

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Larbi Tébessi–Tébessa  
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département de Biologie des Êtres Vivants



## Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de MASTER

En : Sciences Biologiques

Spécialité : Ecophysiologie végétale

## Thème

**Effets du stress hydrique sur la composition de la paille et  
le grain du blé dur (*Triticum durum* Desf.).**

Réalisé par

Bekhouche Hayette

Hamana Kaouther

Devant le jury

Boudjabi Sonia	MCB	Université De Tébessa	Présidente
Hioun Soraya	MAA	Université De Tébessa	Promotrice
Machroume Amel	MAA	Université De Tébessa	Examinatrice

Date de soutenance : 08 Juin 2020

## **Remerciements**

Tous d'abord, louange à DIEU le clément le miséricordieux de nous avoir guidé et donné le courage et la volonté de poursuivre nos études.

Nous tenons à remercier notre promotrice Mme Hioun Soraya pour son assistance tout au long de ce travail, de nous avoir prodigué son aide, son encouragement continu et ses conseils afin que nous puissions terminer à bien notre travail.

Nos sincères remerciements s'adressent aux membres de jury, Mme Boudjabi Sonia et Mme Machroume Amel qui ont acceptés de lire et de juger ce modeste travail.

Nous tenons à remercier également les ingénieurs de laboratoire, pour leur disponibilité.

Nous voudrions aussi remercier l'ensemble des enseignants de la spécialité «  
Ecophysiologie »

pour leur disponibilité et leur savoir-faire dont nous avons bénéficié tout le long de notre formation.

Un grand merci à nos amis, pour leur complicité et pour leur amitié.

## Résumé

L'objectif de ce travail est axé sur l'influence du stress hydrique sur le produit final qui est le grain et la paille de 7 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) tolérantes pour la plupart au manque d'eau: Bidi17, Hedba3, Chen's, Daki, Deraa, Heider et Vitron.

Différents paramètres d'ordre morphologiques et biochimique ont été quantifiés au stade maturation de récolte après un effet de trois régimes hydrique à la capacité au champ 80, 40, et 20% pendant tout le cycle de vie de la plante.

Les résultats obtenus montrent que le stress hydrique impliqué et notamment 20%, a augmenté le taux des sucres totaux dans les feuilles et les grains et a diminué tous les paramètres morphologiques (poids des tiges, des feuilles, des glumes, poids et le nombre de grain par épi). Cependant ces réponses sont d'ordre comportemental lié à la capacité de chaque génotype à réagir au manque d'eau par ajustement.

**Mots clés:** stress hydrique, blé dur, paramètres morfo-physiologiques, paille, rendement.

## ملخص

الهدف من هذا العمل هو إظهار تأثير الإجهاد المائي على المنتج النهائي وهو الحبوب والقش لسبعة أصناف من القمح القاسي (*Triticum durum* Desf.) متسامح في الغالب مع نقص المياه، Bidi17, Hedba3, Chen's, Daki, Deraa, Heider et Vitron. تم قياس المتغيرات المورفولوجية والكيميائية الحيوية المختلفة في مرحلة نضوج الحصاد بعد تأثير ثلاثة أنظمة مائية بقدرة الحقل 80 و 40 و 20٪ طوال دورة حياة النبات. أظهرت النتائج أن الإجهاد المائي وبشكل خاص 20٪، أدى إلى زيادة مستوى السكريات الكلية في الأوراق والحبوب وخفض جميع الإعدادات المورفولوجية (وزن السيقان والأوراق والحبوب والوزن وعدد الحبوب في السنبل). ومع ذلك، فإن هذه الاستجابات سلوكية مرتبطة بقدرة كل نمط وراثي على الاستجابة لنقص المياه عن طريق التكيف.

**الكلمات المفتاحية:** الإجهاد المائي، القمح الصلب، العوامل المورفولوجية الفسيولوجية، القش، المحصول.

## Abstract

The objective of this work is focused on the influence of water stress on the end product which is the grain and the straw of 7 varieties of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) Tolerant for the most part to the lack of water: Bidi17, Hedba3, Chen's, Daki, Deraa, Heider and Vitron.

Various morphological and biochemical parameters were quantified at the harvest maturation stage after an effect of three water regimes at field capacity 80, 40, and 20% throughout the plant's life cycle.

The results obtained show that the water stress involved and in particular 20%, increased the level of total sugars in the leaves and grains and reduced all the morphological parameters (weight of stems, leaves, glumes, weight and the number of grain by ear). However, these responses are behavioral related to the ability of each genotype to respond to lack of water by adjustment.

**Key words:** water stress, durum wheat, morpho-physiological parameters, straw, yield.

# Table des matières

Remerciements .....	<b>i</b>
Résumé.....	<b>ii</b>
ملخص.....	<b>iii</b>
Abstract.....	<b>iv</b>
Table des matières.....	<b>v</b>
Liste des tableaux .....	<b>vii</b>
Liste des figures.....	<b>viii</b>
Liste des abréviations.....	<b>ix</b>
Introduction .....	<b>01</b>

## CHAPITRE 01/ REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Stress hydrique .....	04
2. Les paramètres morfo-physiologique.....	04
2.1. Paramètres morphologiques .....	05
2.2. Paramètres physiologiques.....	05
3. Effets du stress hydrique sur le blé dur .....	06
3.1. Effet de stress hydrique sur le rendement .....	07
3.2. Effet de stress hydrique sur la biomasse .....	08

## CHAPITRE 02/ MATERIEL ET METHODES

1. Matériel végétal.....	11
2. Conduite de l'essai .....	11
2.1. Mise en place de l'essai .....	11
2.2. Capacité au champ .....	12
2.3. Conduite de l'irrigation .....	12
3. Paramètres étudiés .....	12
3.1. Paramètres morphologiques.....	12

3.2. Dosages des sucres totaux.....	13
4. Analyse statistique .....	13

### **CHAPITRE 03/ RESULTATS ET DISCUSSION**

1. Résultats.....	15
1.1 Poids moyen de la tige .....	16
1.2 Poids moyen des feuilles par plante.....	16
1.3 Poids moyens des glumes .....	17
1.4 Poids moyen d'un grain .....	18
1.5 Nombre moyen de grains par épi .....	19
1.6 Dosage des sucres solubles totaux .....	21
2. Discussion et Conclusion.....	23
Références bibliographiques .....	25
Annexes .....	32

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01 :</b> Paramètres morphologiques et physiologiques d'adaptation au stress hydrique.....	05
<b>Tableau 2 :</b> Caractéristiques des variétés étudiées .....	11
<b>Tableau 03:</b> ANOVA du poids moyen de la tige principale sous l'effet de trois régimes hydrique chez le blé dur .....	16
<b>Tableau 04:</b> ANOVA poids moyen des feuilles par plantes sous l'effet de trois régimes hydrique chez le blé dur.....	17
<b>Tableau 05:</b> ANOVA poids moyen des glumes par épi sous l'effet de trois régimes hydrique chez le blé dur.....	19
<b>Tableau 06:</b> ANOVA poids moyen d'un grain sous l'effet de trois régimes hydrique chez le blé dur.....	20
<b>Tableau 07:</b> ANOVA nombre moyen de grains par épi sous l'effet de trois régimes hydrique chez le blé dur.....	21



## Liste des figures

<b>Figure 01:</b> Poids moyen de la tige principale sous l'effet de trois régimes hydrique chez le Blé dur. Moyenne + écart-type.....	16
<b>Figure 02:</b> Poids moyen des feuilles par plantes sous l'effet de trois régimes hydrique chez le Blé dur. Moyenne +écart-type.....	17
<b>Figure 03:</b> Poids moyen des glumes par épi sous l'effet de trois régimes hydrique chez le Blé dur. Moyenne+écart-type.....	18
<b>Figure 04:</b> Poids moyen d'un grain sous l'effet de trois régimes hydrique chez le blé dur. Moyenne+écart-type.....	20
<b>Figure 05:</b> Nombre moyen de grains par épi sous l'effet de trois régimes hydrique chez le Blé dur. Moyenne+écart-type.....	21
<b>Figure 06 :</b> Teneur en sucres solubles totaux (SST) dans la tige sous l'effet des trois régimes hydrique chez le Blé dur. Moyenne+écart-type.....	22
<b>Figure 07:</b> Teneur en sucres solubles totaux (SST) dans les feuilles sous l'effet de trois régimes hydrique chez le Blé dur. Moyenne+écart-type.....	22
<b>Figure 08 :</b> Teneur en sucres solubles totaux (SST) dans le grain sous l'effet de trois régimes hydrique chez le blé dur. Moyenne+écart-type.....	23

## Liste des abréviations

CC : capacité de champ

CIMMYT: The International Maize and Wheat Improvement Center

HMF : hydroxyle-méthyle furfural

HNO<sub>3</sub> : acide nitrique

HSP : heat shock proteins

ITGC : institut technologique des grandes cultures

NaOH : hydroxyde sodium

PV : partie végétale

SBA : sérum albumine bovine

Trt : traitement

TTS : sucres solubles totaux

## INTRODUCTION

Les céréales constituent une part importante des ressources alimentaires de l'homme et de l'animal. Parmi ces céréales, le blé dur (*Triticum durum* Desf.) compte parmi les espèces les plus anciennes et constitue une grande partie de l'alimentation de l'humanité, d'où son importance économique (Mekhlouf et Bouzerzour, 2000), notamment dans la fabrication de la semoule, matière première du pain, des pâtes alimentaires, des galettes et du couscous... (Kellou, 2008).

Cependant le rendement de cette céréale n'est pas stable, dû à plusieurs facteurs notamment climatiques, et souvent sujette à des stress.

Selon Levitt (1982), le terme stress désigne un facteur de l'environnement induisant une contrainte potentiellement néfaste sur l'organisme vivant. D'après Dutuit *et al.* (1994), le stress est le dysfonctionnement (rupture d'un équilibre fonctionnel) produit dans un organisme ou dans un système vivant, par exemple par une carence. D'autres auteurs limitent la définition du stress aux seules conditions correspondant à une hydratation sub-optimale des tissus (Lamaze *et al.*, 1994). L'installation d'une sécheresse se manifeste par la combinaison d'une part, de la restriction de la disponibilité en eau du sol et, d'autre part, de l'augmentation de la demande évaporatrice (Poormohammad Kiani, 2007). Turk (1978) parle de déficit hydrique lorsque l'humidité du sol est inférieure à la capacité du champ.

Les risques du manque d'eau sont et deviendront de plus en plus fréquents et persistants, à l'avenir, par suite des changements climatiques causés par l'effet de serre (Witcombe *et al.*, 2008). En effet, selon Trinchant *et al.* (2004), chaque année, les surfaces perdues à cause des stress hydrique et salin varient autour de 20 millions d'ha dans le monde. En Algérie le caractère irrégulier des précipitations (200 à 600 mm/an) peut être un facteur de perte partielle ou totale de production, en particulier dans le cas des céréales (Kara et Bellkhiri, 2011). La sécheresse est une des causes principales des pertes de rendement du blé dur, l'impact de la contrainte hydrique varie de 10 à 80% selon les années (Chennafi *et al.*, 2006).

L'effet du stress dépend de son degré, sa durée, le stade de développement de la plante, le génotype et son interaction avec l'environnement (Yokota *et al.*, 2006). Tous les processus de la plante sont affectés par un déficit hydrique, que ce soit le métabolisme, l'organogénèse et la morphogénèse (Doré *et al.*, 2006).

Chez le blé dur, le déficit en eau affecte son développement et ralentit son taux de croissance, qui engendre un faible tallage, une réduction de la surface foliaire, se traduisant par une réduction de la biomasse finale (Villegas *et al.*, 2001), d'où une diminution de la matière sèche durant la période végétative et reproductrice et par conséquent diminution des rendements (Tanner et Sinclair, 1983).

Le déficit hydrique n'affecte pas seulement la partie aérienne, mais la partie racinaire aussi par un ralentissement de la croissance de celle-ci rapporté par Benlaribi *et al.* (1990). Un mécanisme opposé au premier est noté chez le blé dur sous stress hydrique par la mise en place d'un système racinaire très développé, ce qui a une conséquence sur les produits de photosynthèse qui seront détournés dans la production de grains (Baldy, 1973).

L'effet du stress hydrique affecte non seulement les parties morphologiques mais aussi leur composition en osmolytes et composants nutritifs.

L'objectif de ce travail est axé sur l'étude de l'effet de différents régimes hydriques pouvant affecter la composition de la paille et les grains de blé dur (*Triticum durum* Desf.).

L'étude comptera trois chapitres essentiels qui seront précédés par une introduction et se terminant par une conclusion.

Le 1<sup>er</sup> chapitre, sera consacré à une revue bibliographique des stress abiotiques et le stress hydrique, et aussi l'effet du stress sur les paramètres morpho-physiologiques. Alors que le 2<sup>ème</sup> chapitre, s'intéressera au matériel et méthodes utilisés afin de cerner les paramètres morpho-physiologiques impliqués, tandis que le 3<sup>ème</sup> chapitre, traitera les principaux résultats obtenus et discutés.

**CHAPITRE 01 :**  
**Synthèse bibliographique**

## 1. Stress hydrique

Le stress hydrique est un problème sérieux d'année en année et où les plantes sont soumises à des périodes plus ou moins longues de déficit hydrique (Boyer, 1982). Il existe de nombreuses définitions du stress hydrique :

- En météorologique, la sécheresse est une absence prolongée, voire une faible distribution, des précipitations, en relation avec une valeur dite normale (Dictionnaire Larousse française)
- En hydrologie, on parle de sécheresse dès lors qu'à l'échelle régionale la hauteur des pluies est inférieure à la moyenne saisonnière, ce qui se traduit par un approvisionnement insuffisant des cours d'eau et des réserves d'eau superficielles ou souterraines (Dictionnaire Larousse française).
- En agriculture, le stress hydrique peut se définir comme le rapport entre la quantité d'eau nécessaire à la croissance de la plante et la quantité d'eau disponible dans son environnement (Mouellef, 2010).

En effet, on assiste à un stress hydrique lorsque la demande en eau dépasse la quantité disponible pendant une certaine période ou lorsque sa mauvaise qualité en limite l'usage (Madhava Rao *et al.*, 2006). Le stress hydrique entraîne une dégradation des ressources d'eau douce en termes de quantité (surexploitation des eaux souterraines, rivières asséchées, etc.) et de qualité (eutrophisation, pollution par la matière organique, intrusion saline, etc.) (Mouhouche et Boulassel, 1997).

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

## 2. Les paramètres morfo-physiologiques

Lors d'une contrainte hydrique, des modifications de la morphologie et de la physiologie et du métabolisme d'une plante sont observées (Moulineau, 1993). Les modifications physiologiques provoquées par la sécheresse peuvent être l'augmentation du taux d'acide abscissique, l'activité photosynthétique, la fermeture des stomates, l'ajustement osmotique et l'accumulation de

solutés comme la proline et les sucres solubles , protéine... etc (Sandhu et Laude, 1985). Le tableau 01 résume selon Monneveux (1991) l'adaptation au stress hydrique des paramètres morphologiques et physiologiques.

**Tableau 01 :** Paramètres morphologiques et physiologiques d'adaptation au stress hydrique (Monneveux, 1991).

<b>Paramètres d'adaptation</b>	<b>Exemples</b>
<b>Paramètres Morphologiques (macromorphologiques Et micro morphologiques)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extension du système racinaire</li> <li>- port et surface des feuilles</li> <li>- longueur des barbes</li> <li>- présence de cires</li> <li>- épaisseur de la cuticule</li> <li>- nombre et diamètre des vaisseaux au xylème racinaire</li> </ul>
<b>Paramètres physiologiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maintien d'un potentiel hydrique élevé</li> <li>- Osmorégulation (accumulation d'ions minéraux, de sucres solubles)</li> </ul>

## **2.1. Paramètres morphologiques**

L'effet de la sécheresse peut se traduire, selon la stratégie adaptative de l'espèce ou de la variété, par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et/ ou pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilats. Ces modifications affectent la partie aérienne ou souterraine : réduction de la surface foliaire et du nombre de talles, enroulement des feuilles et/ou meilleur développement du système racinaire (Tebbal, 2018). Les travaux effectués par Slama (1996) ont montré que la variété ayant le système racinaire le plus développé en conditions de déficit hydrique a donné le rendement le plus élevé. Dans d'autres expérimentations, la comparaison des barbes de trois variétés de blé

dur a montré que la barbe la plus développée sous contrainte hydrique présente le meilleur rendement ; en effet, les barbes peuvent améliorer le rendement en conditions de sécheresse par augmentation de la surface photosynthétique de l'épi (Slama, 1996).

## **2.2. Paramètres physiologiques (les sucres solubles)**

L'accumulation de solutés dans les plantes est un indice de résistance à la sécheresse (Mani *et al.*, 2002). Les substances synthétisées par les plantes stressées, telle que la proline, peuvent maintenir les fonctions cellulaires par la protection de ses structures et par l'ajustement osmotique (Jubanlt *et al.*, 2008 ; Less et Galili, 2008).

Le maintien d'une forte pression osmotique des fluides cellulaires, se réalise par le potassium en début de croissance et par les osmolytes dans l'autre phase de vie du végétal. Et présence d'autre substance chimique dans la plante effectuée par le stress comme les protéines de sécheresse, analogue au heat shock proteins (HSP) et des polyamines, participent dans le processus d'adaptation (Tebbal, 2018).

Si les sucres sont les éléments carbonés primaires synthétisés et exportés dans toute la plante lors de la photosynthèse, ils ont également un rôle non énergétique d'osmorégulateur et d'osmoprotectant (Sanchez *et al.*, 1998). En effet ces osmotocums participent eux aussi au maintien de la balance de la force osmotique, pour garder la turgescence au niveau des feuilles de blé en conditions de stress (Morgan, 1984 ; Najdjm *et al.*, 2008). Cet ajustement osmotique est dû à la diminution du potentiel hydrique du sol en conditions de sécheresse qui provoque une perte importante de la turgescence au niveau de la plante (Henchi, 1987).

Les sucres permettent également une préservation de l'intégrité membranaire dans les organes desséchés ainsi qu'une protection des protéines (Darbyshire, 1974). Berka et Aïd (2009) montrent que la teneur en sucres solubles des feuilles des plants stressés augmente régulièrement et d'une manière significative en fonction de la diminution de la teneur relative en eau.

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, la dégradation de polysaccharides et une réduction de l'utilisation de carbohydrates plus importante que la réduction de la photosynthèse en conditions de déficit hydrique (Lepoivre, 2003).



De nombreuses études ont mis en évidence l'accumulation de sucres solubles lors de la dessiccation. Une idée principale en ressort : différents sucres solubles peuvent être présents dans des tissus bien hydratés, mais le saccharose est préférentiellement accumulé dans les tissus en déshydratation (Dubos, 2001).

### **3. Effet du stress hydrique sur le blé dur**

Chez le blé dur, le déficit en eau affecte son développement et ralenti son taux de croissance, ceci engendre un faible tallage, une réduction de la surface foliaire, qui se traduit par une réduction de biomasse finale (Villegas *et al.*, 2001). La répercussion du déficit hydrique se traduit par la diminution de la matière sèche durant la période végétative et reproductrice et par conséquent diminue les rendements (Tanner et Sinclair., 1983).

#### **3.1. Effet de stress hydrique sur le rendement**

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

Le manque d'eau diminue l'indice foliaire et la durée de vie de la feuille, et par voie de conséquence la capacité photosynthétique (Turner, 1997). Le déficit hydrique a un effet dépressif sur le rendement et ses composantes (Kara, 2000 ; Chennafi *et al.*, 2006). Chez le blé dur 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, le nombre de grains/épi et le poids du grain (Fellah *et al.*, 2002 ; Benmahammed *et al.*, 2010). Ces composantes se forment à 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. La phase de maturation correspond à la période de remplissage du grain. L'effet du déficit hydrique, au cours de cette dernière phase, se traduit par une diminution de la taille du grain (Bahlouli *et al.*, 2005).

Les travaux de Ben Naceur *et al.* (1999a) ont montré qu'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.*, 1999b). Ces stress réduisent les assimilats stockés dans les tiges après l'épiaison et affectent l'appareil photosynthétique au cours de la phase de remplissage (Bahlouli *et al.*, 2006).

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 (Fellah *et al.*, 2002). 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 (Triboi, 1990).

Le manque d'eau après la floraison, combiné à des températures élevées, entraîne une diminution du poids de 1000 grains par altération de la vitesse de remplissage des grains et de la durée de remplissage (Triboi, 1990). Au cours du remplissage des grains, le manque d'eau a pour conséquence une réduction de la taille des grains (échaudage), réduisant par conséquent le rendement (Gate *et al.*, 1993).

### **3.2 Effet de stress hydrique sur la biomasse**

La biomasse présente un intérêt majeur en sélection au même titre que le rendement vu qu'elle apparaît comme un facteur limitant du rendement (Mekhlouf et Bouzerzour, 2000).

De cette biomasse, le poids de l'épi au stade épiaison est un bon indicateur du rendement potentiel à espérer lorsque le remplissage du grain se fait dans des conditions de croissance, assez favorable. Selon Abessenne (1998) la cinétique d'accumulation de la matière sèche de l'épi, du grain et de la tige, après l'épiaison, chez des variétés conduites en conditions semi-aride, laisse apparaître que le génotype productif se caractérise par une vitesse de remplissage des épis/m<sup>2</sup> assez élevée alors que les variétés aux faibles rendements possèdent une vitesse de remplissage/graine assez forte.

Une capacité de tallage élevée est reconnue comme un bon critère dans les environnements semi-arides, ou les génotypes à haut tallage produisent plus (Hadji christodoulou, 1985). Une forte capacité de tallage herbacée peut être une source de sur consommation d'eau, laissant la phase de remplissage du grain se dérouler sous stress, ce qui réduit le rendement en grain (Wang *et al.*, 2005).

La biomasse aérienne, les composantes du rendement et l'indice de récolte apparaissent comme des caractéristiques associées à la productivité et de ce fait ils peuvent être utilisés comme critères de sélection pour améliorer indirectement le rendement grain en zones semi-arides. Cependant de nombreux travaux aboutissent à la conclusion que la

Sélection pour le rendement ou ses composantes est peu efficace en conditions environnementales défavorables, vu que la variance génétique et l'héritabilité sont, sous ces conditions, peu élevées (Mansouri, 2002). L'inefficacité du rendement grainier comme critère de sélection sous conditions environnementales difficiles conduit à définir et à mettre en œuvre une véritable stratégie de sélection permettant l'identification, la description, et la validation des caractères de tolérance, leur étude génétique, et la recherche de marqueurs moléculaires qui leurs sont associés (Eagles *et al.*, 2001 ; Hospital, 2001).

# **CHAPITRE 02 :**

## **Matériel et Méthodes**

## 1. Matériel végétal

L'étude a porté sur 7 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) choisies pour leurs diversités morphologiques, origine et tolérance au manque d'eau (Tableau 2). Les variétés ont été aimablement fournies par l'ITGC de Khroub de Constantine.

**Tableau 2 :** Caractéristiques des variétés étudiées

N°	Variété	Origine	Précocité	Comportement en sec	Productivité
1	Bidi 17	Algérie	Tardive	Tolérante	Moyenne productivité
2	Chen's	CIMMYT	Semi-précoce	Tolérante	Très productive
3	Daki	Syrie	Précoce Semi-précoce	Tolérante	Très productive
4	Deraa	Syrie	Tardive	Tolérante	Très productivité
5	Hedba	Algérie	Tardive	Sensible	Moyenne productivité
6	Heider	Jordan	Tardive	Tolérante	Très productive
7	Vitron	Spain	Précoce	Tolérante	Bonne productivité

## 2. Conduite de l'essai

### 2.1. Mise en place de l'essai

La préparation des pots et la conduite de l'essai ont été effectuées au niveau de la serre du département des êtres vivants à l'université de Tébessa.

Les graines des génotypes choisies sont mises à germer dans des boîtes de Pétri sur du papier filtre imbibées d'eau distillée à l'air ambiant du laboratoire. Après deux semaines, les graines germées sont transplantées dans des pots en serre à raison de 10 plantes par pot.

Les pots utilisés sont remplis de 5 Kg d'un mélange de terre et de sable aux proportions de 3 :1. Le sable est préalablement lavé. Le tamisage a été fait aussi bien pour le sable que la terre.

La capacité au champ du substrat utilisé a été déterminée et correspondait à  $30.9 \pm 1.2$

%. Les relevés de température pour la période d'étude de Décembre à Avril ont enregistré une moyenne de  $20 \pm 6^{\circ}\text{C}$ . La serre est aérée le matin et fermée 16 h. Le dispositif expérimental utilisé est un dispositif aléatoire complet. Les pots sont réarrangés chaque semaine pour éviter l'effet de bordure.

## 2.2. Capacité au champ

Après avoir tamisé un échantillon du sol avec un tamis de 2 mm de diamètre de pores, on le sèche à l'air libre pendant 15 jours. Cinq échantillons de ce sol sont pris et mis dans 05 béchers de poids connu. De l'eau est ajoutée goutte à goutte jusqu'à atteindre le point de saturation du sol ; après les avoir pesés, les échantillons sont mis dans l'étuve à 105°C pendant 24 heures, et puis sont repesés. L'estimation de la capacité au champ selon Ratteau (1964) est effectuée comme suite :

$$\text{Taux de saturation : } \frac{x}{y} \times 100 \Rightarrow \text{Capacité au champ} = \frac{\text{taux de saturation}}{2}$$

$x$  = quantité totale d'eau dans le sol saturé = eau ajoutée + eauhygroscopique  
 $y$  = poids sec

## 2.3. Conduite de l'irrigation

Les plantes sont arrosées à la capacité au champ (CC) pendant la première semaine. A partir de la deuxième semaine l'application des régimes hydriques a été faite par pesée des pots pour évaluer leur humidité jusqu'à la fin de l'expérimentation. L'arrosage a été fait en respectant l'humidité nécessaire de chaque pot selon son traitement. Trois traitements hydriques ont été appliqués :

- Traitement 1 : plantes arrosées à 80% de la capacité au champ (80%)
- Traitement 2: plantes arrosées à 40% de la capacité au champ (40%)
- Traitement 3: plantes arrosées à 20% de la capacité au champ (20%)

L'essai a été effectué au stade maturation avec le code 9.92 de l'échelle de Zadoks *et al.* (1974)(Grains durs ne sont pas rayés à l'angle).

## 3. Paramètres étudiés

### 3.1. Paramètres morphologiques

Différentes parties de la plante ont été pesées pour tous les traitements et variétés avec 6 répétitions pour chaque paramètre (en gramme).

- Poids moyen de la tige principale : la tige du collet jusqu'au point d'insertion de l'épi.
- Poids moyen des feuilles : toutes les feuilles de la plante ont été pesées.
- Poids moyen des glumes par épi : après décortication des grains les enveloppes (épillettes et autres) ont été pesées.
- Poids moyen d'un grain.
- Nombre moyen de grains par épi.

### **3.2. Dosage des sucres solubles totaux**

#### **Principe**

Les sucres totaux sont déterminés selon la méthode de Dubois et *al.* (1956) dont le principe repose sur la réaction suivante : l'acide sulfurique concentré provoque, à chaud, le départ de plusieurs molécules d'eau à partir des oses. Cette déshydratation s'accompagne par la formation d'un hydroxy-méthylfurfural (HMF) dans le cas d'hexose et d'un furfural dans le cas d'un pentose. Ces composés se condensent avec le phénol pour donner des complexes colorés (jaune-orangé). L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration en sucres.

#### **Mode opératoire**

L'échantillon végétal est mis en macération dans l'éthanol à 80% pendant 48 heures. Après filtration les tubes sont placés dans un bain-marie à 100°C pour faire évaporer l'alcool. Après évaporation, on ajoute 20ml d'eau distillée à l'extrait de chaque tube. A 1 ml de l'échantillon, on ajoute un 1ml de la solution de phénol 5% qu'on agite au vortex.

Après 10mn à température ambiante, 5ml d'acide sulfurique concentré sont ajoutés. Après 10mn les tubes sont placés au bain-marie pendant 20mn à une température de 100°C. Les mesures d'absorbances sont effectuées après 30 mn à une longueur d'ondes de 487 nm. Les résultats des densités optiques sont rapportés sur une courbe étalon des sucres solubles (exprimés en glucose g/l).

## **4. Analyse statistique**

L'interprétation des données est réalisée après une analyse de variance, à l'aide du programme de statistique STATISTICA 10 La comparaison des moyennes a été faite par le test de Fisher et suivi par une comparaison des groupes homogènes selon le test de Newman & Keuls au seuil 5% si le test est significatif.

**CHAPITRE 03 :**  
**Résultats et discussion**



## 1. Résultats

Au cours de l'expérimentation, le comportement des 7 variétés de blé dur étudiés vis -à-vis du stress hydrique est analysé par des paramètres morphologiques et physiologique. Les résultats de tous les paramètres sont présentés dans l'ordre suivant:

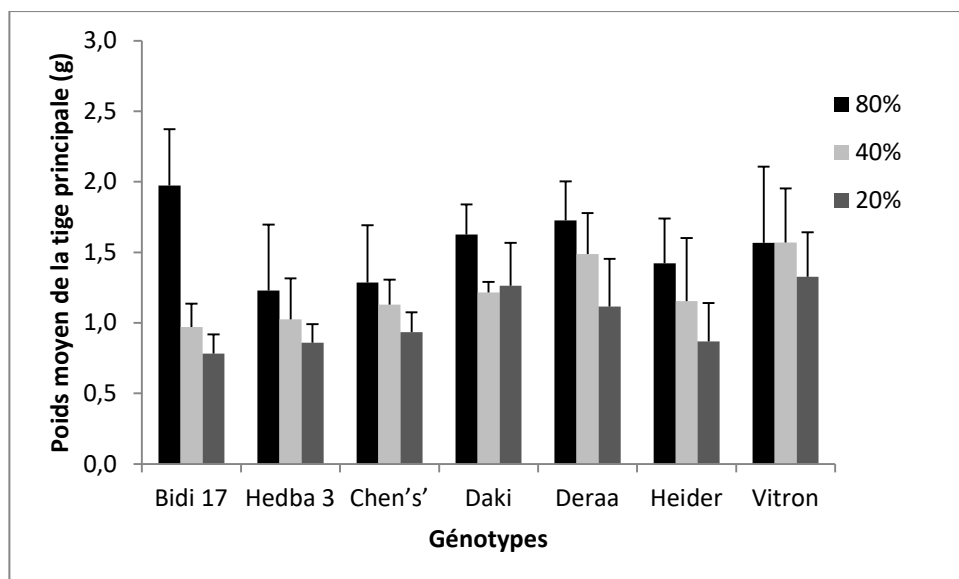
Pour rendre compte de l'effet de 3 régimes hydriques sur la morphologie des variétés testés nous avons étudiée les paramètres suivants:

### 1.1. Poids moyen de la tige

Les résultats de ce paramètre sont exposés par la figure 01 qui montre nettement l'effet du stress hydrique par rapport à la capacité au champ décroissant pour la majorité des variétés. Le poids moyen de la tige de la variété Bidi17 semble être le plus pénalisé par le manque d'eau, montrant une perte de plus de 50% de sa masse dès le régime de 40% (1.9 g à 0.9 g).

A l'opposé, la variété Vitron montre un maintien du poids de la tige même à 40% de la capacité au champ mais réagit par une perte à 14% (1.5g à 1.3 g) mais qui ne semble pas être critique autant que pour Bidi17. Les autres variétés Hedba3, chen's', Daki, Deraa et Heider montrent toutes la même figure décroissante en rapport avec la quantité d'eau disponible à chaque régime hydrique. L'exception remarquée chez la variété Daki, pour le régime de 20% qui semble supérieur au 40% est statistiquement non significatif.

L'analyse statistique montre bien que les résultats très hautement significatifs (Tab. 03) pour les génotypes et les traitements. Les résultats significatifs ont été comparés par le test de Student-Newman-Keuls (SNK) Qui montré 16 groupes homogènes (Annexe: 1).



**Figure 01:** Poids moyen de la tige principale sous l'effet de trois régimes hydrique chez le blé dur. Moyenne  $\pm$  écart-type

**Tableau 03:** ANOVA du poids moyen de la tige principale sous l'effet de trois régimes hydrique chez le blé dur.

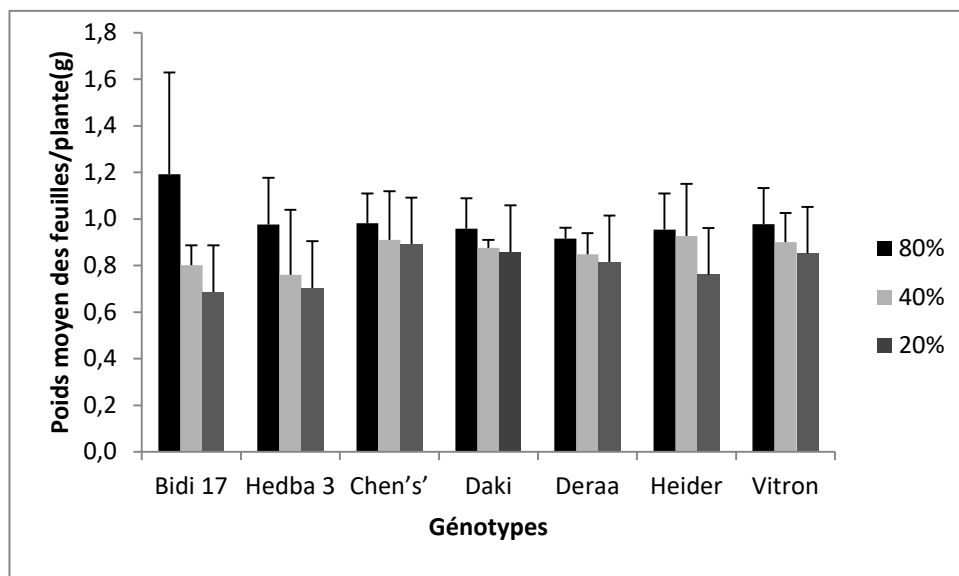
	SC	Degré. de	MC	F	P
<b>Génotypes</b>	5,0479	6	0,8413	6,675	0,000002
<b>Traitements</b>	8,7831	2	4,3915	34,841	0,000000
<b>Génotypes*traitements</b>	3,7991	12	0,3166	2,512	0,004624
<b>Erreur</b>	21,1757	168	0,1260		

## 1.2. Poids moyen des feuilles par plante

La figure 02 illustre le poids moyen des feuilles par plante et montre l'effet du manque d'eau pour différentes variétés. La variété Bidi 17 autant que pour le paramètre précédent est affectée par le stress hydrique plus que les autres variétés testées dès le régime de 40%. La variété Hedba 3 montre le même processus d'effet mais moins accentué. L'effet du manque d'eau pour la majorité des variétés montre une baisse du poids des feuilles dès 40% mais sans grande différence avec le régime hydrique de 20%.

L'analyse de la variance a montré des résultats non significatifs pour les génotypes et très hautement significatifs pour les traitements et significatifs entre elles (Tab. 04)

Les résultats significatifs ont été comparés par le test (SNK) qui a montré 2 groupes homogènes (Annexe: 2).



**Fig**

**re02:** Poids moyen des feuilles par plantes sous l'effet de trois régimes hydrique chez le blé dur. Moyenne  $\pm$  écart-type

**Tableau 04:** ANOVA Poids moyen des feuilles par plantes sous l'effet de trois régimes hydrique chez le blé dur

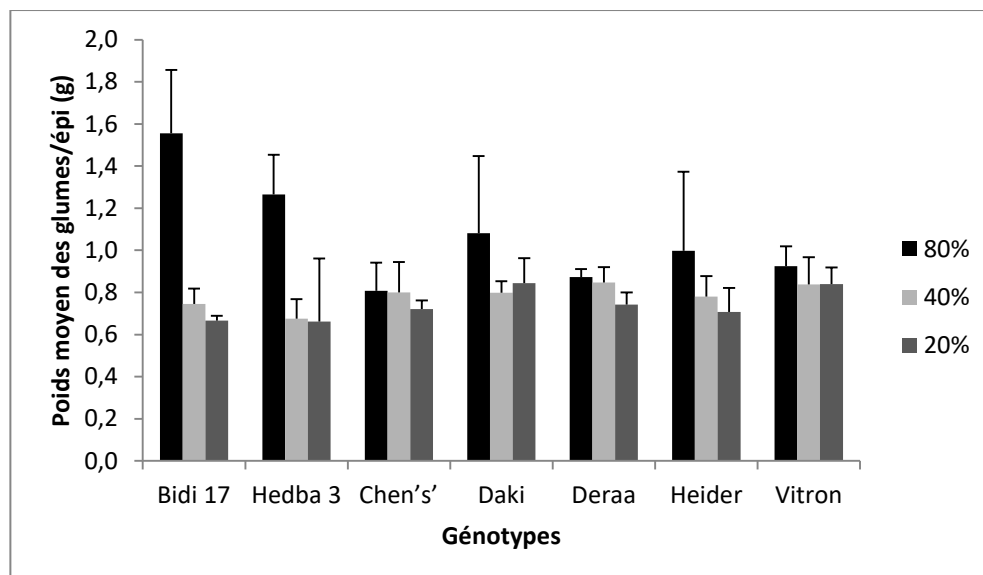
	SC	Degré. de	MC	F	P
<b>Génotypes</b>	0,2186	6	0,0364	0,848	0,534757
<b>Traitements</b>	1,2158	2	0,6079	14,148	0,000002
<b>Génotypes*traitements</b>	0,8260	12	0,0688	1,602	0,095127
<b>Erreur</b>	7,2184	168	0,0430		

### 1.3. Poids moyen des glumes

Le poids moyen des glumes diminue pour toutes les variétés sous l'effet du manque d'eau (Fig. 03). Dans l'ordre décroissant de sensibilité nous notons: Bidi 17, Hedba3, Daki, Heider, Vitron, Deraa et chen's'. Il est constaté plus de 50% de perte du poids des glumes chez Bidi17 et Hedba3 entre les deux régimes 80 et 40%.

L'analyse statistique montre bien que les résultats est non significatifs pour les génotypes et très hautement significatifs pour les traitements et entre elle (Tab. 05)

Les résultats significatifs ont été comparés par le test de (SNK) qui a montré 4 groupes homogènes des glumes (Annexe: 3).



**Figure 03:** Poids moyen des glumes par épi sous l'effet de trois régimes hydrique chez le Blé dur. Moyenne  $\pm$  écart-type

**Tableau 05:** ANOVA Poids moyen des glumes par épi sous l'effet de trois régimes hydrique chez le blé dur.

	SC	Degré. de	MC	F	P
<b>Génotypes</b>	0,7171	6	0,1195	1,709	0,121787
<b>traitements</b>	1,4817	2	0,7408	10,591	0,000047
<b>Génotypes*traitements</b>	6,0148	12	0,5012	7,166	0,000000
<b>Erreur</b>	11,7509	168	0,0699		

#### 1.4. Poids moyen d'un grain

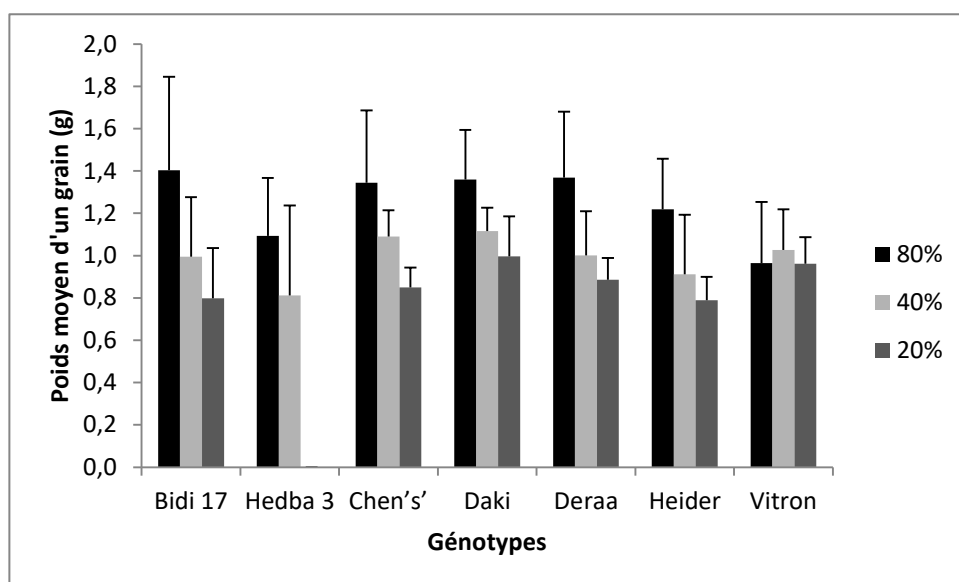
Les résultats de ce paramètre sont présentés par la figure 04 qui montre nettement l'effet du stress hydrique par rapport à la capacité au champ décroissant pour la majorité des variétés. Le poids moyen des graines des variétés : Bidi17, Chen's',

Daki, Deraa, Heider semble être le plus pénalisé par le manque d'eau montrant une perte de plus de 40% de sa masse (1,4g à 0,8g) dès le régime de 40%.

A l'opposé, la variété Hedba3 montre un maintien du poids des grains même à 40% de la capacité au champ mais réagit par une perte de 14% (1g à 0,8g). La variété Vitron montre une stabilité du poids moyen des grains

L'analyse de la variance a montré des résultats très hautement significatifs pour les génotypes et les traitements et entre elles (Tab. 06)

Les résultats significatifs ont été comparés par le test (SNK) qui a montré 4 groupes homogènes des grains (Annexe: 4).



**Figure04:** Poids moyen d'un grain sous l'effet de trois régimes hydrique chez le blé dur. Moyenne  $\pm$  écart-type

**Tableau 06:** ANOVA Poids moyen d'un grain sous l'effet de trois régimes hydrique chez le blé dur

	SC	Degré. De	MC	F	P
<b>Génotypes</b>	4,8450	6	0,8075	13,937	0,000000
<b>traitements</b>	7,9937	2	3,9968	68,983	0,000000
<b>Génotypes*traitements</b>	3,2371	12	0,2698	4,656	0,000002
<b>Erreur</b>	9,7338	168	0,0579		

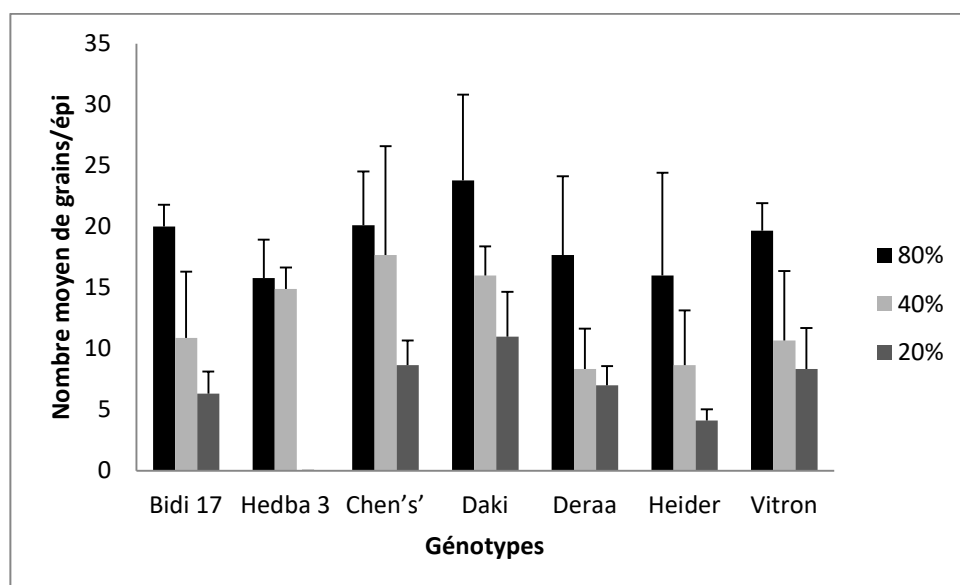
## 1.5. Nombre moyen de grains par épi

Les résultats de ce paramètre sont exposés par la figure 05 qui montre l'effet du manque d'eau pour les différents régimes hydriques.

Les variétés Bidi 17, Deraa et Vitron autant que pour le paramètre précédent est affecté par le stress hydrique plus que les autres variétés testées dès le régime de 40%. Les variétés Hedba 3, Chen's', Daki et Heider montrent le même processus d'effet mais moins accentué.

L'analyse statistique montre bien que les résultats très hautement significatifs pour les génotypes et les traitements ainsi que les interactions (Tab. 07).

Les résultats significatifs ont été comparés par le test de (SNK) qui a montré 14 groupes homogènes (Annexe: 5).



**Figure 05:** Nombre moyen de grains par épi sous l'effet de trois régimes hydrique chez le Blé dur. Moyenne  $\pm$  écart-type.

**Tableau 07:** ANOVA nombre moyen de grains par épi sous l'effet de trois régimes hydrique chez le blé dur.

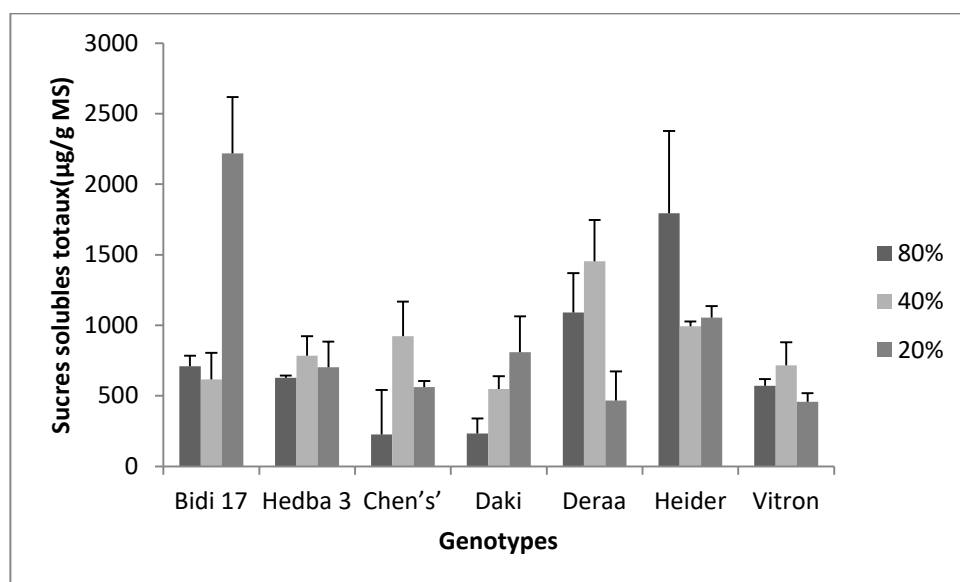
	SC	Degré. de	MC	F	P
<b>Génotypes</b>	1231,45	6	205,24	7,657	0,000000
<b>Traitements</b>	3413,39	2	1706,70	63,668	0,000000
<b>Génotypes*traitements</b>	2111,07	12	175,92	6,563	0,000000
<b>Erreur</b>	4503,44	168	26,81		

## 1.6. Dosage des sucres solubles totaux

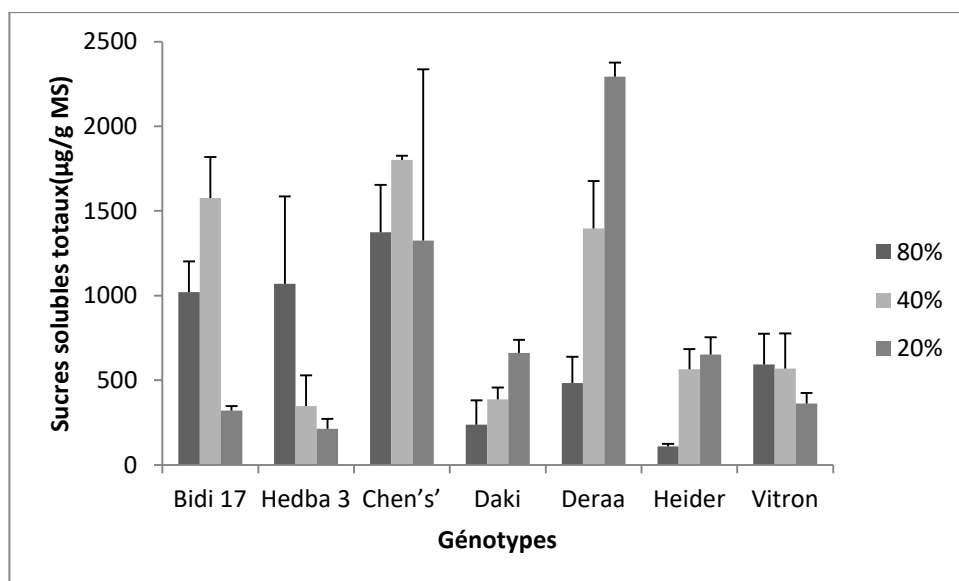
Les valeurs du dosage des sucres solubles pour les 7 variétés de blé dur (Bidi 17, Chen's', Daki, Deraa, Hadba, Heider et Vitrons) pour les trois parties végétal (tige, feuille et grain) en fonction de trois traitements hydrique (80%,40% et 20%) sont montrées par les figures 06, 07 et 08. Au niveau de toutes les figures pour ce paramètre sous l'effet de faibles doses d'irrigation les trois parties végétales étudiées présentent une augmentation de leur teneur en sucres.

L'étude et l'analyse des résultats révèlent aussi que les trois parties végétales de blé dur sont différentes par leur réponse à accumuler les sucres solubles au manque d'eau. L'analyse de la variance montre des différences très significatifs des teneurs en sucres totaux entre les 7 génotypes étudiées et entre les traitements de la même variété.

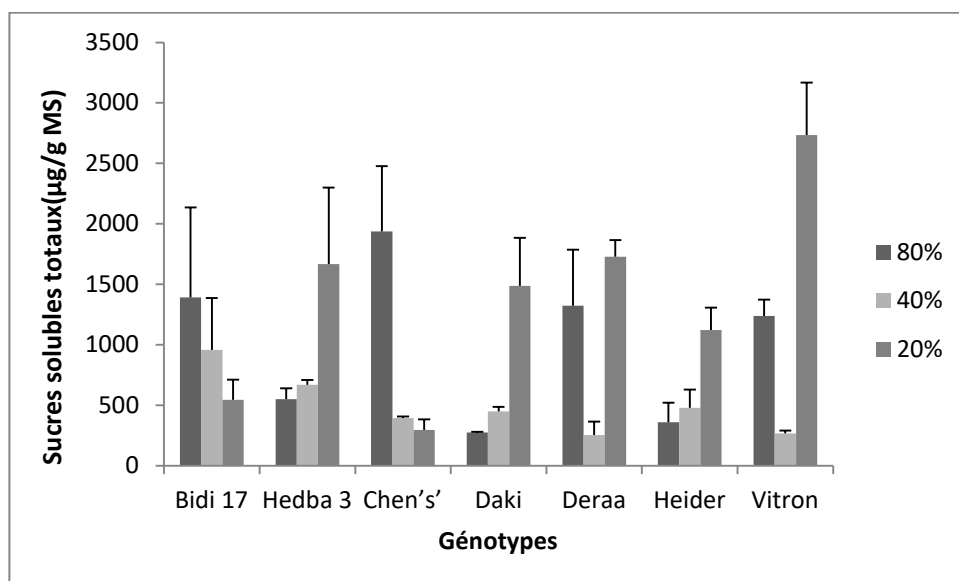
On remarque une supériorité concernant les valeurs des teneurs en sucres solubles du grain par rapport à la feuille et à la tige pour les trois traitements. La comparaison des génotypes montre que Bidi17 est le plus réactif vis-à-vis du stress hydrique pour ce paramètre. Les groupes homogènes sont très variable entre les génotypes et les parties végétales (Annexe 6).



**Figure 06** : Teneur en sucres solubles totaux (SST) dans la tige sous l'effet des trois régimes hydrique chez le Blé dur. Moyenne+écart-type



**Figure 07:** Teneur en sucres solubles totaux (SST) dans les feuilles sous l'effet de trois régimes hydrique chez le Blé dur. Moyenne+écart-type



**Figure 08 :** Teneur en sucres solubles totaux (SST) dans le grain sous l'effet de trois régimes hydrique chez le blé dur. Moyenne+écart-type



## 2. Discussion et Conclusion

L'effet du stress hydrique est bien marqué entre les 7 variétés expérimentées avec une variabilité pour la plupart des paramètres mesurés.

La tolérance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître. Ainsi, l'effet du stress hydrique se traduit selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou génotype, par des modifications pour augmenter l'absorption d'eau et pour diminuer la transpiration (Passioura, 2004). Les 7 variétés ont eu la même stratégie de tolérance au stress hydrique par une diminution des paramètres morphologiques. Selon Hopkinsw (2003), un stress hydrique se traduit par une réduction de la croissance de la plante et de sa production par rapport au potentiel du génotype.

Vu que le stress mis en place par notre expérimentation est pendant tout le cycle de la plante, donc un stress hydrique précoce, il a affecté en parallèle la croissance des tiges, des glumes des grains et des parties aériennes et le développement des feuilles.

Le développement végétatif sous conditions limitées d'alimentation hydrique est fortement perturbé (Ferryra *et al.*, 2004). On note principalement une diminution importante du poids des feuilles qui est un déterminisme important de la transpiration, et même que c'est l'une des premières réactions des plantes au déficit hydrique.

Le poids et le nombre moyen de grains par épi qui font parties des composantes du rendement ont subi une diminution importante sous l'effet de stress selon l'intensité de ce dernier. Tout déficit hydrique qui affecte la formation d'une ou plusieurs composantes, affecte le rendement. La phase de maturation correspond à la période de remplissage du grain. L'effet du déficit hydrique, au cours de cette dernière phase, se traduit par une diminution de la taille du grain (Bahlouli *et al.*, 2005).

D'après les résultats obtenus, les sucres solubles totaux ont connu une augmentation de la concentration en réponse au déficit hydrique chez les variétés étudiées ; en effet les sucres, même s'ils représentent des osmoticums beaucoup moins puissants, participent également au maintien de la balance de la force osmotique pour garder la turgescence du volume cytosolique aussi élevé que possible (Bouzoubaa *et al.*, 2001), il permettent également une préservation de l'intégrité membranaire dans les organes desséchés ainsi qu'une protection des protéines (Darbyshire, 1974). Lors d'une sécheresse (prolongée), on assiste à la disparition de l'amidon et à une accumulation de sucres solubles dans les feuilles flétries (Ben Salem et Ben Abdallah, 1993).

La réponse biochimique, évaluée à travers le processus d'accumulation des sucres solubles chez les 7 variétés testées sous stress hydrique, a mis en évidence, la capacité de

ces variétés à synthétiser et accumuler des sucres solubles. L'accumulation de ce composé organique au niveau des feuilles est un phénomène physiologique lié à l'ajustement osmotique.

Les variétés étudiées ont utilisé la même stratégie de tolérance vis-à-vis du stress hydrique mais à différents degrés.

En conclusion, les 7 variétés ont utilisées la même stratégie pour la tolérance au stress hydrique mais la variété Bidi17 est beaucoup plus sensible que les autres variétés.

En perspective à ce travail on propose de:

- Etudier d'autres paramètres morphologiques et biochimiques.
- Compléter le travail par des études de biologie moléculaire pour identifier les gènes responsables.

# Références Bibliographiques

**Abessenne, F. (1998).** Etude génétique de la durée des phases de développement et leur influence sur le rendement et ses composantes chez le blé dur (*triticum durum* Desf.). These magister, INA, Alger, 81p.

**Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & Hassous, K.L. (2005).** Sélection of high yield ding of durum wheat (*triticum durum* Desf.) Under semiarid conditions. Journal of Agronomy, 4(4): 360-365p.

**Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & Hassous, K.L. (2006).** Etude des liaisons entre le rendement, la durée de vie de la feuille étendard, la vitesse de remplissage et la remobilisation des assimilés de la tige du blé dur (*triticum durum* Desf.) sous climat méditerranéen. Annales INA, 27 :15-36p.

**Baldy, C., (1973).** Progrès récents concernant l'étude du système racinaire du blé. Ann. Agron. 24(2).

**Benlaribi, M., Monneveux, P., et Grignac, P., (1990).** Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*triticum durum* Desf.). Agronomie, N) 10 :305-322. .

**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 a).** L'amélioration variétale et les autres actions contribuant à la sécurité. Alimentaire en Tunisie en matière de céréales. Sécheresse, 10 :27-33p.

**Ben Naceur, M., Nailly, M., & Selmi, M. (1999 b).** 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 :53-60p.

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

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

**Chennafi, H., Aidaoui, A., Bouzerzour, H., & Saci, A. (2006).** Yield response of durum wheat (*triticum durum* Desf.) cultivar waha to deficit irrigation Under semiaride growth condition. *Asian J. plant sci*, (5):854-860p.

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

**Debacke, P., Cabelguenne, M., Casals, M.L. & Puch, J. (1996).** Elaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. II. Mise au point et test d'un modèle de variétés. *Epicphase-blé : Agronomie*, 16 :25-46p.

**Dictionnaire Larousse français Edition 2010.**

**Doré, T., Le Bail, M., Martin, P., Nev, B., & Roger-Estrade, J. (2006).** L'agronomie au jour d'hui Quae, versailles cedex : 114-118p.

**Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F. (1956).**

Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350-356.

**Dubos, C. (2001).** Réponse moléculaire de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse de doctorat en biologie Forestière, université Henri Poincaré, Nancy I : 225p.

**Dutuit, P., Pourrat, Y., Dutuit, J.M., (1994).** La notion de stress de la cellule à l'écosystème. *Sècheresse*, 5. 1 : 23-31.

**Eagles, J.A., Bariana, H.S., Ogonnaya, F.C., Rebetzke, G.J., Hollamby, G.J., Henry, R.J., Henschke, P.H., Carter, M., (2001).** Implémentation of markers in Australian wheat breeding. *Aust. J. Agric. Res*, 52(11-12):1349-1356p.

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

**Gate, P., Bouthier, A., Casabianca, H., & Deleens, E., (1993).** Caractères physiologiques décrivant la tolérance à la sécheresse des blés cultivés en France : interprétation des corrélations entre le rendement et le composition isotopique du carbone des grains. Colloque

Diversité génétique et amélioration variétale Montpellier (France). Les colloques .64. Inra. Paris.

**Hadji christodoulou, A. (1985).** Stability performance of cereals in low rainfall areas as related to adaptive traits. In : Drought tolerance in Winter cereals. Srivastava, JP., Porceddu, E., Acevedo, E., Varma, s.ed ; John Wiley and Sons, U.K, pp : 191-200p.

**Henchi, B. (1987).** Effets des contraintes hydriques sur l'écologie et l'écophysiologie de *Triticum aestivum* L. Thèse de doctorat d'Etat univ Tunis.

**Hospital, F. (2001).** Size of donor chromosome segments around introgressed loci and reduction of linkage drag in marker-assisted back cross programs. *Genetics*, 158(3) :1363-1379p.

**Jubant, M., Hamon, C., Gravot, A., Lariagon, C., Delourm, R., Bouchet, A., & Manzanera-Dauleaux, M.J. (2008).** Differential regulation of root arginine catabolism and polyamine metabolism in clubroot-susceptible and partially resistant Arabidopsis genotype. *Plant Physiology*, 146 :208-219p.

**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.

**Kara, Y., & Bellkhir, 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 :119-126p.

**Kellou, R. (2008).** Analyse du marché algérien du blé dur et les opportunités d'exportation pour les céréaliers français dans le cadre du pôle de compétitivité Qualité-Méditerranée. Le cas des coopératives Sud céréales, groupe coopératif occitan et Auvergnat. Ce Master est le numéro 93 de série Master of Science du CIHEAM – IAMM N° 93,160p.

**Laberche, J.C. (2004).** La nutrition de la plante in *Biologie végétale*. Dunod 2<sup>e</sup> (éd). Paris : 154-163p.

**Lamaze, T., Tousch, D., Sarda, X., Grignon, C., Depigny-This, D., Monneveux, P., & Belhassen, E. (1994).** Résistance de plantes à la sécheresse : mécanismes physiologiques. *Le sélectionneur Français*, 45 :75-85p.

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

**Less, H ., & Galili, G. (2008).** Principal transcriptional programs regulating plant Amino Acide metabolism in response to abiotic stresses. *Plant physiol*, 146 :316-330p.

**Levitt, J. (1982).** Responses of plants to environmental stress. Aead. Press, N.Y., USA : 607p.

**Madhava Raok, V., Raghavendra, A.S., & Janardhan Reddy, K.(2006).** Printed in the Nether lands. Physiology and molecular Biology of stress tolerane in plants. Springer : 1-14p.

**Mani, S., Van Decotte, B., Van Mantagu, M., Verbruggen, N. (2002).** Altered levels of proline déshydrogénase cause hypersensitivty. To proline and It sana logs in Arabidopsis. *Plant physiology*, 128 :73-83p.

**Mansouri, A. (2002).** Analyse du rendement et ses composantes chez quelques hybrides F2 et leurs parents blés durs (*triticum durum* Desf.) en zone semi-aride. Mem. Ing. Inst. Agron. Batna : 55p.

**Mekhlouf, A et Bouzerzour, H. (2000).** Déterminisme génétique et associations entre le rendement et quelques caractères à variation continue chez blé dur (*triticum durum* Desf.). recherche Agronomique (INRAA), 7 :37-49.

**Monneveux, P. (1991).** Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydriques des céréales d'hiver. Communication aux journées scientifiques de l'AUPELF. Amélioration des plantes pour l'adaptation en milieu aride. Tunis, 4-9 Dec., 22p.

**Morgan, J.M. (1984).** Osmoregulation end water stress in higher plants. *Annual Review of plant physiology*, 35 :299-319p.

**Mouellef, A. (2010).** Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*triticum durum* Desf.) au stress hydrique, mémoire. Mémoire université Mentouri Constantine Faculté de biologie Département de Biologie végétale et écologie, 53p.

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

- Moulineau, C. (1993).** Variations sous contrainte hydrique de la teneur en acides aminés libres foliaires du mil. In : Hamon Serge (ed.). Le mil en Afrique : diversité génétique et agrophysiologique : potentialités et contraintes pour l'amélioration et la culture. Paris : ORSTOM, 233-244p.
- Najdjm, B., Eljaafari, S., Jlibène, M., Jacquemin, J.M. (2008).** Application des marqueurs moléculaires dans l'amélioration du blé tendre pour la résistance à la maladie se aux insectes. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 7 :17-35p.
- Nachit, M.M., Picard, E., Monneveux, P., Labhilili, M., Baum, M., & Rivoal, R. (1998).** Présentation d'un programme international d'amélioration de blé dur pour le bassin méditerranéen. *Cahiers Agric*, 7 :510-515p.
- Poormahammed kiani, S. (2007).** Analyse génétique des réponses physiologiques du tournesol (*Helianthus annuus* L.). Soumis à la sécheresse. Thèse de doctorat. Université National polytechnique de Toulouse. 214p.
- Ratteau, J. J. (1964).** Deux méthodes de détermination en laboratoire, de la capacité au champ. *L'Agronomie Tropicale. Série 2, Agronomie Générale. Etudes Techniques*, 19 (11) : 1021-1024.
- Sanchez, F.J., Manzanres, M.D.E., Andres, E.F., & Boller, T. (1998).** Effets of drought, transgenic expression of a fructan synthesizing enzyme and of mycorrhizal symbiosis on growth and soluble carbohydrate pools into bacco plants. *New phytol*, 142 :67-77p.
- Sandhu, A.S., & Laude, H.H. (1985).** Testes of drought and heat hardiness of Winter wheat. *Agro. J. N°50* :78-81p.
- Slama, A. (1996).** Effet d'une contrainte hydrique édaphique sur le développement du système racinaire de deux variétés de blé dur. DEA de physiologie végétale, faculté des sciences de Tunisie.
- Tanner, C.B. & Sinclair, T.R. (1983).** Efficient water use incrop production, in : Taylor, H.M., Jordan, M.R., Sinclair, T.R. (Eds). Limitations to efficient water use in crop production. American society of agronomy madison WI, 29-43p.
- Tebbal, k., (2018).** Etude moléculaire de protéines impliquées dans l'adaptation du blé dur (*triticum durum* Desf.) au stress hydrique (Approche in *silico*).



- Triboi, S. (1990).** Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre. *Agronomie*, 10 :191-200p.
- Trichant, J.C., Boscari, A., Spennato, G., Vandesyne, G., & Le Rudulier, D. (2004).** Proline Betaine Accumulation and metabolism in Alfalfa plants Under Na Cl stress. Exploring its compartment a libation in Nodules. *Plant physiology*, 135 :1583-1594.
- Turk, L. (1978).** Sécheresse du sol. Index physique des réserves d'eau et signification agronomique des déficits d'humidité dans le sol. *Bulletin du BRGM* : 197-208p.
- Turner, N.C. (1997).** Further Progress in crop water relations-*Adv. Agron*, 58 :293-338p.
- Villegas, D., Aparicio, N., Blancor., & Royoc. (2001).** Biomass accumulation and Mai stem elongation of durum wheat Grown Under Mediterranean conditions. *Annals of botany*, 88 :617-627.
- Wang, Z., Li, S., Vera, C.L., Malhi, S.S., (2005).** Effects of water deficit and supplemental irrigation on Winter wheat growth, grain yield and quality, nutrient uptake, and dry matter Production. *Can. J. plant. Sci*, 82 :299-306p.
- Witcombe, J.R., Hollington, P.A., Howarth, C.J., Reader, S., & Telle, K.A. (2008).** Breeding for abiotic stresses for sustainable agriculture *Phil. Trans. R. soc*, 363(b) :703-716p.
- Yokota, A., Takahara, K., & Akashi, K. (2006).** Physiology and molecular biology of stress Tolerance in plants. *Springer*, 15-39p.
- Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974).** A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*, 14(6), 415-421.

# **Annexes**

## Annexe 01 : Poids moyen de la tige principale

Génotypes	Tige	1	2	3					
2	1,038963	c							
3	1,109630	c	b						
6	1,148704	c	b						
1	1,241667	c	b	a					
4	1,342615		b	a					
5	1,463786			a					
7	1,483963			a					
Traitements		Tige	1	2	3				
3		1,021810	c						
2		1,219556		b					
1		1,544556			a				
Génotypes	Traitements	Tige	1	2	3	4	5	6	7
1	3	0,780778	g						
2	3	0,864111	g	F					
6	3	0,869000	g	F					
3	3	0,934111	g	F	e				
1	2	0,970889	g	F	e				
2	2	1,024111	g	F	e	d			
3	2	1,115222	g	F	e	d	c		
6	2	1,155000	g	F	e	d	c		
4	3	1,168000	g	F	e	d	c		
5	3	1,205900	g	F	e	d	c	b	
4	2	1,215000	g	F	e	d	c	b	
2	1	1,228667	g	F	e	d	c	b	
3	1	1,279556	g	F	e	d	c	b	
7	3	1,326556	g	F	e	d	c	b	
6	1	1,422111		F	e	d	c	b	
5	2	1,488222			e	d	c	b	
7	1	1,556889				d	c	b	a
7	2	1,568444				d	c	b	a
4	1	1,625444					c	b	a
5	1	1,725889						b	a
1	1	1,973333							a

## Annexe 2 : Poids moyen des feuilles par plante

Traitements	Feuilles	1	2
3	0,795413	b	
2	0,864302	b	
1	0,989524	a	

## Annexe 3 : Poids moyens des glumes

traitements	Glumes	1	2
2	0,781698	b	
3	0,826397	b	
1	0,987984	a	

Génotypes	traitements	Glumes	1	2	3
2	2	0,661778	c		
1	3	0,666778	c		
2	1	0,674667	c		
6	3	0,706667	c		
3	3	0,720333	c		
1	2	0,745889	c		
6	2	0,780333	c		
5	3	0,782300	c		
4	2	0,798556	c		
3	2	0,800556	c		
4	3	0,807000	c		
3	1	0,808000	c		
7	2	0,837333	c		
7	3	0,839333	c		
5	2	0,847444	c		
5	1	0,873556	c		
7	1	0,925333	c		
6	1	0,998111	c	b	
4	1	1,080556	c	b	
2	3	1,265111		b	
1	1	1,555667			a

## Annexe 4 : Poids moyens d'un grain

Génotypes	Pmg	1	2	3
2	0,634667	c		
6	0,973000		b	
7	0,983889		b	
1	1,065185		b	a
5	1,081464		b	a
3	1,095000		b	a
4	1,163154			a

Traitements	Pmg	1	2	3
3	0,754048	c		
2	0,984016		b	
1	1,259079			a

Génotypes	Traitements	Pmg	1	2	3	4	5	6
2	3	0,000000	f					
6	3	0,789000		e				
1	3	0,797667		e				
2	2	0,811222		e				
3	3	0,849333		e	d			
5	3	0,896400		e	d			
6	2	0,911333		e	d			
7	3	0,961111		e	d			
7	2	0,964000		e	d			
1	2	0,994000		e	d			
4	3	0,995875		e	d			
5	2	1,000556		e	d			
7	1	1,026556		e	d	c	b	
3	2	1,090778		e	d	c	b	a
2	1	1,092778		e	d	c	b	a
4	2	1,116222		e	d	c	b	a
6	1	1,218667			d	c	b	a
3	1	1,344889				c	b	a
4	1	1,358778					b	a
5	1	1,368000					b	a
1	1	1,403889						a

## Annexe 5 : Nombre moyen de grains par épi

Génotypes	Nb g	1	2	3
6	9,59259	c		
2	10,22222	c		
5	10,82143	c		
1	12,40741	c	b	
7	12,88889	c	b	
3	15,48148	b	a	
4	17,34615			a

traitements	Nb g	1	2	3
3	6,82540	c		
2	14,07937		b	
1	17,03175			a

Génotypes	traitements	Nb g	1	2	3	4	5	6	7
2	3	0,00000	g						
6	3	4,11111	g	f					
1	3	6,33333		f					
5	3	6,90000		f					
5	2	8,33333		f	e				
7	1	8,33333		f	e				
3	3	8,66667		f	e				
6	2	8,66667		f	e				
7	3	10,66667		f	e	d	c		
1	2	10,88889		f	e	d	c		
4	3	11,62500		f	e	d	c		
2	2	14,88889			e	d	c	b	
2	1	15,77778				d	c	b	
6	1	16,00000				d	c	b	
4	2	16,00000				d	c	b	
3	1	17,66667					c	b	a
5	1	17,66667					c	b	a
7	2	19,66667						b	a
1	1	20,00000						b	a
3	2	20,11111						b	a
4	1	23,77778							a

## Annexe 06 : Test de Newman-Keuls Sucres solubles totaux

Genotypes	SS	1	2	3	4
4	567,581	d			
6	778,354		c		
2	820,720		c		
7	927,320		c	b	
1	1076,413			b	a
3	1195,385				a
5	1248,770				a

Traitement	SS	1	2
1	856,135	b	
2	978,593		a
3	1000,077		a

Parties Végétales	SS	1	2
2	768,543	b	
1	819,503	b	
3	1246,758		a

### Test de Newman-Keuls de génotype \*traitement

Genotypes	Parties Végétales	SS	1	2	3	4	5	6
6	2	442,284	f					
4	1	464,227	f					
4	2	570,609	f					
6	3	593,760	f					
1	1	664,151	f e					
4	3	667,907	f e					
2	1	706,756	f e					
7	1	712,187	f e					
3	1	790,071	f e d					
2	3	841,707	f e d c					
7	2	887,538	f e d c					
2	2	913,698	f e d c b					
5	3	1115,551	e d c b	a				
1	2	1148,476	e d c b	a				
7	3	1182,236	e d c b	a				
3	3	1182,764	e d c b	a				
5	2	1274,227	d c b	a				
6	1	1299,018	d c b	a				
5	1	1356,533	c b	a				
1	3	1416,613	b	a				
3	2	1613,320		a				

Test de Newman-Keuls de génotype \* parties végétales

genotypes	Parties Végétales	SS	1	2	3	4	5	6	7	8
4	1	247,747	h							
4	2	460,800	h	g						
7	2	516,827	h	g	f					
2	2	599,947	h	g	f	e				
6	2	678,587	h	g	f	e	d			
2	1	748,604		g	f	e	d			
6	1	754,787		g	f	e	d			
7	1	800,840		g	f	e	d			
6	3	901,689		g	f	e	d	c		
5	1	965,373		g	f	e	d	c	b	
4	3	994,196			f	e	d	c	b	
5	2	1034,253			f	e	d	c	b	
3	2	1038,671			f	e	d	c	b	
1	1	1040,667			f	e	d	c	b	
1	2	1050,716			f	e	d	c	b	
2	3	1113,609				e	d	c	b	
1	3	1137,858				e	d	c	b	
3	1	1178,507					d	c	b	
3	3	1368,978						c	b	a
7	3	1464,293							b	a
5	3	1746,684								a

Test de Newman-Keuls de parties végétales \* traitement

Traitements	Parties Végétales	SS	1	2	3	4
3	2	494,581	d			
2	1	698,488	d	c		
1	1	750,240		c	b	
1	2	862,202		c	b	
2	2	948,846		c	b	
1	3	955,962		c	b	
3	1	1009,783			b	
2	3	1288,446				a
3	3	1495,867				a



Test de Newman-Keuls de génotype \* parties végétale \* traitement

genotypes	Traitements	Parties Végétales	SS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	2	1	109,720	k										
3	1	1	225,200	k	j									
4	1	1	232,160	k	j									
4	2	1	237,520	k	j									
5	3	2	252,040	k	j									
7	3	2	265,280	k	j	i								
4	3	1	273,560	k	j	i								
2	2	2	347,600	k	j	i	h							
6	3	1	359,640	k	j	i	h							
4	2	2	386,280	k	j	i	h							
3	3	2	392,600	k	j	i	h							
4	3	2	448,720	k	j	i	h	g						
6	3	2	476,680	k	j	i	h	g	f					
5	2	1	484,120	k	j	i	h	g	f					
4	1	2	547,400	k	j	i	h	g	f					
2	3	1	548,400	k	j	i	h	g	f					
6	2	2	565,240	k	j	i	h	g	f					
7	2	2	568,120	k	j	i	h	g	f					
7	1	1	571,640	k	j	i	h	g	f					
7	2	1	593,080	k	j	i	h	g	f	e				
4	1	3	613,120	k	j	i	h	g	f	e				
1	1	2	617,280	k	j	i	h	g	f	e				
2	1	1	627,360	k	j	i	h	g	f	e				
6	2	3	651,893	k	j	i	h	g	f	e				
1	1	3	665,093	k	j	i	h	g	f	e				
2	3	2	668,800	k	j	i	h	g	f	e				
2	1	3	709,467	k	j	i	h	g	f	e				
1	1	1	710,080	k	j	i	h	g	f	e				
7	1	2	717,080	k	j	i	h	g	f	e				
2	1	2	783,440	k	j	i	h	g	f	e	d			
7	1	3	847,840	k	j	i	h	g	f	e	d	c		
1	2	3	847,947	k	j	i	h	g	f	e	d	c		
3	1	2	921,733	k	j	i	h	g	f	e	d	c	b	
6	3	3	944,960	k	j	i	h	g	f	e	d	c	b	
1	3	2	957,947	k	j	i	h	g	f	e	d	c	b	
6	1	2	993,840	k	j	i	h	g	f	e	d	c	b	
1	2	1	1020,560	k	j	i	h	g	f	e	d	c	b	a
2	2	1	1070,053	k	j	i	h	g	f	e	d	c	b	a
4	2	3	1088,027	k	j	i	h	g	f	e	d	c	b	a
5	1	1	1090,240	k	j	i	h	g	f	e	d	c	b	a
6	1	3	1108,213	k	j	i	h	g	f	e	d	c	b	a

3	3	3	1219,733	j	i	h	g	f	e	d	c	b	a
3	1	3	1223,280	j	i	h	g	f	e	d	c	b	a
7	3	1	1237,800	j	i	h	g	f	e	d	c	b	a
4	3	3	1281,440	j	i	h	g	f	e	d	c	b	a
2	3	3	1307,920	j	i	h	g	f	e	d	c	b	a
5	3	1	1321,760	j	i	h	g	f	e	d	c	b	a
2	2	3	1323,440	j	i	h	g	f	e	d	c	b	a
3	2	1	1374,360		i	h	g	f	e	d	c	b	a
1	3	1	1391,360			h	g	f	e	d	c	b	a
5	2	2	1396,080			h	g	f	e	d	c	b	a
5	1	2	1454,640			h	g	f	e	d	c	b	a
7	2	3	1501,413				g	f	e	d	c	b	a
5	1	3	1524,720				g	f	e	d	c	b	a
1	2	2	1576,920					f	e	d	c	b	a
3	2	3	1663,920						e	d	c	b	a
5	3	3	1772,853							d	c	b	a
6	1	1	1795,000							d	c	b	a
3	2	2	1801,680							d	c	b	a
1	3	3	1900,533								c	b	a
3	3	1	1935,960									b	a
5	2	3	1942,480									b	a
7	3	3	2043,627										a