l'intensité du stress est plus accentuée (Bousba. 2012). Mekliche *et al.*, (2003) rapportent que les différences de chlorophylle observées chez les génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sont en fonction de la tolérance au stress, la stabilité de la chlorophylle est une autre caractéristique qui est utilisée en sélection pour la tolérance et l'adaptation au stress thermique (Acevedo *et al.*, 1999 ; Bahlouli *et al.*, 2005).

### III. Effet du stress hydrique sur les paramètres biochimique

#### 1. Effet du stress hydrique sur la teneur en proline

Tous les géotypes sans exception réagissent positivement en accumulant de la proline a des degrés divers suite a un stress hydrique prononce.

L'accumulation de la proline libre est le cadre du processus d'ajustement osmotique qui est important pour l'adaptation au stress cellulaire de nombreuses espèces végétales telles que le blé (Morgan. 1984).

Toutes les expérimentations réalisées par Mouelef et Morsli, (2010) et Semiani, (2018), ont trouvés les mêmes résultats de l'accumulation de la proline en fonctions des niveaux de stress.

Selon Weigle et al (1990) in Adjab (2002) l'ajustement osmotique du contenu cellulaire résulte d'une activité métabolique conduisant à la synthèse de nombreux composés organiques azotés telle qui la proline.

Selon Monneveux et Nemmar (1986) l'accumulation de proline serait révélatrice d'une certaine résistance à la sécheresse.

Plusieurs auteurs montrent que l'augmentation de la teneur en proline est reliée directement à l'application du stress hydrique (Cechin et *al.*, 2006). L'accumulation de la proline a été démontrée chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress (osmotiques, hydriques, thermiques) (Blum, 1996). Plus le niveau de stress appliqué augmente plus les teneurs en proline deviennent plus marquées (Savouré et *al.*, 1995).

Une corrélation négative entre l'accumulation de la proline et l'humidité du sol est observée chez différentes espèces de blé dur (Nouri, 2002), chez la luzerne (Hireche, 2006). Il apparaît que la proline peut conférer la tolérance des plantes aux stress par le développement d'un système antioxydant qui peut jouer un rôle d'indicateur d'ajustement osmotique (Eliane et *al.*, 2007).

L'accumulation de la proline a été démontrée chez plusieurs espèces et dans plusieurs situations de stress (hydrique, thermique) comme étant un osmolyte intervenant dans les mécanismes de protection durant les stress abiotiques (Al-Rumaih, 2008).

L'une des causes principales de cette accumulation est l'augmentation des sucres solubles (Hexoses), (Takemura *et al.*, 2000). Plus le niveau de stress appliqué augmente plus les teneurs en proline deviennent plus marquées. Ce résultat est confirmé par la plus part des chercheurs, citant les travaux de Monneveux et Nemmar (1986), Bellinger *et al.*, (1991), Gorham (1993) et Saviouré *et al.*, 1995).

Plusieurs études ont démontré, aussi, que l'accumulation de la proline, sous conditions défavorables (Sivaramakrishnan *et al.*, 1988) reflète le caractère de résistance au stress hydrique (Greenway and Munns, 1988).

Selon Quian *et al.*, (2001). L'accumulation de la proline sous stress hydrique contribue au développement de la résistance par le maintien des cellules en turgescence. En effet, pour maintenir des pressions osmotiques élevées suite aux chutes du potentiel hydrique causé par le stress hydrique (El Mourid, 1988).

les plantes accumulent un certain nombre d'osmotocums tels que la proline, les carbohydrates et la betaine (Wang *et al.*, 2003), qui, en association avec d'autres facteurs tels que la réduction de la transpiration par la fermeture des stomates et la réduction de la surface foliaire (Karrou *et al.*, 2001), permettent de garder la turgescence et le volume cytosolique aussi élevé que possible (Monneveux et Nemmar, 1986).

En effet, la teneur en proline est plus élevée en cas de déficit hydrique et, en particulier, chez les géotypes les plus résistants à la sécheresse (Slama, 2002).

L'existence chez les céréales d'une variation intra-spécifique pour l'accumulation de la proline sous l'effet du déficit hydrique suggère la possibilité d'une sélection, sur la base de ce caractère, des géotypes qui auront une bonne capacité à survivre et un rendement en grains stable en conditions hydriques limitantes (Bergareche *et al.*, 1993).

# Conclusion

L'étude de la réponse du stress hydrique chez différents géotypes de blé dur testé révèle l'existence d'une grande variabilité pour la plus part des paramètres mesuré. L'effet de stress hydrique est bien marqué entre les géotypes témoins et leur stressé dans les expérimentations.

Par l'analyse comparative de quelques paramètres morphologiques, physiologique et biochimiques, on observe une diminution de la surface foliaire, de la teneur relative en eau et du taux de chlorophylle totale, d'autre par une forte accumulation de la proline.

L'analyse renseigné sur une corrélation positive très hautement significative entrer les paramètres morphologiques et physiologiques (surface foliaire, teneur relative en eau et la teneur en chlorophylle). De même, une corrélation très hautement significative d'un paramètre biochimique (la proline).

Les études montrent que les géotypes étudié ont utilisé les mêmes stratégies de la réponse au stress hydrique mais avec des fréquences différents. Ces critères peuvent être utilisés comme paramètre de sélection et d'amélioration du rendement de blé dur dans les régions sèches.



# Références bibliographiques

**Abbassenne F., Bouzerzour H., Hachemi L., (1997).** Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum Desf*) en zones semi-aride. Annales Agronomie INA, **18** :24 -36 .

**Acevedo, E., Conesa, A. P., Monneveux, P., & Srivastava, J. P. (1989).** Physiology breeding of winter cereals for stressed mediterranean environments, *INRA Stat. Bioclimatologie*, 50-66.

**Acevedo, E., Silva, P. C., Silva, H. R., & Solar, B. R. (1999).** Wheat production in Mediterranean environments. In: Satorre, E. H., Slafer, G. A (Eds.) Wheat ecology and physiology in yield determination. *Food products press, an imprint of the Hayworth press, Binghamton, N. Y*: 141-159.

**Ait Kaki Y. et Brinis S., (1997).** Tolérance au déficit hydrique chez le blé dur Stratégie adaptative, amélioration et stabilité du potentiel génétique. Rev. Sci et Tech., **178**: 25-31.

**Ait Slimane Ait Kaki S. (2008).** Contribution à l'étude de l'interaction génotype x milieu, pour la qualité technologiques chez le blé dur en Algérie. Mémoire de magistère. Mokhtar Annaba.

**Adjab M – 2002 :** Etude des mécanismes morphologiques, physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique chez différents génotypes de blé dur – Mémoire de Magistère – Univ. ANNABA.

**Albouchi A., Sebei H., Mezni M. Y. & EL Aouni M. H. (2000).** Influence de la durée d'une Alimentation hydrique déficiente sur la production de biomasse, la surface transpirante et la densité stomatique d'*Acacia cyanophylla*. *Annales de l'INRGREF*. **4** : 138- 61p.

**Alem, C., Labhilili, M., Brahmi, K., Jlibene, M., Nasrallah, 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.

**Al-Rumaih MM., Al-Rumaih MM., (2008).** Infulence of ionizing radiation on antioxidant onzymes in there species of Trigonelle. *Am. J. Enviren. Sci.*, 4:151-156.

**Amokrane A., Bouzerzour H., Benmahammed A., Djekoun A., (2002).** Caractérisation des variétés locales, syriennes et européennes de blé dur évaluées en zone semi-aride d'altitude. Sciences et Technologie, Université Mentouri Constantine. Numéro special D, 33-38.

**Anonyme, (2002).** Conseil international des céréales. International Grains Council. World Grains Statistics: 13-17 p Anonyme a. 2006. Re: Avant 1830 l'Algérie exportait son blé au monde entier mais 132 ans de colonialisme et après l'Algérie importe du blé, à qui la faute ? C'est clair.

**Anonyme, (2004).** [http://hypergeo.free.fr/article.php3?id\\_article=29](http://hypergeo.free.fr/article.php3?id_article=29).

**Araus, J. L., Amaro, T., Voltas, J., Nakkoul, H., & Nachit, M. M. (1998).** Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Field Crop Research*, 55: 209-223.

**Assem, N., El Hafid, L., Haloui, B., & El Atmani, k. (2006).** Effets du stress hydrique appliqué au stade trois feuilles sur le rendement en grains de dix variétés de blé cultivées au Maroc oriental. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 17 (4) : 499-505.

**Austin R.B., (1987).** Some crop characteristics of wheat and their influence on yield and water use. In: Drought tolerance in winter cereals (JP Srivastava, E Porceddu, E Acevedo, S Varma, eds) John Wiley and Sons, UK, 321-326 .

## **-B-**

**Bagga A.K., Ruwali K.N., Asana R.D., (1970).** Comparison of responses of some Indian and semi-dwarf Mexican wheats to unirrigated cultivation. *Indian J Agric Sci* 40, 421-427.

**Bahlouli,F.,Bouzerzour,H, Benmahammed,A.,& Hassous,K . L.(2005).** Selection of high yielding od durum wheat (*Triticum durum Desf.*) .under semi arid conditions *Journal of Agronomy* , 4(4) : 360-365.

**Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & Hassous, A. (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 INA*, 27: 15- 36.

**Bajji M., Kinet JM., Lutts S.,** 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.

**Bajji, M. (1999).** Etude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) : caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés in vitro. PhD Thesis, Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve.

**Barr H.J., Valencia J.I., Plaut W., (1968).** On temporal autonomy of DNA replication in a chromosome translocation. *J. Cell Biol.* **39**: 8a.

**Belaid D., (1996)-** Aspect de la céréaliculture, Algérien. *Office des publications universitaires. Alger.* 208p.

**Belaid, D. (2000).** The economics of durum wheat production in WANA: Past trends and future prospects. In: Proceedings of the symposium blé 2000, enjeux et strategies, 49-70.

**Bellinger Y., Bensaoud A. & Larher F., (1991).** Physiological significance of proline accumulation, a trait of use to breeding for stress tolerance. Colloque Physiology- Breeding of winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments, Montpellier (France). *Les colloques* .55. (éd). Inra. Paris.

**Benhbireche.N, (2013).** Contribution à l'étude de la tolérance au déficit hydrique du blé dur (*Triticum durum* Desf.).Mémoire de magister. Université Kasdi Marbah Ouargla .

**Belhassen, E., This, D., Monneveux, P., (1995).**L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. *Cahiers Agricultures.* 4 : 251 – 61.

**Belkharouché, H., Fellah, S., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & chellal, N. (2009).** vigueur de croissance, translocation et rendement En grains du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi arides. *Courrier du Savoir,* (09):17-24.

**Benlarabi, M., & Monneveux, P. (1988).** Etude comparée du comportement en situation de déficit hydrique de deux variétés algériennes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) adaptées à la sécheresse. *C.R Acad. Agric. France.*, 74 (5): 73-83.

**Benmahammed, A., Bouzerzour, H., Mekhlouf, A., & Benbelkacem, A. (2008).** Variation de la teneur relative en eau, l'intégrité cellulaire, la biomasse et l'efficacité d'utilisation de l'eau des variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var durum) conduites sous contraintes hydrique. *Recherche Agronomique, INRA*

**Benmahammed, A., Nouar, H., Haddad, L., Laala, Z., Oulmi, A., & Bouzerzour, H. (2010).** Analyse de la stabilité des performances de rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 14: 177-186

**Ben Naceur, M., Gharbi, M. S., & Paul, R. (1999).** L'amélioration variétale et les autres actions contribuant à la sécurité alimentaire en Tunisie en matière de céréales. *Sécheresse*, 10 : 27-33.

**Ben Naceur, M., Nailly, M., & Selmi, M. (1999).** Effet d'un déficit hydrique, survenant à 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.

**Benbelkacem A., Kellou K., (2001).** Évaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum) cultivées en Algérie. *Options*.

**Ben Rejeb, K., Abdelly, C., & Savouré, A. (2012).** La proline, un acide aminé multifonctionnel impliqué dans l'adaptation des plantes aux contraintes environnementales. *Biologie Aujourd'hui*, 206 (4) : 291-299.

**Bergareche, C., Llusia, J., Febrero, A., Bort, J., & Araus, J. L. (1993).** Effect of water stress on proline and nitrate content of barley relationships with osmotic potential, carbon isotope ratio and grain yield. Colloque Diversité génétique et amélioration variétale, Montpellier (France), 15-17 décembre 1992. Les colloques, n°64. Paris : *Inra éditions*.

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

**Bill I., 2007.** La biologie de A à Z : 1100 définitions. Ed. Dunod, Paris, pp 123.

**Binet, P. Brunel, J., 1999-** Physiologie végétale. *Doin*. 933-935/1156.

**Bois G. ,(2005).** Ecophysiologie de semis de conifères ectomycorhizés en milieu salin

**Boulal, H., zahgouane, O., El Mourid , M., Rezgoui, S. (2007).** Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge ) dans le Maghreb (Algérie, Maroc , Tunisie). Ed. ITGC, INRA, ICARDA. 176P.

**Bousba, R. (2012).** Caractérisation de la tolérance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) : Analyse de la physiologie et de la capacité en production. Thèse de doctorat Es Science en biologie végétale, option, Bases génétique de la production végétale. Université Constantine. 1226 p.

**Bousba R., Ykhlef N. & Djekoun A., (2009).** Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum* Desf). *World Journal of Agricultural Sciences* 5. 5: 609 -616p.

**Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Benkharbache, N., & Hassous, K. L. (2002).** Contribution de la sélection à l'amélioration et à la stabilité des rendements de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) dans l'étage bioclimatique semi-aride, *Revue Recherche Agronomique de l'INRA*, 10 : 45-58.

**Bozzini A., (1988).** Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. In Fabriani G. et C. Lintas (éd). *Durum: Chemistry and Technology*. AACC (Minnesota), Etats-Unis, pp: 1-16.

**Blum A – (1989):** Osmotic adjustment and growth of barley genotypes under drought stress – *Crop*. 230- 233.sci 29:

**Blum, A., & Pnuel, Y. (1990).** Physiological attributes associated with drought resistance of wheat cultivars in a mediterranean environment. *Aust. J. Agric. Res*, 41: 799-810.

**Blum, A., Ramaiah, S., Kanemasu, E. T., & Paulsen, G. M. (1990).** Recovery of wheat from drought stress at the tillering developmental stage. *Field Crop Res*, 24 : 67-85.

**Blum A., (1996).** Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. *Plant Growth Regulation*, 20:135-148.

**Braam J., Sistrunk M., Polisensky D.H., Xu W., Purugganan M.M., Antosiewicz D.M., Campbell P. & Johnson K.A. (1997).** Plant responses to environmental stress: regulation and functions of the Arabidopsis TCH genes. *Planta*. **203** : 35 - 41 p.

**Brinis L., (1995).** Effet du stress hydrique sur quelques mécanismes morphologiques, physiologiques et biochimiques. Traits d'adaptation et déterminisme génétique chez le blé dur- Thèse de Doctorat – Univ. Annaba

**-C-**

**Canterro-Martinez, C., Villar, J. M., Romagosa, I., & Fereres, E. (1995).** Growth and yield responses of two contrasting barley cultivars in a Mediterranean environment. *Eur. J. Agron.*, 4: 317-323.

**Casals, M. L. (1996).** Introduction des mécanismes de résistance à la sécheresse dans un modèle dynamique de croissance et de développement du blé dur. Thèse de doctorat, Institut national agronomique de Paris-Grignon.

**Cechin I., Rossi S.C., Oliveira V.C. & Fumis T.F. (2006).** Photosynthetic responses and proline content of mature and young leaves of sunflower plants under water deficit. *PHOTOSYNTHEtica* .**44** (1): 143-146p.

**Cha-um S. et Kirdmane C., (2008).** Effect of osmotic stress on proline accumulation, photosynthetic abilities and growth of sugarcane plantlets (*saccharum officinarum* l.) Pak. J. Bot., 40(6): 2541-2552.

**Chartzoulakisa K., Patakasb A., Kofidisc G., Bosabalidisc A., Nastoub A., 2002.** Water stress. affects leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars. *Scientia Horticulturae* **95** : 39–50.

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

**Chennafi, H., Aïdaoui, A., Bouzerzour, H. & Saci, A., (2006).** Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semiarid growth conditions. *Asian J. Plant Sci.*, (5): 854-860.

**Cherfia, R. (2010).** Etude de la variabilité morpho-physiologique et moléculaire d'une collection de blé dur algérien (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de Magister, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie et Ecologie. Université Mentouri, Constantine. 77p.

**Clarke, J. M., & McCaig, T. N. (1982).** Excised leaf water relation capability as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. *Can.J. Plant Sci.* V. 62: 571-577.

**CIC. (2007).** International Grains Council; World Grains Statistics, pp 13-17

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

**Cornic, G. (2008).** Effet de la contrainte hydrique sur la photosynthèse foliaire: De l'utilisation expérimental des relations A/Ci et ACc, article, 36.

**Clarke, J. M., Romagosa, I., & DePauw, R. M. (1991).** Screening durum wheat germplasm for dry growing conditions. Morphological and physiological criteria, *Crop Sci*, 3(1): 770-775

**Collinson, S., Clawson, E., Azam-Ali, S., & Black, C. (1997).** Effects of moisture deficits on the water relations of bambara groundnut (*Vigna subterranean* L. Verdc.). *J Exp Bo* ; 48 : 877-84.

**Creelman R.A & Mullet J.E. (1991)** .Water deficit modulates gene expression in growing zones of soybean seedlings. Analysis of differentially expressed cDNAs, a new  $\beta$ -tubulin gene, and expression of genes encoding cell wall proteins. *Plant Mol Biol* .**17**: 591- 608 p.

#### **-D-**

**Darbyshire, B. (1974).** The function of the carbohydrate units of tree fungal enzymes in their resistance to dehydration. *Plant Physiol.*, 54: 717-721.

**Davidson D.J. and Chevalier P.M., (1990).** Parenthesis Tiller Mortality in Spring Wheat. *Crop Science*, 30, 832-836.

**Deysson G., (1970).** Physiologie et biologie des plantes vasculaires – 1ere partie. Nutrition et métabolisme – Tome II. Ed soc. D'enseig.sup.850p.

**Diehl R., (1975).** Agriculture générale- Ed Balliere 120 p.

**Dixon R. & Paiva N. L. (1995).** Stress - induced phenylpropanoid metabolism. *The plant cell*.**7**: 1085 – 1097 p.



**Djekoun A. & Planchon C. (1991).** Tolerance to leaf water potential in soybean genotypes. *Euphytica*. **55**: 247 - 253 p.

**Doré C., Varoquaux F., (2006).** Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. Ed INRA. 812 p

**Dubos C., (2001).** Réponse moléculaire de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse de doctorat. Univ. Henri Poincaré, Nancy-I. France.

**Ducellier, L. (1930).** Espèces et variétés de céréales cultivées en Algérie. Direction de l'Agriculture et de la colonisation.

**Durand, J. L. (2007).** Les effets du déficit hydrique sur la plante : aspects physiologiques. *Fourrages*. 190, 181-195.

#### **-E-**

**El hassani T.A. & Persoons E. (1994).** Agronomie moderne. Bases physiologiques et agronomiques de la production végétale. (éd). *AUPELF-UREF* : 544 p.

**Eliane Cristina G.V., Ivan S., Marcos P., Carlos A.S., Hugo Bruno C.M., Celso J.M. & Ellis R.J. (2007).** The molecular chaperone concept. *Semin. Cell Biol.* **1**: 1 - 9 p.

**El Midaoui, M., Benbella, M., Aït Houssa, A., Ibriz, M., & Talouizte, A. (2007).** Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité chez le tournesol cultivé (*Helianthus annuus L.*), Revue HTE, N°136 : 29-34.

**El Mourid M (1988).** Performance of wheat and barley cultivars under different soil moisture regimes in semi arid region. Ph.D. dissertation, Iowa State University Ames USA.

**El Jaafari S. (1993).** Contribution à l'étude des mécanismes biophysiques et biochimiques de résistance à la sécheresse chez le blé. Thèse de doctorat. Univ. Gembloux. Belgique: 214p.

**Erroux J., (1961)** : Introduction au catalogue de blé dur cultivé en Algérie.35p.

**Erroux J., (1974)**. Agronomie méditerranéenne .1. Le milieu Méditerranéen et ses problèmes  
.La culture vivrière en Algérie.38

**Erroux J., (1974)**. Introduction aux catalogues des blés durs cultivés en Algérie. Bull.Soc.  
Histoire Naturelle Afrique du Nord, 5 :5-95.

**-F-**

**Fahmi, F., Tahrouch, S., Bouzoubâa, Z., & Hatimi, A. (2011)**. Effet de l'aridité sur la  
biochimie et la physiologie d'argania spinosa. Actes du Premier Congrès International de  
l'Arganier, Agadir, pp. 299-308.

**Fellah, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Djekoun, A. (2002)**. Sélection pour  
améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*).  
Actes de l'IAV, Hassan II (Maroc), 22: 161-170.

**Ferryra R., Sellés G., Ruiz R.S. & Sellés I.M. (2004)**. Effect of water stress induced at  
different growth stages on grapevine cv. Chardonnay on production and wine quality.  
*Acta Hort.*664: 233- 236p.

**Feillet P. (2000)**. Le grain de blé : composition et utilisation. INRA. Paris.

**-G-**

**Gate P., Bouthier A., Woznica K. et Manzo M.E., (1990)**. La tolérance des variétés de blé  
tendre d'hiver à la sécheresse : premiers résultats I.T.C.F. Perspectives agricoles, **145**: 17-23.

**Gate P., (1995)**. Ecophysiologie du blé. Ed. ITCF. Technique et Documentation. Lavoisier,  
Paris, 419 p.

**Gaufichon, L., Prioul, J. L., & Bachelier, B. (2010)**. Quelles sont les perspectives  
d'amélioration génétique de plantes cultivées tolérantes à la sécheresse? *In. Etude de la  
foundation FARM*

**Gharti-Chhetri, G. B., & Lales, S. (1990).** Biochemical and physiological responses of nine spring wheat (*Triticum aestivum*) cultivars to drought stress at reproductive stage in the tropic. *Belg. Bot.* 123 (2): 27-35.

**Ghosh, P. K., Ramesh, P., Bandyopadhyay, K. K., Tripathi, A. K., Hati, K. M., Misra, A. K. (2004).** Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer-NPK on three cropping systems in vertisols of semi-arid tropics. II. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. *Bioresour. Technol.* 95 : 85-93.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2004.02.012>

**Gorham J., (1993).** Stress tolerance and mechanisms behind tolerance in barley. In: *gronomical and physiological characterization of different barley genotypes to salt stress.* Settat 1993, meeting.

**Granier C., Inzé D. and Tardieu F., (2000).** Spatial distribution cell division rate can be deduced from that of P34cdc2 kinase activity in maize leaves grown in contrasting conditions of temperature and water status. *Plant Physiology.* 124, 1393-1402.

**Greenway H. and Munns R., (1988).** Mechanims of salt tolerance in non halophytes. *Annual Review of Plant Phyiology*,25:149190.

**Grignac, P. (1986).** Contraintes de l'environnement et élaboration du rendement dans la zone méditerranéenne française. In : *l'élaboration du rendement des cultures céréalières.* Colloque Franco- Romain, Clermont-Ferrant, 17-19 Mars, 196-207.

**Guettouche R., (1990).** Contribution à l'identification des caractères morpho-physiologiques d'adaptation à la sécheresse chez le blé dur – Thèse DAA mise en valeur du milieu naturel – ENSA Montpellier.

**-H-**

**Hadjichistodoulou A., (1985).** Stability performance of cereals in low rainfall areas as related to adaptative traits. In: *drought tolerance in winter cereals.* Srivastava J.P., Porceddu E., Acevodo E., Varma S.(éd).John Wiley and sons.UK: 191 -200 p.

**Hayek, T., Ben Salem, M., & Zid, E. (2000).** Mécanisme ou stratégie de résistance à la sécheresse: Cas du blé, de l'orge et du triticale. CIHEAM-IAMZ, Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens, 40: 287-290.

**Hegarty TW. And Ross HA., (1978).** Differential sensitivity to moisture stress of seed germination and seedling radicle growth in calabrese (*Brassica oleracea var. italica*) and cress (*Lepidium sativum*). *Annals of Botany* 42: 1003–1005

**Heller, R. , (1990).** Abiégé de physiologie végétale. Tom 2. Développement 4eme édition.

**Henchi, B. (1987).** Effets des contraintes hydriques sur l'écologie et l'écophysologie de *Plantago albicans*. L. Thèse de doctorat d'État, univ Tunis.

**Hopkins, W. G. (2003).** Physiologie végétale. 2ème édition. De Boeck, Bruscelles: 61-476.

**Houot, S., Mordelet, P., Tardieu, F., Molina, J. (1990).** Effet de tassement du sol sur la biomasse microbienne et la libération d'azote . Symp . INRA- Paris Grignon, France, pp : 201-207

**Hireche Y.A., (2006).** Réponse de la luzerne (*Medicago sativa* L.) au stress hydrique et à la profondeur de semis. Mémoire de Magister, Université Al Hady Lakhdar-Batna (Algérie), 83 p.

**Hikosaka K., Ishikawa K ., Borjigidai A ., Muller O. & Onoda Y. (2006).** Temperature acclimation of photosynthesis: mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rate. *J. Exp. Bot.* **57** : 291-302 p.

**Hsissou, D. (1994).** Sélection *In vitro* et caractérisation de mutants de blé dur tolérants à la sécheresse. Thèse de doctorat. Univ. Catholique de Louvain.

**Hucl, P., Baker, R.J. (1998).** Tillering Patterns of spring whea.

**-I-**

**INRA. (2000).** La résistance des plantes à la sécheresse. Centre de Montpellier.

**-J-**

**Jean-François., & Morot-Gaudry. (1997).** Assimilation de l'azote chez les plantes: aspects physiologique, biochimique et moléculaire. *INRA, Paris*, 119-235.

**Johnson D.A., Richards R.A. et Turner N.C., (1983).** Yield water relations, gas exchange and surface reflectance or near-isogenic wheat lines differing in glaucousness. *Crop Sci* **23**: 318-325.

**-K-**

**Kaiser, W. M. (1987).** Effect of water deficit on photosynthetic capacity. *Physiol. Plant*, 71, 142-149.

**Kameli, A., & Losel, D. M. (1995).** Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress. *J. Plant Physiol*, 145: 363-366.

**Kara, Y., & Bellkhiri, C. (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.

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

**Karrou, M., El Mourid, M., Boulal, H., Boutfirass, M., El Gharous, M.:2001**  
*Écophysiologie des céréales en zones semi-arides*, Eds INRA Maroc.

**Karou, M., Haffid, R., Smith, D. N., & Samir, K. (1998).** Roots and growth water use and water use efficiency of spring durum wheat under early-season drought. *Agronomy*, 18: 181-186.

**Krause G.H & Weis E. (1991).** Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Ann.Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* **42**: 313 -349 p.

-L-

**Laffray, D., & Louguet, P. (1991).** L'appareil stomatique et la résistance à la sécheresse chez les végétaux ligneux. In Riedacker, A., Dreyer, E., Pafadnam, C. Joly, H., & Bory, G. (1993). Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi arides. Groupe d'Etude de l'Arbre Observation DU Sahara et du sahel. John Libbey Eurotext. 21-46.

**Laumont, P., & Erroux, J. (1961).** Inventaire des blés durs rencontrés et cultivés en Algérie. Mémoire de la société d'histoire naturelle de l'Afrique du Nord, 5 : 94p.

**Lebon E., Pellegrino A., Tardieu F. and Lecoœur 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 p.

**Lefi, E., Gulias, J., Cifre, J., Ben Yones, M., & Medrano, H. (2004).** Drought effects on the dynamics of leaf production and senescence in field-grown *Medicago arborea* and *Medicago citrina*. *Ann.Appl. Biol*, 144: 176 -196.

**Lepoivre, P. (2003).** Phytopathologie: Bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et fondements des stratégies de lutte. De Boeck Supérieur, 27-28.

**Levitt J. (1982).** Responses of plants to environmental stresses. *Academic Press*. New York San Francisco –London: 607p.

-M-

**MADR. (2012).** Annuaire statistiques du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Série B.

**Mahdadi, M., & Bouzidi, A. (2013).** Etude du comportement des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi- arides. Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Sciences Agronomiques, Option : Amélioration et Production Végétales, Université de Sétif. 65p.

**Mazoyer, M. (2002).** La rousse agricole.Ed. PP: 320\_321; 673.

**Mefti A, Abdelguerfi A, Chebouti A, (2000).** Etude de la tolérance à la sécheresse chez quelques populations de *Medicago truncatula* (L) Gaertn.Edit. Revue sécheresse, pp173-176.

**Megherbi, A., Mehdadi, Z., Toumi, F., Moueddene, K., & Bouadjra, S. E. B. (2012).** Tolérance à la sécheresse du blé dur (*Triticum durum* Desf.) et identification des

paramètres morphophysologiques d'adaptation dans la région de Sidi Bel-Abbès (Algérie occidentale), *Acta Botanica Gallica*, 159: 137-143

**Mekliche, A., Boukecha, D., & Hanifi-Mekliche, L. (2003).** Etude de la tolérance à la sécheresse de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) .I. Effet de l'irrigation de complément sur les caractères phénologiques, morphologiques et physiologiques, 24 (1, 2): 97-110.

**Merah O., (2001).** Carbon isotope discrimination and mineral composition of three organs in durum wheat genotypes grown under Mediterranean conditions. *Compte rendus de l'Académie des sciences. Serie III-Sciences de la vie-life sciences*, 3224, 355-363.

**Miskin, K. E., Rasmusson, O. C., & Moss, D. N. (1972).** Inheritance and physiological effects of stomatal frequency in barley crop. *Science*. 12: 780- 783.

**Monneveux P., Nemmar M., (1986).** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*T. aestivum* L) et chez le blé dur (*T. durum* Desf.). Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*, 6(6):583-590.

**Monneveux P. et This D., (1997).** La génétique face aux problèmes de la tolérance des blés. *Genet. Mol. Biol.* **8(1)**: 29-35.

**Monneveux, P. (1991).** Quelle stratégie pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hivers ? In :Chalbi Demarly Y. éd. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. ED.AUPELF-UREF.Jhon Libbey. INSA-INRA, P165 :186.

**Morgan, J. M. (1984).** Osmoregulation and water stress in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 35: 299–319.

**Morsli, L. (2010).** Adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf) dans les conditions des hautes plaines constantinoises. mémoire de doctorat .Université Badji Mokhtar Annaba.

**Mouellef, A. (2010).** Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Mémoire de magister. Université Constantine.

-N-

**Nachit, M. 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 Agric*, 7 : 510-515.

**Naville M, (2005).** La biodiversité des espèces cultivées : Analyse dans le cas du blé, PARIS: Université Paris XI, Paris, 20p.

**Neffar, F. (2013).** Analyse de l'expression des gènes impliqués dans la réponse au stress abiotiques dans différents génotypes de blé dur (*Triticum durum*) d'orge (*Hordeum vulgare*) soumis à la sécheresse. Thèse doctorat en Sciences, Université Sétif. 86p.

**Nemmar M., (1983).** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez les variétés de blé dur et du blé tender – Evolution des teneurs en proline au cours du cycle de développement – Thèse de Doctorat ENSA – Montpellier.

**Nouri, L. (2011).** Identification de marqueurs physiologiques de la tolérance à la sécheresse chez le tournesol. Thèse de Doctorat es Science, spécialité, Biologie et Physiologie végétales, option, Génétique et Amélioration des plantes, Université Constantine. 131 p.

**Nouri L., (2002).** Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum*, Desf), en condition de déficit hydrique. Thèse de Magistère en Biologie végétale Univ *Mentouri*. Constantine. 77p.

-O-

**Oosterom, V. E., Ceccarelli, S., & Peacock, J. M. (1993).** Yield response of barley to rainfall and temperature in Mediterranean environments, *J. Agri. Sci*, 121: 307-313.

**O'toole, J.C., Cruz, R.T., (1980).** Response of leaf water potential, stomatal resistance and leaf rolling to water stress. *Plant Physiol*. 51: 993-997.

**Oulmi, (2010).** Contribution à l'étude de la variation de la teneur relative en eau, la température de la canopée et la structure foliaire chez des populations de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de magister en Biologie végétale. Université Sétif. 92p



**-P-**

**Passioura, J. (2004).** Increasing crop productivity when water is scarce : From breeding to field management In : Proceedings of the 4th International Crop Science Congress “New directions for a diverse planet” Brisbane, Australia. 12p. [www.regional.org-au/au/cs](http://www.regional.org-au/au/cs).

**Paul M.H., Planchton C. & Ecochard R. (1979).** Etude des relations entre le développement foliaire, le cycle de développement et la productivité chez le soja. *Amélio plants*. **29** : 479 - 492 p.

**Pirzad,A, M.R.Shakiba ,S .Zehtab.Salmasi, S.A Mohammadi ,R.Darvishzadeh, and A. Samdi .2011.** Effect of water stress on leaf relative water content. Chlorophyll, proline and soluble carbohydrates in *Matricaria chamomilla* L.J.Med.plants .Res .5 :2483-2488.

**Plaut, Z., & Federman, E. (1991).** Acclimation of CO<sub>2</sub> assimilation in cotton leaves to water stress and salinity. *Plant Physiol.*, 97 : 515-522.

**-Q-**

**Qian YL., Wilhelm S.J., Marcum K.B. (2001).** Comparative Responses of Two Kentucky Bluegrass Cultivars to Salinity Stress. *Crop Science*, 41 :1895-1900.

**-R-**

**Rascio, A. (1985).** Water retention capacity of *Triticum durum* cultivars receiving two different water regions. *Gent, Agro*, 39: 409 – 416.

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

**Radhouane, L. (2009).** La photosynthèse du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.) en présence de contrainte hydrique et saline. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, 103 (3): 185-200.

**Rekika, D., Nachit. M.M., Araus, J.L. et Monneveux, P. (1998).** Effects of water deficit on photosynthetic rate and osmotic adjustment in tetraploid wheats. *Photosynthetica*, 35 : 129-138.

**Richards R.A., Rebtzke G.J., Van Herwaarden A.F., Duggan B.L., Condon A., 1997.** Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding. *Dryland Agriculture*, 36: 254-66.

**Rong-haul L., Pei-Pol G., Baumz M., Grand S. and Ceccarelli S., 2006.** Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. *Agric. Sci.* 5(100): 751-757.

**-S-**

**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.

**Sanchez, F. J., Manzanares, M. D. E., Andres, E. F., Tenorio, J. L., Schellenbaum, L., Sprenger, N., Schuepp, H., Wiemken, A., & Boller, T. (1999).** Effects of drought, transgenic expression of a fructan synthesizing enzyme and of mycorrhizal symbiosis on growth and soluble carbohydrate pools in tobacco plants. *New phytol.* 142: 67-77.

**Samars, Y., Bressan, R. A., Csonka, L. N., Garcia-Rios, M. G., Paino D'Urzo, M., & Rhodes, D. (1995).** Proline accumulation during drought and salinity. In : Environment and plant metabolism, Smirnoff N, ed. Bios scientific publisher, Oxford.

**Sassi, K., Abid, G., Jemni, L., Dridi-Al Mohandes, B., & Boubaker, M. (2012).** Étude comparative de six variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*) vis-à-vis du stress hydrique. *Journal of Animal & Plant Sciences.* Vol.15, Issue 2:2157-2170.

**Savouré A., Jaoua S., Hua XueJun., Ardiles W., Van Montagu M. and Verbruggen N., (1995).** Isolation, characterization, and chromosomal location of a gene encoding the DELTA 1-

**Scofield T., Evans J., Cook M.G. & Wardlow I.F., (1988).** Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Aust.J. Plant physiol.* 4: 785 - 797 p.

**Semiani M., (1994).** Contribution a l'étude des effets du stress hydrique sur quelques processus physiologiques, de croissance et de développement de deux variétés de blé tender. Mémoire de magister, spécialité pyrotechnie, 77-80 p.

**Semiani.Y. (2018).** Étude de la tolérance et la sécheresse de plusieurs variétés de blé dur (*Triticum durum Desf*) locales et introduite dans les zones semi arides. Mémoire de doctorat LMD. universite Saad dahlab Blida 1.

**Seyed, Y. S. L., Rouhollah, M., Mosharraf, M. H., & Ismail, M. M. R. (2012).** Water Stress in Plants: Causes, Effects and Responses, Water Stress, Prof. Ismail Md. Mofizur Rahman (Ed.), ISBN: 978-953-307-963-9, In Tech, <http://www.intechopen.com/books/water-stress/water-stress-inplants-causes-effects-and-responses>.

**Siakhène N., (1984).** Effet du stress hydrique Sur quelques espèces de luzerne Annuelle. Mémoire ing Agr. INA. El Harrach. 90 p.

**Singh, T. N., Paleg, L. G., & Aspinall, D. (1973).** Nitrogen metabolism and growth in barley plant during water stress. *Aust. J. Biol. Sci.*, 26: 45-56.

**Sivaramakrishnan S., Pattel V., Flower G. and Paleg L.G., (1988).** Proline accumulation and nitrate reductase activity in contrasting sorghum lines during mid season drought stress. *Plant Physiol.*, 74: 418-426.

**Soltner. D., (1990)-** les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairie. *Coll. Sciences et techniques agricoles. 17ème Ed.*464p.

**Soltner D. (1998).** Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. Sainte-Gemme-sur-Loire, Sciences et Techniques Agricoles

**Soltner D., (2005).** Les grandes productions végétales. 20ème Edition. Collection science et techniques agricoles. 472p.

**Slafer, G. A., & Andrade, F. H. (1989).** Genetic improvement in bread wheat (*Triticum aestivum*) yield in Argentina. *Field Crop Res*, 21: 289-296.

**Slama A., (2002).** Étude comparative de la contribution des différentes parties du plant du blé dur dans la contribution du rendement en grains en irrigué et en conditions de déficit hydrique. Thèse de doctorat en biologie. Tunis.

**Slama A., Ben Salem M., Ben Naceur M.B. et Zid E., (2005).** Les céréales en Tunisie: production, effet de la sécheresse et mécanisme de résistance. Science et changements planétaires / Sécheresse, 16(3): 225-9.

**Stark, J. C., & Longley, T. S. (1986).** Changes in spring wheat tillering patterns in response to delayed irrigation. *Agron J*, 78 : 892-6.

**-T-**

**Tahri, E., Belabed, A., & Sadki, K. (1997).** 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 Desf.*). *Bulletin de l'Institut Scientifique*. Rebat, 21: 81-89

.

**Takemura, T., Okamoto, H., Maruyama, Y., Numaguti, A., Higurashi, A., and Nakajima, T. (2000)** Global three-dimensional simulation of aerosol optical thickness distribution of various origins, *J. Geophys. Res.*, 105, 17853–17873.

**Tardieu, F., & Simonneau, T. (1998).** Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: Modeling isohydric and isohydric behaviors, *J. Exp. Bot*, 49: 419-432.

**Temagoult, M. (2009).** Analyse de la variabilité de la réponse au stress hydrique chez des lignées recombinantes de Tournesol (*Helianthus annuus L.*). Mémoire de magistère. Univ. Mentouri. Constantine.

**Teulat B., Monneveux P., Wery J., Borries C., Souyris I., Charrier A. and This D., (1997).** Relationship between relative water content and growth parameters under water stress in barley: A QTL study. *New Phytology* 137 : 99-107.

**Théron A., (1964)-** Botanique (classe de 2eM) Ed: Bordas.121-141/287.

**Tourte Y., Bordonean M., Henry M., 2005:** Le monde des végétaux organisation, physiologie et génomique. Edition DUNOD. Paris. France

**Triboï, E. (1990).** Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre. *Agronomie*, 10 : 191-200.

**Trinchant, J. C., Boscari, A., Spennato, G., Van de Sype, G., & Le Rudulier, D. (2004).** Proline Betaine Accumulation and Metabolism in Alfalfa Plants under NaCl Stress. Exploring Its Compartmentalization in Nodules. *Plant Physiology*, 135: 1583-1594.

**Troll W., Lindsley J., (1955).** A photometric method for the determination of proline. *J. Biol. Chem.*, 215, 655-660.

**Turk, L. (1978).** Sècheresse du sol. Index physique des réserves d'eau et signification agronomique des déficits d'humidité dans le sol. *Bulletin du BRGM*: 197-202.

**Turner, N. C. (1986).** Adaptation to water deficits: A changing perspective. *Aust J Plant Physiol*, 13: 175-190.

**Turner, N. C. (1997).** Further progress in crop water relations. *Adv Agron*, 58 : 293-338.

**Turner N.C., (1979).** Drought resistance and adaptation to water deficits in crops plants. In: *Stress Physiology in Crop Plants*, Mussell, H. et Staples, R.C. (éds). Wiley Intersciences, New York, pp 303-372.

#### **-W-**

**Wang, W.X., Brak, T., Vinocur, B., Shoseyov, O., Altman, A., (2003).** Abiotic resistance and chaperones: possible physiological role of SP1, a stable and stabilising protein from *Populus*. In: Vasil IK (ed), *Plant biotechnology 2000 and beyond*. Kluwer, Dordrecht. 439-443.

**Witcombe, J. R., Hollington, P. A., Howarth, C. J., Reader, S., & Steele, K. A. (2008).** Breeding for abiotic stresses for sustainable agriculture, *Phil. Trans. R. Soc*, 363 (B): 703-716.

**Wolfe D.W., Sardes V.O., Villalobos J. et Ferreres E. (1992).** Photosynthesis recovery from drought in relation to stress effects on leaf osmotic potential and nitrogen content. In: Proceeding of the 13 th International Sunflowers. Pica, Italy, **1**: 658-663.

**-X-**

**Xu W., Campbell P., Vargeese A.K. & Braam J. (1996).** The Arabidopsis XET-related gene family : environmental and hormonal regulation of expression. *Plant J.* **9**: 879 - 889 p.

**-Y-**

**Yokota, A., Takahara, K., & Akashi, K. (2006).** Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. *Springer*, 15–39.

**-Z-**

**Zeghida A., Amrani R., Djennadi F., Ameroun R., Khldoun A.A. & Belloucif M. 2004.** Etude de la variabilité de réponse des plantules de blé dur (*Triticum durum* Desf) à la salinité. *Céréaliculture*. ITGC. **42**. Constantine : 5p.

**Zhang J., Nguyen H.T. et Blum A., (1999).** Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. *J. Exp. Bot.*, 50: 291-302.