

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ibn Khaldoun –Tiaret-
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de la Nature et de la Vie



Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine: "Sciences de la Nature et de la Vie"

Filière: "Biologie"

Spécialité: " Amélioration des plantes "

Présenté et soutenu publiquement par

BOUZID Assia

MOULAYAT Lalia

THÈME

**Effet du déficit hydrique sur le remplissage du grain chez
le blé dur (*Triticum Durum* Desf.).**

JURY:

President: Mr SAHNOUNE M.

Professeur, Faculté SNV Tiaret

Promoteur : Mr ADDA A.

Professeur, Faculté SNV Tiaret

Examineur : Mr DELLAL A.

Professeur, Faculté SNV Tiaret

Promotion 2014/2015



Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à la source de tendresse et de bonheur, A ceux qui ont consacré toute leur vie pour moi, Mes très chers parents : **ABED ET KHAIRA** ,
Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.*

*A mon très cher professeur : **Mr ADDA Ahmed**, Un remerciement particulier et sincère pour tous l'importance que vous m'avais accordé, puisse dieu, le tout puissant te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.*

À mes frères :Amine, Aziz et Nasreddin, et mes chers sœurs : Fatima, Wahiba et Assmaa et à toute la famille.

*A mes amies, Yassia, Radia, Nadia, Leila, Assmaa, Aliya , Amina, Waffa,
et ma chère fatima.*

A ma chère mami Fatiha TAHIR merci.

A tous mes collègues de la promotion " Amélioration Des Plantes 2015"

Très honnêtement c'était une belle aventure, aussi bien sur le plan humain que sur le plan professionnel et si c'était à refaire (je crois) je le fera à nouveau

Assia



Dédicace

Je tiens à dédier ce modeste travail à :

A mon cher père AISSA, qui m'a appris à ne pas me contenter du minimum mais à viser l'excellence.

A ma très chère mère, qui était toujours à mon côté, par sa patience et son soutien tout au long de mes études, sans toi ce mémoire n'aurait jamais vu le jour...

A mon très cher professeur : Mr ADDA Ahmed,

Un remerciement particulier et sincère pour tous l'importance que vous m'avais accordé, puisse dieu, le tout puissant te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

A mes frères : Mohamed et sa femme et ses enfants Aymen et Lejayn, Ahmed, Ibrahim et sa femme et son enfant Amine, Yousef, Bilal.

À ma très chère sœur : Rihab

A mon très chère oncles : Naceur

A ma tante : Fatiha

A mes chères amies : Fatima.z, Halima, Assia, Karima Kawter

A la famille : MOULAYAT. et la famille : BELKHADEM

A mes neveux et mes nièces chacun par son nom A mes amis, à la promotion de Master 2 Amélioration des plantes 2014-2015

A tous ceux que j'aime



L'alia

Remerciement

Tous d'abord nous tenons à remercier DIEU, pour nous avoirs donné de la force à accomplir ce travail.

*Ce mémoire est consacré à l'étude de l'effet de déficit hydrique sur le remplissage du grain chez le blé dur (*Triticum Durum* Desf.). A ce titre, nous tenons à remercier l'ensemble des personnes ayant contribué à ces travaux :*

*Nous tenons à remercier très chaleureusement notre encadreur **Dr. ADDA Ahmed** pour sa sympathie, sa disponibilité d'être toujours accueillant à notre égard et de nous avoir fait bénéficier de ses grands compétences scientifiques et intellectuelles, ses orientations, ses conseils, ses remarques pertinentes et surtout son aide pendant tout cette année et tout au long de la réalisation de ce travail.*

MERCI MONSIEUR

*Nous remercions **Mr AROUS Ali** pour sa participation dans la réalisation de ce travail.*

On exprime nos remerciements aux honorables membres de jury :

*Au président du jury Monsieur **SAHNOUNE Mohamed**, qui nous a fait l'honneur de présider le jury de notre mémoire.*

*A l'examineur monsieur **DELLAL Abdelkader** de nous avoir honorée en acceptant de juger ce modeste travail.*

*Nous remercions beaucoup les membres de laboratoire du Biotechnologie et Physiologie végétale en particulier Mme **MOKHEFI F.***

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont du pré ou du loin contribué à la réalisation de ce travail. On présent notre remerciements et notre gratitude.

نقص الماء من العوامل الخارجية التي تحد بدرجة كبيرة من انتاج القمح الصلب. العمل الحالي هو تقييم مساهمة نشاط كل عضو من نبات القمح في تعبئة الحبوب. من خلال النتائج وجدنا أن أهمية مساهمة كل هذه الاعضاء مرتبط بطبيعة النمط الجيني وكمية الماء المتوفرة في التربة. وأظهرت النتائج أن مكونات السنبله و عنق السنبله ساهمت بشكل كبير في امتلاء الحبوب . كما انه في حالة وجود الماء تعتمد النبتة على عملية التركيب الضوئي في اعمار الحبوب لكن في حالة نقص الماء فان هذه الاخيرة تعوض النقص بكمية المادة المخزنة في الاعضاء الاخرى.

كلمات مفتاحية : امتلاء الحب ,القمح الصلب , نقص الماء , الاعضاء النباتية .

Résumé

Dans les régions des hauts plateaux Algériens, le déficit hydrique est considéré comme l'un des principaux stress abiotiques qui limitent grandement la productivité de blé dur. Le travail présent consiste à évaluer la contribution de l'activité de chaque organe végétatif (le col de l'épi, la barbe, les enveloppes de la graine, la dernière feuille) dans le remplissage du grain chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). À travers les résultats obtenus, nous avons constaté que l'importance de la contribution de chacun des organes de la plante reste liée à la nature du génotype et le niveau d'alimentation hydriques des plantes,

Les résultats obtenus montrent que les constituants de l'épi et le col de l'épi contribues le plus dans le remplissage, et dans les conditions d'alimentation hydrique optimales ce dernier est basé essentiellement sur la photosynthèse courante des organes impliqués pendant cette phase. Tandis qu'en conditions de déficit hydrique, c'est le mécanisme de la translocation des réserves qui est majoritairement responsable de remplissage du grain chez le blé dur.

Mots clés : Remplissage , le déficit hydrique, blé dur, organes végétatifs

Abstract

In the areas of the Algerian high plateaus, the water deficit is regarded as one of the principal abiotic stresses which largely limit the productivity of durum wheat.

The Present work consists in evaluating the contribution of the activity of each vegetative body (the collar of ear, the beard, envelopes of seed, the last sheet) in grain filling of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). Through the got results, we noted that the importance of the contribution of each body of the plant remains related to the nature of the genotype and the water level in the plants, also, the components of ear and the collar of ear contribute more in the filling, and under the optimum conditions of life this last is based primarily on the current photosynthesis of the bodies implied during this phase. While in conditions of water deficit, it is the mechanism of the translocation of the reserves which is mainly responsible for grain filling at durum wheat.

Keywords: Grain Filling , Water Deficit, Wheat ,Vegetative Body

Sommaire

| | |
|--|------|
| ملخص..... | I |
| Résumé | II |
| Abstract | III |
| Sommaire | IV |
| Liste des figures | VIII |
| Liste des photos | IX |
| Liste des tableaux | X |
| Liste des abréviations | XII |
| Introduction générale..... | 2 |
| I. Généralité sur le blé dur (<i>Triticum Durum</i> Desf.)..... | 3 |
| I.1 L'origine génétique et évolution de blé dur | 3 |
| 2. Caractéristiques morphologiques du blé dur | 3 |
| III. Le grain de blé et le remplissage | 4 |
| 1. Le grain de blé..... | 4 |
| 2. Les stades de formation de la graine | 4 |
| 2.1 Stade grain laiteux | 4 |
| 2.2 Stade grain pâteux | 5 |
| 2.3 Stade maturité physiologique | 5 |
| 3. Les principaux constituants du grain de blé | 5 |
| 3.1 L'amidon | 5 |
| 3.1.1. Les composantes de l'amidon | 6 |
| 3.1.1.1 L'amylose..... | 6 |
| 3.1.1.2 L'amylopectine..... | 6 |
| 3.1.2. Biosynthèse de l'amidon | 6 |

| | |
|---|----|
| 3.1.3. Les enzymes intervenant dans la biosynthèse de l'amidon..... | 7 |
| 3.2 Les protéines du grain de blé..... | 8 |
| 3.2.1 Les types de protéines du blé | 8 |
| 3.2.1.1 Les protéines de structure et de fonction..... | 9 |
| 3.2.1.2 Les protéines de réserves..... | 9 |
| 4. Le remplissage du grain | 10 |
| 4.1 La photosynthèse courante | 10 |
| 4.2 La remobilisation des réserves | 10 |
| 5. Le rendement en grain et le remplissage | 10 |
| 6. La contribution des différents organes dans le processus de remplissage du grain | 11 |
| 6.1. La partie située au-dessus du dernier nœud | 11 |
| 6.1.1. L'épi | 11 |
| 6.1.2. Les barbes..... | 11 |
| 6.1.3. Le col d'épi..... | 12 |
| 6.1.4. La dernière feuille | 12 |
| 6.2. Le système foliaire | 12 |
| 6.3. La paille..... | 12 |
| IV. Le stress hydrique | 13 |
| 1. Notion de stress hydrique et sécheresse | 13 |
| 2. L'effet de stress hydrique sur le remplissage de grain de blé | 13 |
| 3. Stratégies d'adaptation de la plante au stress hydrique | 14 |
| 1. L'esquive..... | 14 |
| 2. L'évitement de la déshydratation | 14 |
| 3. La tolérance à la déshydratation..... | 14 |
| 1.1 L'objectif de l'expérimentation..... | 15 |
| 1.2 Matériel végétale utilisé | 15 |

| | |
|---|----|
| 1.3 Conditions de conduite de l'essai..... | 15 |
| 1.3.1 Conduite de la première expérimentation (essai n°1) | 15 |
| 1.3.1.1 Le Protocol expérimental adopté pour l'évaluation de la contribution des organes dans le remplissage | 16 |
| 1.3.1.2 Les opérations culturales :..... | 18 |
| 1.3.1.5 Mesures effectuées et méthodes appliquées | 19 |
| a. Paramètres morphologiques | 19 |
| b. Les paramètres anatomiques | 20 |
| 1.3.2 Conduite de la deuxième expérimentation (essai n°02)..... | 21 |
| 1.3.2.1 Le Protocol d'évaluation de la contribution des différents organes dans la cinétique de remplissage du grain..... | 21 |
| 1.3.2.2 Les opérations culturales | 22 |
| 1.3.2.5 Les paramètres mesurés | 23 |
| 1. La cinétique de remplissage | 23 |
| 1.4 Analyse statistique..... | 23 |
| III. 1. Résultats de l'expérimentation n°01 | 24 |
| 1.1 Caractérisation du matériel végétal utilisé | 24 |
| 1.1.1 Les paramètres morphologiques de la tige | 24 |
| 1.1.2 Les paramètres morphologiques de la dernière feuille..... | 26 |
| 1.1.3 Les paramètres morphologiques de l'épi | 28 |
| 1.1.4 Les composants de rendement..... | 29 |
| 1.1.5 Le poids de mille grains | 30 |
| 1.2 Les paramètres anatomiques | 38 |
| III.2. Résultats de l'expérimentation n°02 | 43 |
| 2.1 La cinétique de remplissage du grain | 43 |
| 2.2 La cinétique de l'évolution du diamètre du grain | 46 |

| | |
|------------------------------------|----|
| IV. Discussion des résultats | 49 |
| Conclusion générale | 54 |
| Références Bibliographiques..... | 56 |

Liste des figures

Figure01: Evolution et origine des blés tétraploïdes et hexaploïdes (MESTIRI *et al.*,2010).....**03**

Figure02: Anatomie schématique du grain de blé et proportion relative des principaux tissus de grain (BARRON *et al.*, 2012).....**04**

Figure03: Principaux stades et caractéristiques de la période du remplissage du grain des céréales (GATE,1995).....**05**

Figure04: Structure des molécules d’amylose et d’amylopectine (DEBITON, 2011)**06**

Figure05: Voies de synthèse de l’amidon (FEILLET, 2000).....**08**

Figure06: Protocole expérimentale pour évaluer la contribution des différents organes dans le processus de remplissage du grain chez le blé dur.**17**

Figure07: Le dispositif expérimental (sans et avec déficit hydrique).....**18**

Figure08: Schéma du dispositif expérimental de deuxième expérimentation.....**22**

Figure09: Influence des différents organes de la plante dans l’élaboration du PMG sous les deux situations hydriques (SDH, ADH) chez le génotype Waha.....**33**

Figure10: Influence des différents organes de la plante dans l’élaboration du PMG sous les deux situations hydriques (SDH, ADH), le génotype ACSAD 1361 **34**

Figure11: Influence des différents organes de la plante dans l’élaboration du PMG sous les deux situations hydriques (SDH, ADH), la variété Mexicali75.....**36**

Figure13: Influence des différents organes de la plante dans l’élaboration du PMG sous les deux situations hydriques (SDH, ADH), la variété Langlois.....**39**

Figure14: L’importance du parenchyme de réserves du génotype Oued Zenati (SDH et ADH).....**40**

Figure15: L’importance de l’écorce primaire du col de l’épi **42**

Figure16: Le diamètre des cellules parenchymateuses de génotype Oued Zenti.....**43**

Figure17: Evolution relative moyenne de la matière sèche des grains en fonction du temps au niveau du lot témoin (100%CC).....

| | |
|---|----|
| Figure19: Evolution relative moyenne de la matière sèche des grains en fonction du temps au niveau du lot conduit à 30%CC..... | 46 |
| Figure 20 : Evolution relative moyenne du diamètre des grains en fonction du temps au niveau du lot témoin (100%CC)..... | 48 |
| Figure 21: Evolution relative moyenne du diamètre des grains en fonction du temps au niveau du lot conduit à 60%CC..... | 46 |
| Figure 22: Evolution relative moyenne du diamètre des grains en fonction du temps au niveau du lot conduit à 30%CC..... | 49 |

Liste des photos

| | |
|--|----|
| Photo 01: Le dispositif expérimental de l'essai n°01 au cours de l'application de dispositif..... | 19 |
| Photo 02: Le dispositif expérimental de l'essai n°02 au stade fin montaison | 22 |

Liste des tableaux

| | |
|---|-----------|
| Tableau 01 : les caractéristiques des génotypes utilisés..... | 15 |
| Tableau 02 : Les opérations culturales de la première expérimentation | 18 |
| Tableau 03 : Les opérations culturales de la deuxième expérimentation..... | 21 |
| Tableau 04 : Analyse de la variance des paramètres morphologiques de la tige..... | 26 |
| Tableau 05 : Les résultats moyens obtenus des paramètres morphologiques de la tige | 27 |
| Tableau 06 : Les relations entre les paramètres morphologiques de la tige et les variations génotypiques..... | 27 |
| Tableau 07 : Analyse de la variance des paramètres morphologiques de la dernière feuille... | 28 |
| Tableau 08 : Les résultats moyens obtenus des paramètres morphologiques de la dernière feuille..... | 28 |
| Tableau 09 : Les relations entre les paramètres morphologiques de la dernière feuille et l'effet génotypiques..... | 28 |
| Tableau 10 : Analyse de la variance des paramètres morphologiques de l'épi | 29 |
| Tableau 11 : Les résultats moyens obtenus des paramètres morphologiques de l'épi..... | 30 |
| Tableau 12 : Analyse de la variance des paramètres morphologiques..... | 30 |
| Tableau 13 : Les résultats moyens obtenus des composants de rendements | 31 |
| Tableau 14 : Effets de la nature du génotype, de la situation hydrique et la nature des organes sur l'élaboration du poids de mille grains..... | 31 |
| Tableau 15 : Taux de contribution des différents organes dans le remplissage du grain chez la variété Waha, sous les deux régimes hydriques ADH et SDH..... | 33 |
| Tableau 16 : Taux de contribution des différents organes dans le remplissage du grain chez le génotype ACSAD 1361, sous les deux régimes hydriques ADH et SDH..... | 35 |
| Tableau 17 : Taux de contribution des différents organes dans le remplissage du grain chez la variété Mexicali 75, sous les deux régimes hydriques ADH et SDH..... | 36 |
| Tableau 18 : Taux de contribution des différents organes dans le remplissage du grain chez la | |

| | |
|--|----|
| variété Oued Zenati, sous les deux régimes hydriques ADH et SDH..... | 37 |
| Tableau 19: Taux de contribution des différents organes dans le remplissage du grain chez la variété Langlois, sous les deux régimes hydriques ADH et SDH..... | 39 |
| Tableau 20: Analyse de la variance de la longueur de parenchyme de réserve de col de l'épi..... | 41 |
| Tableau 21: Les résultats moyens de la longueur de parenchyme de réserve de col de l'épi..... | 41 |
| Tableau 23: Analyse de la variance de l'importance de l'écorce primaire..... | 42 |
| Tableau 24: Les résultats moyens de la longueur de parenchyme externe de col de l'épi..... | 42 |
| Tableau 25: Analyse de la variance de l'importance de l'écorce primaire..... | 43 |
| Tableau 26: Les résultats moyens de la longueur de parenchyme externe de col de l'épi..... | 43 |
| Tableau 27 : Les corrélations entres les paramètres anatomiques du col de l'épi et le poids de mille grains des génotypes testés dans la 1 ^{er} expérimentation..... | 66 |
| Tableau 28 : Les corrélations entres les paramètres morphologiques des génotypes testés et le poids de mille grains dans la 1 ^{er} expérimentation..... | 67 |

Liste des abréviations

| | |
|----------------|---|
| ACSAD: | Arab Center For The Studies Of Arid Zones And Dry Lands |
| ADH: | Avec Déficit Hydrique |
| CC: | Capacité Au Champ |
| ER: | Evolution Relative |
| ICARDA: | International Center For Agricultural Reaserch In The Dry Areas |
| Kda: | Kilo Dalton |
| PF: | Poids Frais |
| PMG: | Poids De Mille Grains |
| SDH: | Sans Déficit Hydrique |

Introduction générale

Introduction générale

Le blé et particulièrement le blé dur constitue l'une des principales cultures céréalières en Algérie. Ces propos se justifient par les superficies réservées, chaque campagne agricole et qui représentent environ 40% de la superficie agricole utile disponible en Algérie. L'importance réservée à cette culture se justifie par sa large utilisation dans l'alimentation de la population locale. Ainsi, les produits fournis par cette espèce et issus de différents procédés de la transformation, constituent un élément-clé dans le modèle de consommation dominant de la population Algérienne. Néanmoins, la production fournie par les emblavements de cette espèce, demeure faible pour satisfaire les besoins exprimés et qui progressent annuellement (**CHENNAFI *et al*, 2010**). De ce fait, notre pays se considère comme l'un des principales nations importatrices des produits du blé dur, dans le monde (**BENBELKACEM *et al*, 2000**).

Les faibles productions enregistrées s'expriment grandement à travers les rendements faibles et irréguliers qui s'enregistrent au fil des années agricoles et qui sont de l'ordre de 11Qx/ha (campagne 2000) à 18 Qx/ha (campagne 2013) (**OAIC, 2013 in BELMOUAZ, 2014**).

Dans notre pays, la culture du blé dur s'heurte à de nombreuses entraves, dont celles d'ordre climatique en prennent la part importante (**HAZMOUNE *et al*, 2000**). Effectivement, les stress climatiques constituent les principales variables conditionnant grandement l'expression des potentialités productives de l'espèce. La sécheresse par les variations des intensités et les époques de sa déclaration, constitue le principal facteur climatique dont les effets s'avèrent les plus préjudiciables (**ADDA *et al*, 2013**), limitant ainsi fortement l'élaboration du rendement chez cette espèce (**ERCOLI *et al*, 2008**). La pérennité de déclaration de ce stress s'impose à travers les cycles agricoles, du fait que la localisation des aires céréalières dans notre pays est majoritairement déclarée dans les plaines intérieures et les hauts plateaux, considérés comme des zones semi-arides (**LABDELLI *et al*, 2013**).

Toute tentative d'amélioration des niveaux des rendements chez cette espèce repose sur la qualité des solutions apportées à ce stress environnemental. L'application de l'irrigation d'appoint demeure une pratique difficilement accessible par les exploitations agricoles, où les ressources hydriques se raréfient de plus en plus.

Une seconde alternative basée sur la conduite d'un matériel végétal tolérant au déficit hydrique, s'avère la plus efficace. Cependant, la création de tel matériel repose inévitablement sur l'étude des mécanismes impliqués dans cette tolérance et la détermination des critères les conditionnant.

Le poids et la qualité du grain, constituent les caractéristiques de référence d'évaluation du rendement (**GATE, 1995**) et par conséquent la productivité chez les différentes espèces céréalières. La formation du grain chez le blé dur repose sur la qualité des implications des différents organes de la plante au cours de ce processus.

Le processus de remplissage du grain chez le blé dur est assuré conjointement par une translocation des réserves emmagasinées au niveau des différentes parties de la plante et une élaboration courante des photoassimilats par les différents organes (**BLUM *et al.*, 1991**) et principalement, ceux situés au-dessus du dernier nœud. Il faut noter dans ce contexte que la migration des réserves repose sur un flux de la sève, où l'eau en constitue l'élément dynamique de ce transfert. L'activité photosynthétique courante représente la plus importante contribution dans l'élaboration du grain, sauf qu'elle se trouve conditionnée par la longévité des différents organes impliqués. Une déclaration tardive du déficit hydrique au cours de la formation du grain constitue un élément déterminant qui conditionne la longévité de ces organes et la qualité de leur contribution dans ce processus (**SLAMA *et al.*, 2005**). Cependant, les contributions de ces organes et les effets du déficit hydrique sur ces dernières restent liées à la nature de chacun de ces organes.

Le travail initié dans cette recherche tente d'élucider l'implication des différents organes de la plante dans le processus de remplissage du grain, sous différents régimes hydriques. Pour atteindre cet objectif, des génotypes différents par leurs origines, leurs fonctionnements et leurs comportements vis-à-vis de la sécheresse, sont utilisés. Afin d'évaluer l'impact du déficit hydrique sur l'activité des différents organes impliqués dans le processus de remplissage, différents régimes hydriques sont utilisés à travers les expérimentations conduites. Le travail réalisé est présenté dans ce mémoire selon trois parties. Dans une première est présentée une étude bibliographique se rapportant au sujet traité. Dans la seconde partie sont présentées les démarches et les méthodes utilisées. Enfin, les résultats obtenus ainsi que leurs discussions sont présentés dans une troisième et dernière partie.

Chapitre I :

Recherche bibliographique

I. Généralité sur le blé dur (*Triticum Durum* Desf.)

I.1 L'origine génétique et évolution de blé dur

Les espèces de blé (genres *Triticum* et *Aegilops*) ont été particulièrement évoluées suite à des allopolyploïdisations (MESTIRI *et al.*, 2010 ; FELDMAN *et al.*, 2005).

La première allopolyploïdisation a conduit à la formation de blé dur allotétraploïde *Triticum Turgidum* ($2n = 4x = 28$, AABB) suite à des croisements entre l'espèce diploïde *Triticum Urartu* ($2n = 2x = 14$ AA) et une espèce d'*Aegilops* de la section SITOPSIS donneur de génome B (MESTIRI *et al.*, 2010; JAHIER *et al.*, 2006).

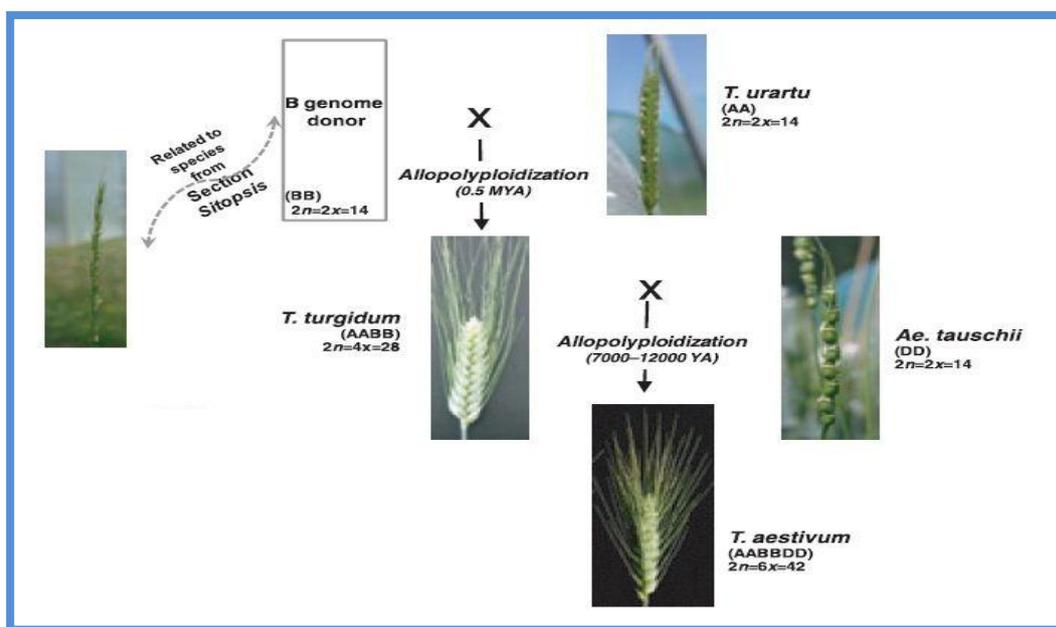


Figure 01 : Evolution et origine des blés tétraploïdes et hexaploïdes (MESTIRI *et al.*, 2010)

2. Caractéristiques morphologiques du blé dur

Le blé dur (*triticum turgidum* ssp. *durum*) est une plante appartenant au genre *Triticum* et espèce *durum* (Desfontaines), de la famille des Poacées ou Graminées (SURGO et BARRON., 2005). Il s'agit d'une plante monocotylédone herbacée annuelle, à tallage faible, à chaume long et souple, l'épi est à rachis solide, à glumes carénées jusqu'à leur base, à glumelles inférieures terminées par une longue barbe, c'est une plante autogame et cléistogame (NAVILLE *et al.*, 2005), et elle présente un feuillage clair, totalement glabre (SIMON, 1989).

III. Le grain de blé et le remplissage

1. Le grain de blé

Le grain de blé est un fruit sec indéhiscent (caryopse), constitué d'une unique graine intimement soudée à l'enveloppe qui la contient (**SRAMKOVA et al., 2009**). De la surface externe vers le centre du grain, on distingue l'enveloppe du fruit ou péricarpe, puis l'enveloppe de la graine, ou testa, et enfin à l'intérieur de la graine, l'épiderme du nucelle, l'albumen et le germe. Chacun de ces tissus possède une structure et une composition particulière (**BARRON et al., 2012 ; SRAMKOVA et al., 2009**).

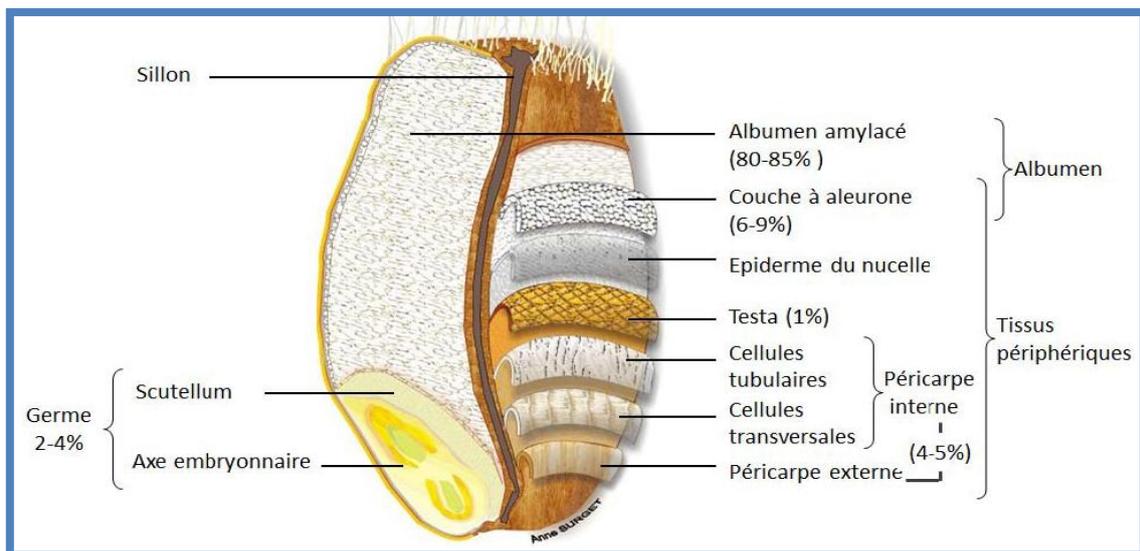


Figure 02 : Anatomie schématique du grain de blé et proportion relative des principaux tissus de grain (**BARRON et al., 2012**)

Selon **BRANLARD et al. (2012)**, les trois parties principales du grain de blé, albumen, enveloppes et germe, représentent respectivement environ 80%, 12% et 2.5% du poids du grain.

2. Les stades de formation de la graine

2.1 Stade grain laiteux

Ce stade débute par la floraison, les enveloppes se mettent en place et les graines atteignent leurs tailles maximums (**GATE, 1995**), c'est le stade de la multiplication intense des cellules (Figure 03) du jeune grain vert (**MEGHREBI et al., 2013**).

2.2 Stade grain pâteux

Il se démarque par l'expansion des cellules des enveloppes et leurs remplissages d'une manière dominante par des assimilats essentiellement, l'amidon (GATE, 1995). À ce stade, le poids de la matière sèche atteint progressivement son maximum (45% d'humidité) (SIMON, 1989).

2.3 Stade maturité physiologique

Ce stade est déterminé par l'arrêt de la migration de la matière sèche vers le grain, et une chute de la teneur en eau du grain (15 à 16% d'humidité) qui devienne dur et de couleur jaunâtre, et donc le poids sec atteint sa valeur maximale (GATE, 1995).

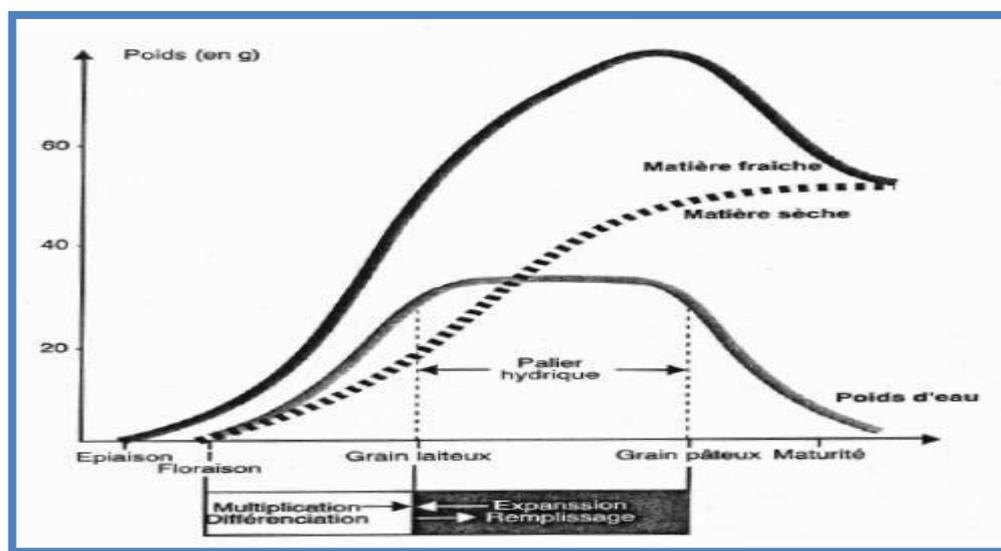


Figure 03 : Principaux stades et caractéristiques de la période du remplissage du grain des céréales (GATE, 1995)

3. Les principaux constituants du grain de blé

3.1 L'amidon

D'après SURGET *et al.*, (2005), l'albumen est le principal constituant de l'albumen des grains des céréales. Chez le blé, il présente une distribution bimodale avec des gros grains (15 à 35 μ m de diamètre) et des grains plus petits (environ 10 μ m de diamètre) (SAULNIER, 2012). Ce polysaccharide de réserve est un mélange de deux polymères de D-glucopyranose qui s'organisent en grains semi- cristallins (BATTAIS *et al.*, 2007 ; FEILLET, 2000).

3.1.1. Les composantes de l'amidon

L'amidon est un mélange de deux polymères de D-glucopyranose, l'amylose et l'amylopectine (Figure04), qui se diffèrent entre elles par le degré de polymérisation et le nombre de ramification (SESTILI *et al.*, 2010).

3.1.1.1 L'amylose

L'amylose est un long polymère linéaire d'unité de D-glucose avec des liaisons de type α -(1-4) (SAULNIER, 2012), qui peut aussi posséder quelques ramifications avec des liaisons α -(1,6) (25-55% des molécules d'amylose) (DEBITON, 2011), dont le degré de polymérisation est inférieur à 10^4 unités (SESTILI *et al.*, 2010).

3.1.1.2 L'amylopectine

L'amylopectine est le polymère hautement ramifié de l'amidon, il est représenté par une structure branchée avec des liaisons α -(1-4) et 5 à 6% de liaisons α -(1-6) qui est à l'origine des ramifications (SAULNIER, 2012). Selon SESTILI *et al.* (2010), le degré de polymérisation des amylopectine est environ 10^5 - 10^6 unités.

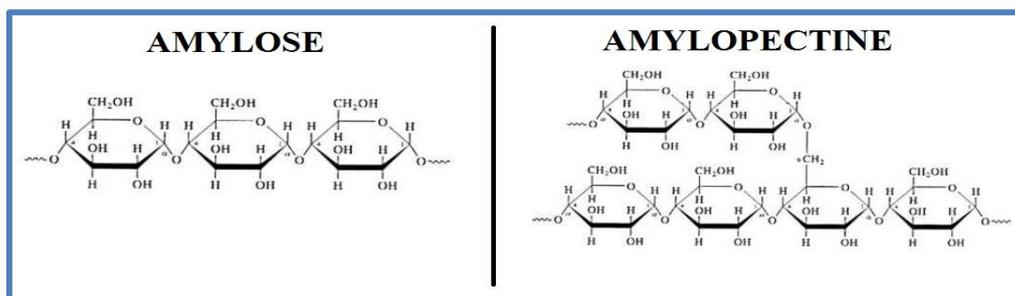


Figure 04 : Structure des molécules d'amylose et d'amylopectine (DEBITON, 2011)

3.1.2. Biosynthèse de l'amidon

Au cours de la maturation des graines, l'amidon s'accumule dans les amyloplastes et forme une source énergétique principale en début de la germination (SISTILI *et al.*, 2010).

La synthèse de l'amidon représente un processus complexe dont la principale matière première est le glucose-6-phosphate (Glc-6P) synthétisé lors de la réaction claire de la photosynthèse et transformé après pour donner une molécule d'ADP-glucose (FARINEAU, 2006). Cet ADP-glucose est additionné à l'extrémité non réductrice d'un α -(1-4) D-glucane pour donner l'amylose (chaîne linéaire). La transformation de cette chaîne en une chaîne branchée (l'amylopectine) qui se réalise par la rupture de liaison α -(1-4) et synthèse de

liaisons α -(1-6) donne à sa fin l'amidon. Cette synthèse se fait en quatre étapes à partir du glucose disponible, initiation, élongation, branchement et formation des granules. L'amylose et l'amylopectine sont synthétisées simultanément (**FEILLET, 2000 ; SISTILI et al., 2010**).

3.1.3. Les enzymes intervenant dans la biosynthèse de l'amidon

3.1.3.1. L'ADP-glucose pyrophosphorylase

L'ADP-glucose pyrophosphorylase (AGPase) est une molécule hétérotétramérique, constituée de deux petites sous unités de 52kDa et de deux grosses sous unités de 53kDa (**DEBITON, 2011**). Il catalyse la transformation du glucose-1-P et de l'ATP en ADP-glucose et en phosphate inorganique (Pi), L'ADP-glucose ainsi formé est utilisé pour la synthèse de l'amidon (**FEILLET, 2000**).

3.1.3.2. Les starchsynthases

Les "starchsynthases" peuvent être divisées en deux groupes: les "starchsynthases" solubles (SSS) et les "starchsynthases" liées aux granules d'amidon (granule bound starchsynthases, GBSS). Les SSS sont principalement responsables de l'élongation de l'amylopectine tandis que les GBSS allongent les molécules d'amylose (**DEBITON, 2011**).

3.1.3.3. Les enzymes de branchement

Après l'élongation de la chaîne de glucose par les "starchsynthases", les enzymes de branchement (SBE, StarchBranching Enzymes) catalysent l'hydrolyse d'une liaison α -1,4 et le transfert d'une unité C₆-glucosyl sur cette fin réductrice par l'intermédiaire d'une liaison α -1,6 (**DEBITON, 2011**). Ces enzymes (SBEI, SBEIIa and SBEIIb) sont indispensables à la synthèse de l'amylopectine (**FEILLET, 2000**).

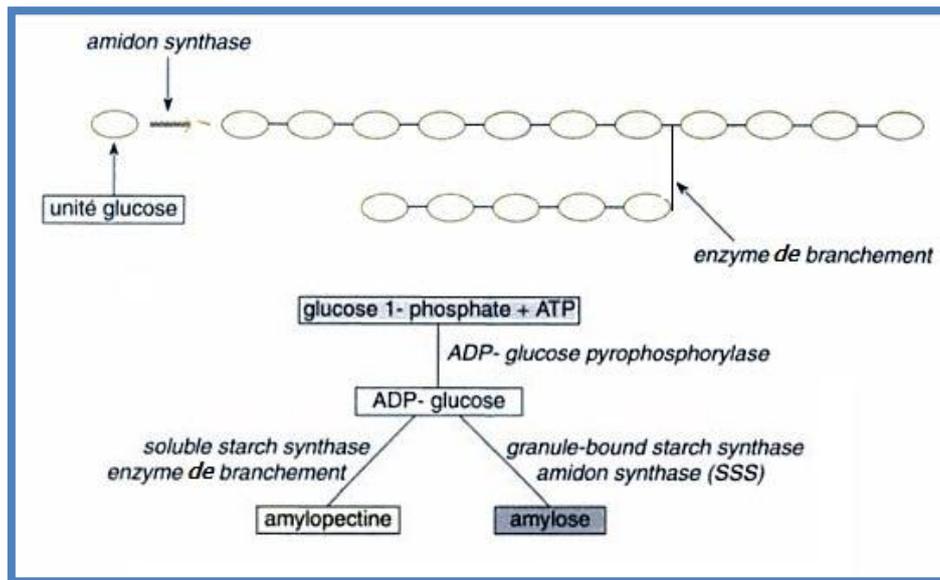


Figure 05 : Voies de synthèse de l'amidon (FEILLET, 2000)

3.2 Les protéines du grain de blé

Le grain de blé contient entre 10 et 15% de protéines selon la variété. Plusieurs auteurs (BATTAIS *et al.*, 2007 ; SAULNIER, 2012 et AYAD *et al.*, 2010) ont adopté la classification des protéines par OSBORNE selon leur solubilité et définir quatre groupes :

- les albumens solubles dans l'eau,
- les globulines solubles dans les solutions salines,
- les gliadines solubles dans une solution eau/éthanol,
- les gluténines partiellement solubles dans les solutions diluées d'acide et dans certains détergents ou dissociant.

Selon la qualité et la quantité des protéines essentiellement le gluténine, les variétés de blé sont groupés dans différents classes (AYAD *et al.*, 2010).

3.2.1 Les types de protéines du blé

Selon BATTAIS *et al.* (2007) et SAULNIER *et al.* (2012), Le grain de blé est constitué par deux types de protéines, les protéines de structures et de fonction représentant environ 20% des protéines totales et constitués des albumens et globulines et les protéines de réserves (prolamines ou gluten) qui représentent environ 80%.

3.2.1.1 Les protéines de structure et de fonction

a. Albumines et globulines

Dans le blé, les albumines et les globulines sont les protéines les plus petites, ils sont concentrés dans les enveloppes, les cellules d'aleurone et le germe et avec des concentrations inférieures dans l'endosperme (SRAMKOVA *et al.*, 2009).

3.2.1.2 Les protéines de réserves

1. Prolamines :

Selon BATAIS *et al.* (2007), D'OVIDIO *et al.* (1991), et SAULNIER *et al.* (2012); ces protéines sont caractérisées par une composition riche en proline et glutamine et constituées par environ 50% de gliadines (monomériques) et 50% de gluténines (polymériques).

1.1 Les gliadines

Représentent 20-30% de la teneur en protéines totale du grain et consiste principalement en polypeptides à chaîne unique (FERRISE *et al.*, 2014). Elles sont subdivisées en quatre groupes selon leur mobilité électrophorétique à pH acide, les α -, β -, γ - et ω -gliadines (BATAIS *et al.*, 2007).

1.2 Les gluténines

Représentent environ 40% des protéines totales, selon leurs masses moléculaires, peuvent être divisées en deux sous-unités :

Les sous-unités de faibles poids moléculaire (FPM) et les sous-unités de haut poids moléculaire (HPM) (GREGOVA *et al.*, 2012).

- Les FPM représentent 60–80% des gluténines totales et ont une composition en acides aminés proche de celle des gliadines.

- Les séquences des HPM montrent un domaine répétitif très important. Elles sont les prolamines les mieux caractérisées car de nombreuses études ont établi des corrélations entre la présence de certaines HPM et la qualité boulangère des farines (BATAIS *et al.*, 2007).

4. Le remplissage du grain

L'amidon et les protéines de réserve du grain sont accumulés dans l'albumen constitué de la couche à aleurone périphérique et de cellules internes riches en amidon (BARRON *et al.*, 2012).

Au cours du déroulement de la phase de remplissage, la cinétique d'accumulation de la matière sèche du grain est assurée par deux sources principales d'assimilats, la photosynthèse courante et la remobilisation des réserves (BLUM *et al.*, 1991) :

4.1 La photosynthèse courante

L'essentiel du rendement en grains vient surtout de l'activité photosynthétique qui a lieu au cours du pré-anthèse (BAHLOULI *et al.*, 2008). Ce processus contribue d'une façon très importante dans le remplissage du grain. Selon BELKHARCHOUCHE *et al.*, (2009), Un feuillage plus dense d'où un poids spécifique foliaire élevé permettant la consistance de l'appareil photosynthétique, une grande fertilité des épis, un nombre d'épi par m² le plus élevé et un poids du grain élevé.

4.2 La remobilisation des réserves

Au cours de la période végétative, qui s'étale du semis à floraison, l'architecture de la plante de blé se met en place au niveau aérien (émission de phytomères successifs) et souterrain (croissance et développement du système racinaire). Cette phase du développement impacte fortement les performances en termes de rendement en grains et de teneur en protéines. En effet, c'est au cours de cette phase que sont mises en place les capacités de stockage et d'assimilation de l'azote et du carbone (BOUGARD, 2011). La translocation de ces assimilats participe efficacement au remplissage du grain et par conséquent à l'augmentation du poids moyen du grain (BELKHARCHOUCHE *et al.*, 2009).

L'importance relative de ces assimilats est dépendante de la quantité de matière sèche accumulée au stade épiaison qui détermine le potentiel des assimilats stockés et celui de sites à remplir (BAHLOULI *et al.*, 2008). Une vitesse ou une durée d'accumulation de la matière sèche élevée tout le long de la phase de remplissage du grain permet le transfert du maximum des assimilats stockés et produits (BELKHARCHOUCHE *et al.*, 2009).

5. Le rendement en grain et le remplissage

Le rendement en grains est l'un des principaux objectifs en sélection (FELLAH *et*

al., 2002). Pour le blé, le remplissage du grain contribue largement au rendement final en grain par son effet sur le poids de la graine (EL FAKHRI *et al.*, 2011).

Sous système de culture pluviale et sous environnement contraignant, le rendement est la résultante de la durée, de la vitesse de remplissage et de la capacité de translocation des assimilats stockés dans la tige. Une longue durée de remplissage est souvent indicatrice d'une activité photosynthétique optimale, par contre une vitesse de remplissage élevée est indicatrice des effets des stress hydriques (BAHLOULI *et al.*, 2008).

DHOU EL DJABINE *et al.* (2012) a montré que le rendement d'une culture est influencé par deux types de facteurs : les facteurs génétiques (intrinsèques à la plante) et les facteurs environnementaux. Selon ses résultats, il a démontré que quand les stress environnementaux abiotiques affectent une culture, ils peuvent occasionner des pertes de rendement considérables.

6. La contribution des différents organes dans le processus de remplissage du grain

6.1. La partie située au-dessus du dernier nœud

La partie située au-dessus du dernier entre-nœud joue un rôle important dans l'élaboration du grain. En condition de sécheresse, le col de l'épi, les glumes, et barbes détiennent une place importante dans le processus de finition du grain (BALDI, 1974).

6.1.1. L'épi

Selon BORT *et al.* (1994), l'épi joue un rôle essentiel pour fournir des assimilats au grain au cours du remplissage chez l'orge. Il a démontré aussi que la présence de cet organe présente un effet significatif sur le poids sec du grain mur. La capacité photosynthétique de l'épi en cas de sécheresse pourrait être responsable des rendements (GATE *et al.*, 1993; in ZOUAOUI, 2006). Cependant, il contribue à l'accentuation des pertes d'eau (présence des glumes, des barbes et de lenticelles en plus des stomates) confèrent à l'épi une conductance épidermique élevé (ALI DIB *et al.*, 1992).

6.1.2. Les barbes

BORT *et al.* (1994) ont démontré que la présence de la barbe augmente la photosynthèse et par conséquent le poids sec du grain. En présence de la barbe le poids du grain devient supérieur par comparaison avec des plantes sans barbe. HURD, (1974) in

ZOUAOUI, (2006) a rapporté que 7% du rendement est assuré par les barbes, quand l'activité de la dernière feuille s'est arrêtée.

6.1.3. Le col d'épi

Les résultats de **FELLAH et al. (2002)**, démontre que la photosynthèse courante et le stockage des substrats carbonés dans le col de l'épi et leur transfert contribuent à un meilleur remplissage du grain.

6.1.4. La dernière feuille

La contribution de la dernière feuille dans l'élaboration du rendement est fonction des conditions climatiques du milieu, sa surface, sa longévité et son activité photosynthétique. Pendant la phase épiaison-maturité elle est responsable pour une large part du rendement final en grain (**PLANCHON, 1976 in BELGUENDOZ, 2008**).

6.2. Le système foliaire

L'ensemble du système foliaire contribue dans l'élaboration du rendement en grain. **RICHARD et al., (1982) in GATE (1995)** montrent que l'ensemble des feuilles contribue à hauteur de 40% dans la remobilisation. Ce rôle s'expliquerait par la migration des quantités d'assimilats stockées à son niveau.

6.3. La paille

Une hauteur de paille importante est une caractéristique désirable en zone semi-aride, suite à ses effets bénéfiques lors des années sèches. Le rendement en grains est associé à une grande quantité d'assimilats stockés et transférés des tiges pour le remplissage des grains (**BAHLOULI et al., 2008**). Une partie de ces réserves est transférée vers la graine ; la tige exerce alors un rôle de relais pour l'alimentation de la graine (**GATE, 1995**).

En plus la hauteur du chaume est associée à un système racinaire capable d'aller en profondeur, suggérant l'adoption des variétés hautes dans les environnements à faible pluviométrie et dans des sols où il y a une humidité résiduelle exploitable en profondeur (**BELKHARCHOUCHE et al., 2009**). La hauteur des plantes, grâce à ses stocks de substrats, minimise la baisse des rendements en grains lors des années difficiles (**FELLAH et al., 2002**).

IV. Le stress hydrique

1. Notion de stress hydrique et sécheresse

Dans le domaine végétal, Le mot stress présente différentes significations mais généralement c'est le changement d'un état physiologique donné causé par des facteurs qui tendent à perturber l'équilibre du système de la plante étudiée (**MAHPARA et al., 2014**). Le stress hydrique (ou le déficit hydrique) s'installe dans la plante quand l'absorption ne peut satisfaire la demande de la transpiration (**GATE, 1995**).

La notion de stress hydrique est toujours assimilée à la notion de sécheresse. Selon **MONNVEUX et al. (1986)**, **ZERRARD et al. (2008)**, **PEREYA et al. (2003)** et **ADDA et al. (2013)**, la sécheresse sous ses différentes formes, constitue l'un des facteurs majeurs limitant la croissance, le développement et la productivité des différentes espèces végétales.

Une fois installé, le déficit hydrique altère différents processus, en modifiant la croissance des organes végétatifs et reproducteurs, le développement et le rendement final de la culture (**MEKLIICHE et al., 2003**, **MEGHREBI et al., 2013**).

2. L'effet de stress hydrique sur le remplissage de grain de blé

Les différents facteurs du milieu climatique et nutritionnel, en agissant d'une part sur le développement et d'autre part sur le potentiel de croissance déterminent le nombre, la taille et le devenir des organes (**TRIBOI et al., 1993**). Les stress environnementaux, notamment le déficit hydrique, limitent sérieusement la croissance des plantes ainsi que la productivité végétale (**ZERRARD et al., 2008**).

L'apparition du déficit hydrique plus tardivement en cours de montaison peut augmenter le taux d'avortement des fleurs et après la floraison, le manque d'eau entraîne une diminution du poids de mille grains (**GATE, 1995**).

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 (**SLAMA et al., 2005**). 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 (**MEGHREBI et al., 2013**). **BAHLOULI et al. (2008)** ont démontré que la durée longue de remplissage est souvent indicatrice d'une activité photosynthétique optimale, par

contre, une vitesse de remplissage élevée est indicatrice des effets des stress hydriques.

3. Stratégies d'adaptation de la plante au stress hydrique

Plusieurs études ont montré que, lors d'un déficit hydrique, les plantes adoptent des stratégies d'adaptation qui diffèrent d'une espèce à une autre et qui font intervenir une large combinaison de facteurs morphologiques, physiologiques et biochimiques (**MEKLCHE *et al.*, 2003 ; ZERRARD *et al.*, 2008**).

1. L'esquive

Selon **MEGHRABI *et al.* (2013)**, la précocité dans l'épiaison constitue une caractéristique souhaitable. Ce mécanisme biologique pourrait être qualifié d'esquive puisque les génotypes précoces peuvent accomplir leur cycle en évitant ainsi la sécheresse terminale (**GATE, 1995**).

2. L'évitement de la déshydratation

Cette stratégie permet le maintien d'un potentiel hydrique élevé dans la plante (**MEKLCHE *et al.*, 2003**). L'obtention d'un potentiel hydrique élevé peut être le résultat de l'augmentation des capacités d'absorption par le développement du système racinaire et/ou par la diminution de la perte d'eau en procédant par une régulation efficace des différentes voies impliquées dans ce mouvement (**GATE, 1995**).

3. La tolérance à la déshydratation

La tolérance à la déshydratation peut être expliquée par la capacité de la plante à maintenir ses activités métaboliques malgré le déficit hydrique (**MONNVEUX *et al.*, 1986**) par un abaissement du potentiel hydrique qui s'exprime par un maintien de la turgescence (**BELHASSEN *et al.*, 1995 ; in HARGAS, 2007**). Le maintien de la turgescence est rendu possible grâce à l'ajustement osmotique (**MEKLCHE *et al.*, 2003**)

Chapitre II :

Partie Expérimentale

1.1 L'objectif de l'expérimentation

La sécheresse est considérée comme le premier facteur limitant le rendement et la productivité chez le blé dur (MONNVEUX *et al.*, 1986), elle affecte grandement la vigueur de croissance, la translocation et le rendement en grain.

L'effet de la sécheresse sur le comportement de blé dur dépend de son intensité et l'époque de sa déclaration pendant le cycle de développement de la plante (ADDA *et al.*, 2013 ; LABDELLI *et al.*, 2013).

Le présent travail tente à évaluer la contribution de l'activité de chaque organe végétatif (le col de l'épi, la barbe, les enveloppes de la graine, la dernière feuille) dans le remplissage du grain chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.)

1.2 Matériel végétale utilisé

Le matériel végétal utilisé est constitué de cinq génotypes de blé dur, Le choix de ces génotypes est géré par l'origine, les paramètres phénologiques, les paramètres morphologiques et le degré de tolérance à la sécheresse, qui s'avèrent très contrastes chez ces derniers.

Tableau 01 : Les caractéristiques des génotypes utilisés

| Code de génotype | Nom du génotype | Origine | Tolérance à la sécheresse | Cycle végétative |
|------------------|-----------------|---------|---------------------------|------------------|
| 01 | WAHA | ICARDA | Elevée | Précoce |
| 02 | ACSAD1361 | ACSAD | Faible | Semi-tardif |
| 03 | MEXICAL 75 | CIMMYT | Moyen | Précoce |
| 04 | OUAD ZENATI | LOCALE | Moyen | Tardif |
| 05 | LANGLOIS | LOCALE | Elevée | Tardif |

1.3 Conditions de conduite de l'essai

Le travail comporte deux types d'essais, différents par leurs objectifs et leurs conduites pour déduire l'effet de déficit hydrique sur le remplissage du grain de blé dur.

1.3.1 Conduite de la première expérimentation (essai n°1)

L'essai a été conduit dans une serre semi-automatique de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'Université IBN KHALDOUN de Tiaret.

Le semis des grains désinfectés et pré-germés est réalisé dans des cylindres en PVC de 120cm de long et 20cm de diamètre, remplis d'un substrat homogène composé de sable, sol et terreau à des proportions respectives de 5 : 3: 1 à raison de 3 plantes par cylindre.

Les cylindres sont disposés en randomisation totale, selon deux traitements hydriques avec et sans déficit hydrique (ADH, SDH). Dans chaque traitement, chacun des génotypes est répété 4 fois, ce qui donne un total de 20 cylindres par traitement et 40 cylindres au niveau des deux. Les plants dans le lot témoin (SDH) sont conduits sous un régime d'irrigation de 100% de la capacité au champ. Ceux du lot ADH, ont subis les mêmes apports d'irrigation jusqu'au stade anthèse, on a procédé par un arrêt d'irrigation. L'eau d'irrigation est substituée par une solution nutritive commerciale de type ACTIVEG Puissance 20 au début tallage et fin montaison.

1.3.1.1 Le Protocole expérimental adopté pour l'évaluation de la contribution des organes dans le remplissage

Le travail présenté traite l'évaluation de la contribution des différents organes végétatifs dans le remplissage des grains de blé dur en conditions hydriques, optimale et déficiente. Afin d'atteindre l'objectif escompté, après l'anthèse, un dispositif qui comprend principalement six traitements est réalisé, à savoir, les plants témoins, les plantes sans barbe les plantes sans la dernière feuille, les plantes sans tous les feuilles, les plantes avec un col caché, les plantes avec un épi caché et enfin des plantes caché entièrement.

L'ablation des différents organes s'est faite par utilisation d'une paire de ciseaux. Les différents organes sont cachés par utilisation du papier aluminium. De très fines perforations sont réalisées au niveau du film en aluminium dans le but de permettre une meilleure circulation de l'air et un échange gazeux avec l'environnement.

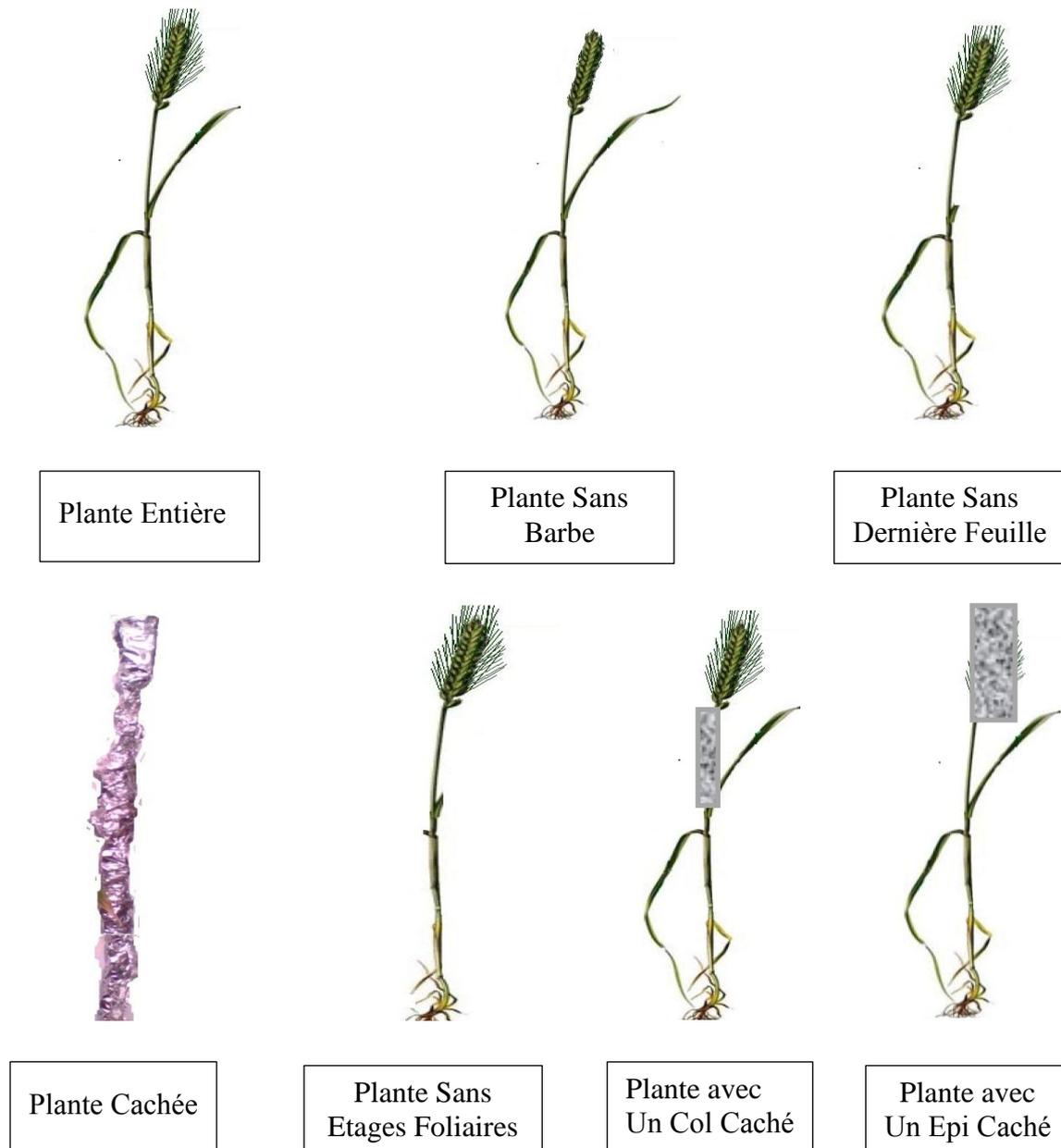


Figure 06 : Protocole expérimentale pour évaluer la contribution des différents organes dans le processus de remplissage du grain chez le blé dur.

1.3.1.2 Les opérations culturales :

Tableau 02 : Les opérations culturales de la première expérimentation.

| Variété | Stade | Date |
|--|---------------------------|------------|
| Toutes les variétés | Pré-germination | 27-10-2015 |
| Toutes les variétés | Repiquage | 30-10-2015 |
| Toutes les variétés | Début tallage | 27-11-2015 |
| 1. WAHA 2. ACSAD 1361 3. MEXICAL 75 4. OUED ZENATI 5. LANGLOIS | Epiaison | 20-03-2015 |
| | | 22-03-2015 |
| | | 15-03-2015 |
| | | 05-04-2015 |
| | | 10-04-2015 |
| 1. WAHA 2. ACSAD 1361 3. MEXICAL 75 4. OUED ZENATI 5. LANGLOIS | Floraison | 01-04-2015 |
| | | 01-04-2015 |
| | | 28-03-2015 |
| | | 07-04-2015 |
| | | 15-04-2015 |
| 1. WAHA 2. ACSAD 1361 3. MEXICAL 75 4. OUED ZENATI 5. LANGLOIS | Application du dispositif | 02-04-2015 |
| | | 02-04-2015 |
| | | 30-03-2015 |
| | | 07-04-2015 |
| | | 18-04-2015 |

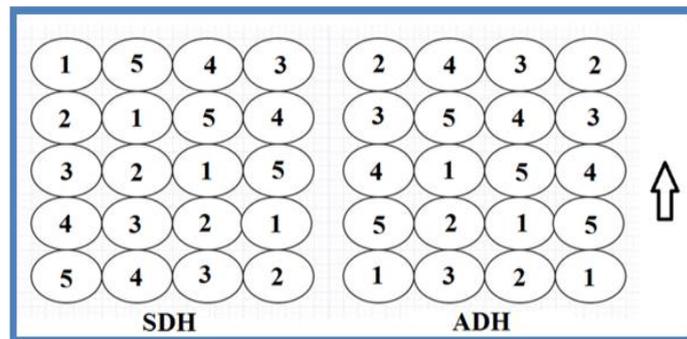


Figure 07 : Le dispositif expérimental (sans et avec déficit hydrique).



Photo 01 : Le dispositif expérimental de l'essai n°01 au cours de l'application de dispositif (02/04/2015)

1.3.1.5 Mesures effectuées et méthodes appliquées

Les différents paramètres mesurés sont d'ordre : phénologiques, morphologiques et anatomiques.

a. Paramètres morphologiques

Les différents paramètres morphologiques mesurés au stade floraison sont :

a.1 Les mesures biométriques

A l'aide d'un ruban, les mesures suivantes sont effectuées :

- La hauteur de la plante
- La longueur de dernier entre-nœud
- La longueur du col de l'épi
- La longueur de l'épi
- La longueur de la barbe
- La couleur de la barbe
- La longueur de la gaine de la dernière feuille, obtenue par différence entre la longueur de dernier entre nœud et la longueur de la partie nue du col de l'épi.
- Le diamètre de la gaine de la dernière feuille
- La surface du limbe, obtenue par l'utilisation d'un logiciel MESERUM Pro. version 3.4.

- L'estimation de diamètre est réalisée à l'aide d'un pied à coulisse.

a.2 Les composantes du rendement

Au stade maturité, les composantes du rendement suivantes ont été estimées :

- Le nombre d'épillets par épi
- Le nombre de grains par épi
- Le poids de mille grains

b. Les paramètres anatomiques

b.1 La réalisation des coupes anatomiques

Un échantillon de 1cm de long est prélevé du col de l'épi de chaque génotype et au niveau de deux traitements hydriques et immédiatement trempé dans un fixateur constitué d'un mélange d'éthanol et acide acétique (17 ; 3), pendant 24 heures. Les échantillons sont ensuite lavés avec l'eau courante pendant un temps égal à la durée de fixation. Après lavage, les échantillons sont déshydratés par un passage dans des bains d'éthanol à concentrations croissantes (50°, 70°,100°) pendant 10 mn dans chaque bain. Les échantillons sont ensuite imprégnés dans un bain de paraffine-toluène pendant 2 heures et transférés dans un autre bain de paraffine pur pendant 4 heures et placés à l'étuve à la température de la fusion de paraffine (58°C). Les échantillons sont enfin inclus dans des blocs de paraffine et coupés à l'aide d'un microtome de type LEICA 2145 à une épaisseur de 7µm (coupe transversale). Les coupes sont déparaffinées à l'aide du toluène et colorées à l'aide d'une double coloration (carmin 40 et bleu de méthylène). Après coloration, les coupes sont surmontées de lamelles collées à l'aide du baume de Canada et observées au microscope doté d'un micromètre.

b.2 Les mesures effectuées

Les mesures ont portés sur

- L'importance du parenchyme de réserves
- L'importance de l'écorce primaire
- Le diamètre des cellules parenchymateuses.

1.3.2 Conduite de la deuxième expérimentation (essai n°02)

L'objectif de la réalisation de la deuxième expérimentation est d'évaluer la cinétique de remplissage du grain en fonction de la contribution des différents organes retenus.

Les graines désinfectés et pré-germés sont repiquées dans des cylindres en PVC de 120cm de long et 20cm de diamètre, remplis d'un substrat homogène composé de sable, sol et terreau à des proportions respectives de 8 : 3: 1 à raison de 3 plantes par cylindre.

Le dispositif expérimental adopté comporte trois traitements hydriques (Figure08). Un traitement témoin SDH conduit à un régime d'irrigation de 100 % de la capacité au champ et deux autres traitements ayant subi des déficits hydriques progressifs de 60 % (ADH1) et 30 % (ADH2) de la capacité au champ. L'eau d'irrigation est substituée plusieurs fois au long du cycle de développement de la plante par une solution nutritive commerciale de type ACTIVEG Puissance 20. Au niveau de chaque traitement hydrique chacun des 5 génotypes est répété 5 fois.

1.3.2.1 Le Protocol d'évaluation de la contribution des différents organes dans la cinétique de remplissage du grain

La deuxième partie de notre travail consiste à l'étude de la cinétique de remplissage des grains des cinq génotypes du blé dur, de ce fait, les plantes ont subi les mêmes traitements que la première expérimentation (voir dispositif1)

1.3.2.2 Les opérations culturales

Tableau 03 : Les opérations culturales de la deuxième expérimentation.

| Variété | Stade | Date |
|--|---------------------------|--|
| Toutes les variétés | Pré-germination | 30-12-2015 |
| Toutes les variétés | Repiquage | 01-01-2015 |
| 1. WAHA 2. ACSAD 1361 3. MEXICAL 75 4. OUED ZENATI 5. LANGLOIS | Epiaison | 07-04-2015 11-04-2015 04-04-2015 19-04-2015 |
| 1. WAHA 2. ACSAD 1361 3. MEXICAL 75 4. OUED ZENATI 5. LANGLOIS | Floraison | 22-04-2015 23-04-2015 17-04-2015 29-04-2015 25-04-2015 |
| 1. WAHA 2. ACSAD 1361 3. MEXICAL 75 4. OUED ZENATI 5. LANGLOIS | Application du dispositif | Pour l'ensemble des génotypes, l'application de dispositif été après 2 jours de l'anthèse. |

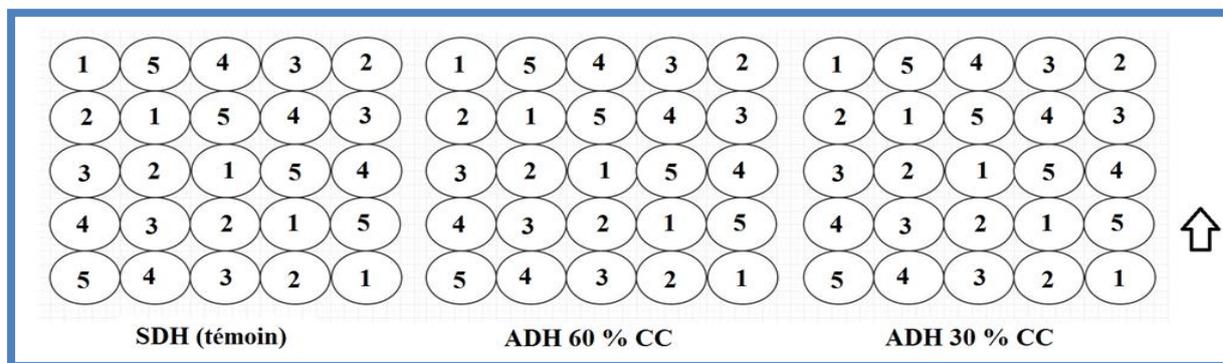


Figure 08: Schéma du dispositif expérimental de deuxième expérimentation.



Photo 02 : Le dispositif expérimental de l'essai n°02 au stade fin montaison (02/04/2015)

1.3.2.5 Les paramètres mesurés

1. La cinétique de remplissage

Dès le stade laiteux (10 jours après l'anthèse) jusqu'au début du stade maturité, cinq prélèvements de grains ont été effectués à raison de deux prélèvements par semaine. Lors de chaque prélèvement, un grain est enlevé de l'épi de chaque dispositif adopté et au niveau des trois traitements hydriques. Les grains sont immédiatement pesés et leurs dimensions sont relevées (diamètre, longueur) à l'aide d'un pied à coulisse. Le poids sec des grains est ensuite déterminé par un passage à l'étuve à une température de 80°C pendant 48h.

Les résultats sont exprimés par l'évolution relative du poids sec du grain et qui se calcule selon la relation suivante :

$$ER = \frac{Ps(tn+1) - Ps(tn)}{Ps(tn+1)},$$

- ER : Evolution relative.
- PS : Poids sec
- tn : Temps de prélèvements des grains.

1.4 Analyse statistique

Les données des différents essais que comporte cette étude ont fait l'objet d'une analyse statistique (ANOVA et Corrélation) par STATISTICA Version 8.0.

Chapitre III :

Résultats

III. 1. Résultats de l'expérimentation n°01

1.1 Caractérisation du matériel végétal utilisé

1.1.1 Les paramètres morphologiques de la tige

Le remplissage du grain et l'élaboration de sa qualité s'articulent sur un ensemble de processus basés sur la photosynthèse courante et la translocation des réserves au cours leur formation. La réalisation de ces processus est liée au comportement morphologique de la plante et la qualité des facteurs de l'environnement dans lesquels sont exprimées ces caractéristiques. Ces caractéristiques représentent un aboutissement de la morphogenèse de la plante basée essentiellement sur la croissance et le développement. Parmi les facteurs environnementaux conditionnant cette morphogenèse, on évoque l'alimentation hydrique qui par sa qualité et sa quantité constitue un facteur primordial impliqué dans l'aboutissement de ce processus.

La variabilité du matériel végétal chez le blé dur ainsi que les conditions hydriques de leur conduite, constituent inévitablement les principaux facteurs des variations constatées dans l'élaboration de la qualité du grain. Chez cette espèce, on note une variabilité génétique assez importante concernant d'une part les grandeurs des différents organes impliqués dans le remplissage du grain et d'autre part leur comportement à l'égard du déficit hydrique. Toute tentative d'évaluation de l'implication de ces organes dans la formation du grain nécessite une utilisation plus large des niveaux de la variabilité génétique qu'offre cette espèce.

Cette partie des résultats, présente une identification des génotypes utilisés dans les différentes manipulations pour l'évaluation des mécanismes de remplissage du grain. Cette caractérisation concerne tous les organes végétatifs aériens responsables de la photosynthèse et la remobilisation des réserves au cours de cette période.

Les résultats issus de cette première expérimentation (Tableau04) montrent que les grandeurs des paramètres morphologiques retenus sont très distinctes parmi les génotypes conduits. Ainsi, la hauteur de la plante se distingue d'un rang très hautement significatif à travers ces génotypes ($p < 0.001$). Les génotypes conduits se distinguent en deux groupes. Dans un premier groupe se rassemblent ceux dits à haute paille et sont représentés par Oued Zenati et Langlois qui ont inscrits des valeurs respectives de $136.42\text{cm} \pm 3.42$ et $151.23\text{cm} \pm 2.58$. Le second groupe englobe les génotypes dits à paille courte et contient ACSAD1361, Waha et Mexicali75 et dont les hauteurs s'affichent dans l'ordre avec

61.79cm±2.92, 68.31cm±2.57 et 69.84cm±2.1. La hauteur de la tige est liée à l'origine des génotypes. En effet, les variétés locales se distinguent par leur haute taille, tandis que les génotypes introduits inscrivent une situation inverse.

Concernant la longueur du dernier entre nœud et le col de l'épi, les mêmes tendances sont retrouvées (Tableau04). Ceci se confirme par de fortes relations positives qui lie ces deux paramètres et la hauteur de la paille et qui s'évalue à $r=0.878^{**}$ pour le dernier entre nœud et $r=0.561^{**}$ pour le col de l'épi.

A la base de ces données, en se référant aux résultats moyens enregistrés pour la longueur de dernier entre-nœud (Tableau05), les génotypes se distinguent en deux groupes. Le premier rassemble les génotypes Langlois (40.91cm±1.39) et Oued Zenati (42.76±1.38) qui inscrit les plus longs entre-nœuds, et le deuxième groupe rassemble les génotypes ACSAD 1361, Waha et Mexicali 75 avec des valeurs respectives de 27.26cm±1.21, 27.40cm±1.04 et 30.28cm±1.38.

Les valeurs de la longueur du col de l'épi varient d'une façon très hautement significative à travers les génotypes testés ($p<0.001$). Les résultats moyens obtenus (Tableau05) montrent que les génotypes Oued Zenati, Langlois et Mexicali75 se distinguent par les plus longs cols de l'épi et ce en inscrivant dans l'ordre des valeurs de 19.28cm±1.57, 15.62cm±1.01 et 14.68cm±1.21. Les deux autres génotypes à savoir, Waha et ACSAD1361 enregistrent les plus faibles valeurs avec respectivement 12.35cm±0.67 et 10.70cm±0.82.

On note la présence d'une corrélation positive et significative (Tableau06) entre la hauteur de la plante, la longueur du col de l'épi ($r=0.56^{**}$) et la longueur du dernier entre-nœud ($r=0.88^{**}$). Ce résultat indique que d'une manière générale, l'accroissement de la masse végétative concerne l'ensemble des paramètres caulinaires mesurés.

Tableau 04: Analyse de la variance des paramètres morphologiques de la tige

| | Hauteur de la plante | Longueur du dernier entre-nœud | Longueur de col de l'épi |
|-------------|----------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Test F | 240.46*** | 34.951*** | 8.7838*** |
| Probabilité | 0.0000 | 0.0000 | 0.000013 |

***significatif à ($p<0.001$)

Tableau 05: Les résultats moyens obtenus des paramètres morphologiques de la tige

| Génotype | Hauteur de la tige | Std.Err | Longueur de dernier entre-nœud | Std.Err | Longueur de l'épi | Std.Err |
|-------------|--------------------|---------|--------------------------------|---------|-------------------|---------|
| Waha | 68.30 | 2.58 | 27.41 | 1.04 | 12.35 | 0.67 |
| Acsad 1361 | 61.79 | 2.93 | 27.26 | 1.21 | 10.70 | 0.82 |
| Mexicali 75 | 69.84 | 2.09 | 30.28 | 1.30 | 14.68 | 1.21 |
| Oued zenati | 136.42 | 3.42 | 42.76 | 1.38 | 19.28 | 1.57 |
| Langlois | 151.23 | 2.58 | 40.91 | 1.40 | 15.62 | 1.01 |

Tableau 06: Les relations entre les paramètres morphologiques de la tige et les variations génotypiques

| | Longueur de dernier entre-nœud | La longueur de col de l'épi |
|-----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| La hauteur de la tige | 0.87** | 0.56* |

**significatif à $p < 0.01$, *significative à $p < 0.05$

1.1.2 Les paramètres morphologiques de la dernière feuille

L'implication des caractéristiques de la dernière feuille dans l'élaboration de la qualité du grain chez le blé dur a été prouvée par de nombreux travaux (MONNEVEUX *et al.*, 2006). Ainsi, par son activité photosynthétique au cours du remplissage du grain, elle assure la disponibilité des photoassimilats qui après transformation s'accumulent au niveau de cet organe. Les paramètres retenus de cet organe se rapportent à la surface du limbe, le diamètre et la longueur de la gaine. L'étude des résultats obtenus des mesures de ces paramètres (Tableau07) montre que leurs grandeurs de la surface ainsi que la longueur de la gaines varient d'une façon très hautement significatives ($p < 0.001$) à travers les génotypes utilisés dans les essais réalisés. Les variations du diamètre de la gaine s'avère moins importantes et s'annoncent juste significatives ($p < 0.05$).

Les résultats moyens de la surface du limbe (Tableau08) montrent que les génotypes Oued Zenati, Langlois et Mexicali 75 se distinguent par les valeurs les plus importantes et ce en enregistrant respectivement $128.59 \text{ cm}^2 \pm 2.36$, $98.14 \text{ cm}^2 \pm 0.90$ et $80.31 \text{ cm}^2 \pm 3.33$. A l'opposé, les génotypes Waha et ACSAD 1361 enregistrent les plus faibles surfaces avec des données respectives de $46.0 \text{ cm}^2 \pm 0.3$ et $55.48 \text{ cm}^2 \pm 0.94$.

La longueur de la gaine se trouve corrélée positivement avec la surface du limbe (Tableau09), indiquent ainsi que les feuilles ayant les plus grandes surfaces enregistrent

également les plus longues gaines ($r=0.652^{**}$). Pour ce paramètre, les valeurs relevées sont comprises entre $15.05\text{cm}\pm 0.73$ (Mexicali75) et $25.29\text{cm}\pm 1.36$.

Les fluctuations des valeurs du diamètre de la de la gaine de la dernière feuille s'avèrent moins importantes que celles enregistrées pour les deux premières caractéristiques. En effet, les données mesurées vacillent entre des valeurs extrêmes de $1.76\text{cm}\pm 0.1$ détenue par ACSAD1361 et $2.26\text{cm}\pm 0.1$ extériorisée par Oued Zenati.

Tableau 07: Analyse de la variance des paramètres morphologiques de la dernière feuille

| | La surface foliaire | Longueur de la gaine | Diamètre de la gaine |
|-------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| Test F | 299.691*** | 32.745*** | 3.181* |
| Probabilité | 0.0000 | 0.0000 | 0.02160 |

***significatif à ($p<0.001$),*significative à $p<0.05$

Tableau 08: Les résultats moyens obtenus des paramètres morphologiques de la dernière feuille.

| Génotype | La surface foliaire | Std.Err | La longueur de la gaine | Std.Err | Le diamètre de la gaine | Std.Err |
|-------------|---------------------|---------|-------------------------|---------|-------------------------|---------|
| WAHA | 46.01 | 0.30 | 15.06 | 0.73 | 2.06 | 0.10 |
| ACSAD1361 | 55.48 | 0.95 | 16.56 | 0.61 | 1.79 | 0.10 |
| Mexical 75 | 80.31 | 3.33 | 15.60 | 0.29 | 2.00 | 0.15 |
| oued zenati | 128.59 | 2.37 | 23.48 | 0.82 | 2.26 | 0.10 |
| Langlois | 98.14 | 0.90 | 25.29 | 1.37 | 2.23 | 0.06 |

Tableau 09: Les relations entre les paramètres morphologiques de la dernière feuille et l'effet génotypiques.

| | La longueur de la gaine | Le diamètre de la gaine |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|
| La surface foliaire | 0.65** | 0.32* |

**significatif à $p<0.01$,*significative à $p<0.05$

1.1.3 Les paramètres morphologiques de l'épi

Les caractéristiques morphologiques de l'épi jouent un rôle prépondérant dans l'élaboration du poids et de la qualité des grains chez le blé dur.

Certains travaux (**BALDY, 1974**) démontrent que les enveloppes de la graine contribuent grandement au remplissage du grain, par leur longévité étalée dans le temps et par conséquent par leur photosynthèse courante pendant ce processus. Leur présence au voisinage de la graine en formation les soumet aux mêmes aléas environnementaux et facilitent la migration de leurs photoassimilats vers cet organe. Les caractéristiques retenues dans notre étude se rapportent à la longueur de l'épi, la longueur et la couleur de la barbe. L'étude des résultats (Tableau10) démontre que les génotypes testés se caractérisent par des épis à longueurs très variables ($p < 0.01$). Les différentes longueurs relevées se concentrent dans l'intervalle délimité par $10.20\text{cm} \pm 0.23$ (Langlois) et $8.43\text{cm} \pm 0.19$ (Mexicali75).

Concernant la couleur de la barbe, on relève trois types distincts. Une couleur noire de la barbe se retrouve chez deux génotypes, Oued Zenati et Langlois. Une autre rousse concerne uniquement le génotype Waha et enfin les génotypes (ACSAD1361, Mexicali75) présentent des épis d'une couleur blanche. Le même organe manifestent des longueurs très différentes parmi les génotypes expérimentés ($p < 0.001$). Les résultats relevés et relatifs à ce paramètre discrimine ces génotypes en deux groupes. Dans un premier groupe se concentrent les génotypes Waha, Mexicali75 et ACSAD1361 qui enregistrent des valeurs respectives de $11.11\text{cm} \pm 0.49$, $11.78\text{cm} \pm 0.42$ et $11.32\text{cm} \pm 0.22$. Selon le même critère, les variétés locales Oued Zenati et Langlois expriment les plus longues barbes avec des valeurs dans l'ordre de $14.39\text{cm} \pm 0.19$ et $17.00\text{cm} \pm 0.48$. En associant l'ensemble des caractéristiques de l'épi, on constate que les épis les plus longues sont définis dans des barbes plus longues et de couleur noire. Ainsi, les variétés locales (Oued Zenati et Langlois) détiennent cette particularité.

Tableau 10: Analyse de la variance des paramètres morphologiques de l'épi

| | Longueur de la plante | Longueur de la barbe |
|-------------|-----------------------|----------------------|
| Test F | 5.202** | 43.721*** |
| Probabilité | 0.0012 | 0.0000 |

significatif à $p < 0.01$, *significatif à ($p < 0.001$)

Tableau 11: Les résultats moyens obtenus des paramètres morphologiques de l'épi

| Génotype | Longueur de l'épi | Std.Err | La longueur de la barbe | Std.Err |
|-------------|-------------------|---------|-------------------------|---------|
| WAHA | 9.24 | 0.34 | 11.11 | 0.49 |
| ACSAD1361 | 9.07 | 0.25 | 11.33 | 0.22 |
| Mexical 75 | 8.43 | 0.19 | 11.79 | 0.42 |
| oued zenati | 9.06 | 0.36 | 14.39 | 0.19 |
| Langlois | 10.21 | 0.23 | 17.00 | 0.48 |

1.1.4 Les composants de rendement

Le rendement en grains et sa qualité dépendent de l'expression d'un ensemble de paramètres liés au déroulement de ce processus et qualifiés de composantes du rendement. Dans cette étude on estime que la formation du grain dépend de leur nombre au niveau de l'épi ainsi que leur poids.

Le choix de l'étude de ces deux paramètres expliquerait leur interaction pour l'élaboration de la qualité du grain. Parmi les paramètres retenus, on cite le nombre de grains par épi et le nombre d'épillets par épi et dont l'édification dans le cas du mode de conduite de la présente expérimentation est soumise à l'unique action génotypique.

L'étude des résultats obtenus (Tableau 12) montre que l'expression de ces caractères reproducteurs est très variable parmi les génotypes conduits. Ainsi, ces génotypes ont exprimé un nombre de grains par épi très divergent ($p < 0.001$) et un épillet par épi, également différent ($p < 0.001$).

En ce qui concerne le nombre de grains par épi, les valeurs moyennes obtenues sont comprises dans les limites de 56.25grains/épi \pm 1.55 (ACSAD1361) et 45.00grains/épi \pm 1.07. Pour le nombre d'épillets par épi les résultats convergent de la même manière que ceux cités précédemment. La distinction des génotypes s'avère identique, le génotype Oued Zenati se distingue par le nombre le plus élevé avec 43.32épillets/épi \pm 2.10 et Langlois par celui le plus faible avec 28.70épillets/épi \pm 1.79.

Tableau 12: Analyse de la variance des paramètres morphologiques

| | Le nombre de gains par épi | Le nombre d'épillets par épi |
|-------------|----------------------------|------------------------------|
| Test F | 7.405*** | 12.089*** |
| Probabilité | 0.0000 | 0.0000 |

***significatif à ($p < 0.001$)

Tableau 13: les résultats moyens obtenus des composants de rendements

| Génotype | Le nombre de grains par épi | Std.Err | Le nombre d'épillet par épi | Std.Err |
|-------------|-----------------------------|---------|-----------------------------|---------|
| Waha | 49,13 | 2,07 | 39.75 | 4.14 |
| ACSAD 1361 | 56,25 | 1,55 | 36.75 | 6.17 |
| Mexicali 75 | 45,00 | 1,07 | 39.50 | 1.45 |
| Oued zenati | 52,92 | 1,77 | 43.32 | 2.10 |
| Langlois | 51,00 | 0,98 | 28.70 | 1.79 |

1.1.5 Le poids de mille grains

Le poids de mille grains conditionné évidemment par le poids du grain, constitue un élément de référence dans l'estimation de l'implication des différents organes étudiés, dans le remplissage de ce dernier et la détermination par conséquent de sa qualité.

L'analyse des résultats statistiques (Tableau 15) montre que les variations du poids de mille grains sont fortement influencées par l'implication des différents organes étudiés ($p < 0.001$), Cette influence reste toutefois conditionnée par la nature des génotypes ($p < 0.001$), et le régime hydrique appliqué ($p < 0.001$). L'implication de chacun des organes étudiés dans le processus du remplissage du grain dépend de la nature du génotype concerné d'une part et la qualité de la situation hydrique d'autre part. Ceci se justifie par une influence hautement significative émanant de l'interaction entre le génotype et la nature de l'organe ($p < 0.001$), et du génotype avec la situation hydrique adoptée ($p < 0.001$).

Tableau 14: Effets de la nature du génotype, de la situation hydrique et la nature des organes sur l'élaboration du poids de mille grains

| | Test F | Probabilité |
|--|-----------|-------------|
| Génotype | 88.21*** | 0.0000 |
| Organes | 263.22*** | 0.0000 |
| Situation hydrique | 76.76*** | 0.0000 |
| Génotype *organes | 7.61*** | 0.0000 |
| Génotypes *situation hydrique | 22.44*** | 0.0000 |
| Organes *situation hydrique | 4.27*** | 0.0004 |
| Génotype* organes * situation hydrique | 1.46 | 0.0834ns |

***significatif à ($p < 0.001$)

L'implication des facteurs d'étude sur l'élaboration du poids de mille grains sera présentée et discutée distinctement selon les géotypes expérimentés.

Le géotype Waha

Chez le géotype Waha, la contribution des différents organes retenus dans cette étude s'avère différente d'une situation hydrique à une autre. Ainsi, dans le traitement conduit à 100%CC (Témoin), ce sont les constituants de l'épi (grains, enveloppes des grains et barbe) et le système foliaire (ensemble des étages foliaires de la plante) qui détiennent les parts les plus importantes dans le processus de remplissage des grains. Les taux de leurs apports respectifs s'évaluent à 45 et 44%.

L'implication de la barbe dans ce processus s'annonce d'une acuité moyenne avec un apport évalué à 33%. Enfin, les derniers organes concernés par cette étude, le col de l'épi et la dernière feuille contribuent avec les plus faibles taux et évalué à chacun de 21%.

Le phénomène de la translocation des réserves contenus dans les différents organes de la plante et principalement au niveau de la tige présente une participation dans la fonction de remplissage estimée à 22%.

Dans le traitement ayant subi le déficit hydrique les participations évoquées des organes concernés par notre étude s'annonce différentes. Ainsi, sous ces conditions hydriques, ce sont les constituants de l'épi et la barbe qui semblent conditionner le plus le phénomène de remplissage du grain. On note dans ce contexte des taux de participation évalués à 41% (constituants de l'épi) et 51% (barbe). L'apport du col de l'épi et la dernière feuille semblent être faible et même d'une réaction contraire pour ce dernier organe.

L'influence de la translocation des réserves contenues au niveau des différents organes de la plante détient une part importante dans l'élaboration du poids du grain. Cette source de disponibilité des réserves contribue à la hauteur de 46% dans la formation du grain.

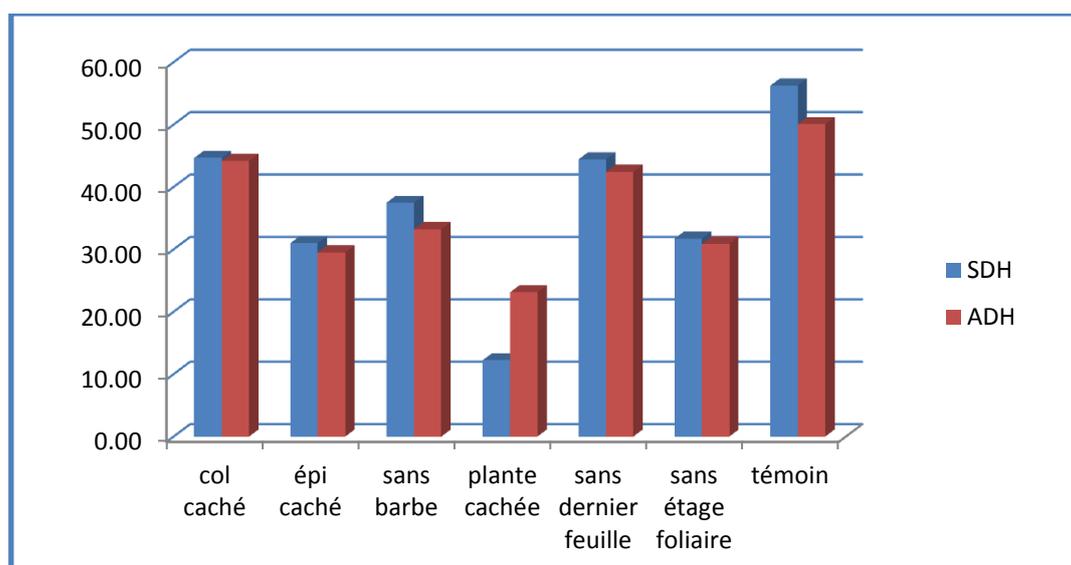


Figure 09: Influence des différents organes de la plante dans l'élaboration du PMG sous les deux situations hydriques (SDH, ADH) chez le génotype Waha.

Tableau 15: Taux de contribution des différents organes dans le remplissage du grain chez la variété Waha, sous les deux régimes hydriques ADH et SDH

| Les organes | Taux de contribution dans le remplissage du grain (100%) | |
|---------------------------|--|-----------------------|
| | Sans déficit hydrique | Avec déficit hydrique |
| Le col de l'épi | 21 | 12 |
| Les constituants de l'épi | 45 | 41 |
| La barbe de l'épi | 33 | 51 |
| La dernière feuille | 21 | -15 |
| Le système foliaire | 44 | 38 |
| La translocation | 22 | 46 |

Le génotype ACSAD1361

Un fait très important caractérise la contribution des différents organes dans le remplissage du grain. En effet, le taux de participation de ces organes dans l'élaboration du poids du grain apparaît peu variable sous différentes situations d'alimentation hydrique de la plante.

Dans le traitement conduit en conditions hydriques optimales (SDH), les constituants de l'épi ainsi que les différents étages foliaires de la plante détiennent les parts les plus importantes dans l'opération de remplissage du grain avec des taux de l'ordre de 34 et 22%. Chez ce génotype et en conditions irriguées, l'influence du col de l'épi sur l'élaboration du

le poids final du grain s'avère très faible (3%). Les deux autres organes limitrophes du grain, la barbe et la dernière feuille, ont manifesté des contributions moyennes par rapport aux autres organes étudiés et qui s'évaluent respectivement à 17 et 16%. Enfin, l'implication de la migration des réserves stockées à l'échelle des différentes parties de la plante est fixée à un taux de 15%.

En situation d'alimentation hydrique déficiente (ADH), le processus du remplissage du grain est basé essentiellement sur la photosynthèse courante des différents constituants de l'épi. Ainsi, cet organe (épi) contribue à lui avec un taux de 43% dans la disponibilité des réserves au niveau du grain à la maturité. Effectivement, l'importance de cet organe se constate à la nette différence constatée dans le poids de mille grains enregistré au niveau de la plante témoin et celui relevé au niveau de la dont l'épi était entièrement caché durant le processus de remplissage. En dehors du rôle de l'épi, on constate que, la dernière feuille seule et les différents étages foliaires rassemblés détiennent le second rang dans le processus de remplissage avec des taux de contribution respectifs de 19 et 22%. Le taux d'apport du col de l'épi et de la barbe détiennent le troisième rang dans cette activité avec des niveaux respectifs évalués à 12 et 14%. Enfin la translocation des réserves des organes caulinaires assiste dans l'évolution du remplissage du grain avec un taux de 15%

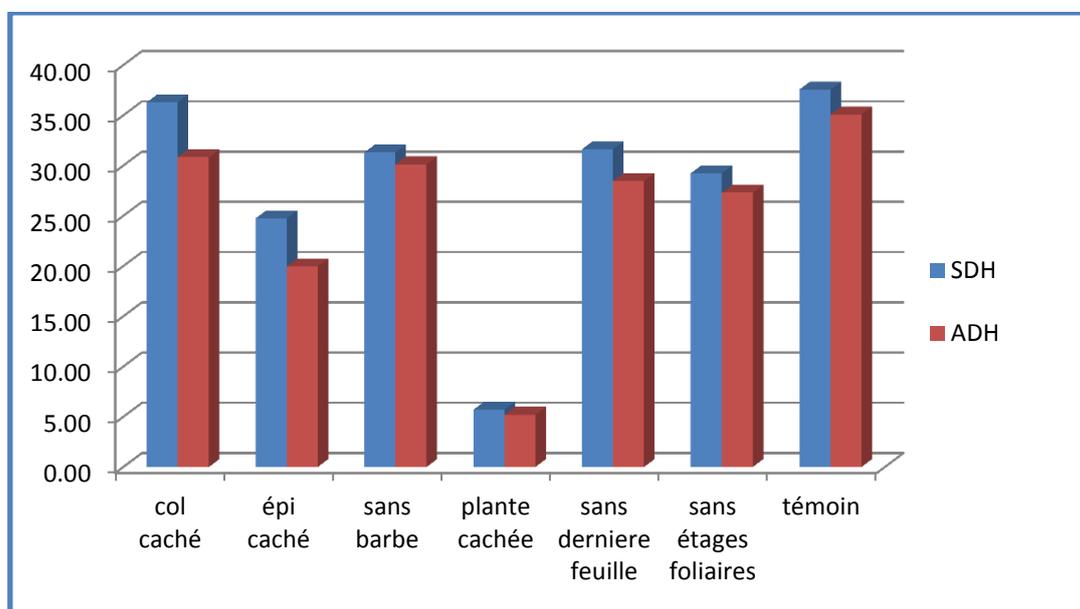


Figure 10: Influence des différents organes de la plante dans l'élaboration du PMG sous les deux situations hydriques (SDH, ADH), le génotype ACSAD 1361.

Tableau 16: Taux de contribution des différents organes dans le remplissage du grain chez le génotype ACSAD 1361, sous les deux régimes hydriques ADH et SDH

| Les organes | Taux de contribution dans le remplissage du grain (100%) | |
|---------------------------|--|-----------------------|
| | Sans déficit hydrique | Avec déficit hydrique |
| Le col de l'épi | 03 | 12 |
| Les constituants de l'épi | 34 | 43 |
| La barbe de l'épi | 16 | 14 |
| La dernière feuille | 15 | 18 |
| Le système foliaire | 22 | 22 |
| La translocation | 15 | 14 |

Le génotype Mexicali75

Ce génotype est caractérisé par un cycle de développement précoce et d'une paille courte. En conditions d'alimentation hydrique optimale (SDH) le remplissage des grains et l'élaboration du poids de mille de grains chez ce génotype est conditionnée essentiellement par l'activité photosynthétique courante des paramètres de l'épi, de l'ensemble des étages foliaires et de la dernière feuille. En effet, la contribution de ces constituants de la plante détient des taux de 44% (épi), 43% (étages foliaires) et 37% (dernière feuille). La barbe de l'épi et le col de l'épi participent au remplissage du grain à des taux respectifs de 17 et 11%.

Enfin, la conception du poids du grain repose également sur la participation de la migration des réserves contenues au niveau de la plante entière. Le taux de contribution de cette voie de dépôt des réserves au grain et l'édification de son poids final est évalué à 25%.

En situation de déficit hydrique, pratiquement les mêmes tendances de contribution des différents organes sont maintenues. Ainsi, les paramètres de l'épi, la dernière feuille et l'ensemble des étages foliaires de la plante détiennent les taux de contribution au remplissage du grain, les plus élevés et qui sont estimés respectivement à 42, 36 et 47%. La contribution de la barbe et du col de l'épi se réduisent d'avantages en situation de stress et deviennent dans l'ordre 13% et 17%. Enfin, la participation de la migration des réserves (translocation) est maintenue au même niveau avec 25%.

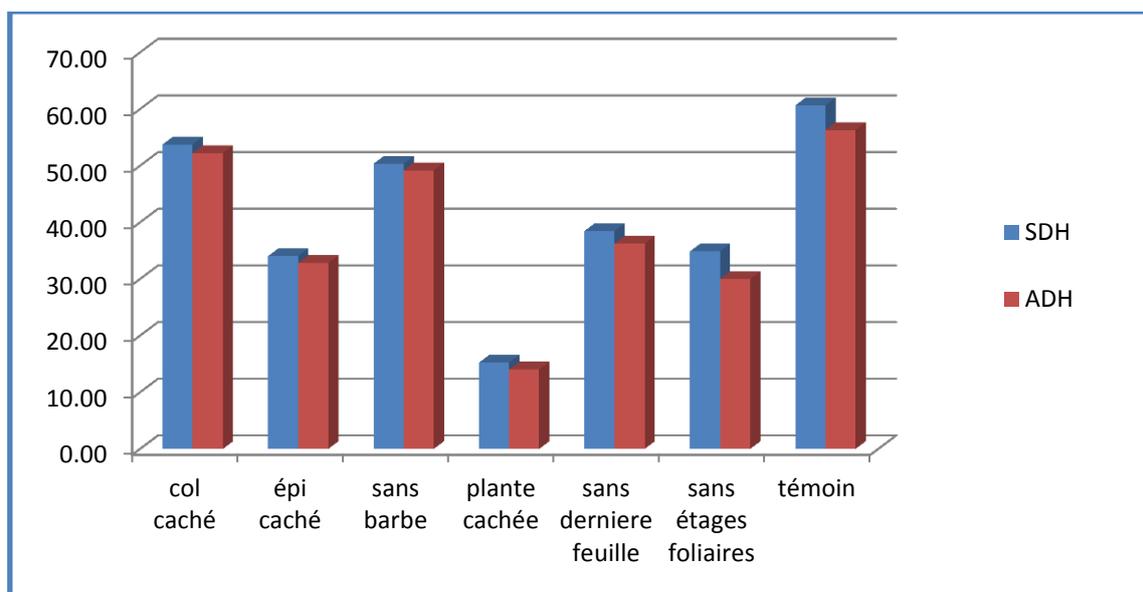


Figure 11: Influence des différents organes de la plante dans l'élaboration du PMG sous les deux situations hydriques (SDH, ADH), la variété Mexicali 75.

Tableau 17: Taux de contribution des différents organes dans le remplissage du grain chez la variété Mexicali 75, sous les deux régimes hydriques ADH et SDH.

| Les organes | Taux de contribution dans le remplissage du grain (100%) | |
|---------------------------|--|-----------------------|
| | Sans déficit hydrique | Avec déficit hydrique |
| Le col de l'épi | 11 | 07 |
| Les constituants de l'épi | 43 | 41 |
| La barbe de l'épi | 16 | 12 |
| La dernière feuille | 36 | 35 |
| Le système foliaire | 42 | 46 |
| La translocation | 25 | 24 |

Le génotype Oued Zenati

Oued Zenati est une variété locale issue d'une sélection à partir d'une population locale de blé dur. Elle tardive et à paille haute. Chez ce modèle de génotypes et en situation hydrique optimale, la contribution des différents organes dans le remplissage se présente selon un modèle totalement différent de ce qui a été constaté chez les génotypes précédents. Ainsi, deux organes semblent conditionner grandement le remplissage du grain, à savoir, les constituants de l'épi et la barbe. Dans ces conditions hydriques le taux de contributions de ces deux organes est évalué à 55% (constituants de l'épi) et 21% (la barbe). La contribution du col de l'épi et de la dernière feuille s'avère très faible avec un taux de 3%. Le processus de la

translocation contribue également à ce processus avec un niveau de 14%.

En conditions hydriques déficientes, l'apport des caractéristiques de l'épi se maintient toujours à un niveau très élevé pour atteindre 45%. On note également une particularité concernant le col de l'épi la dernière feuille dont les taux de contribution progressent pour atteindre des valeurs respectives de 15 et 12%. Les taux de participation de la barbe et l'ensemble des étages foliaires sont estimés, dans l'ordre à 12 et 16%. Enfin, la translocation des réserves des différents organes de la plante conserve toujours une participation mais cette fois elle s'annonce faible avec un niveau de 10%.

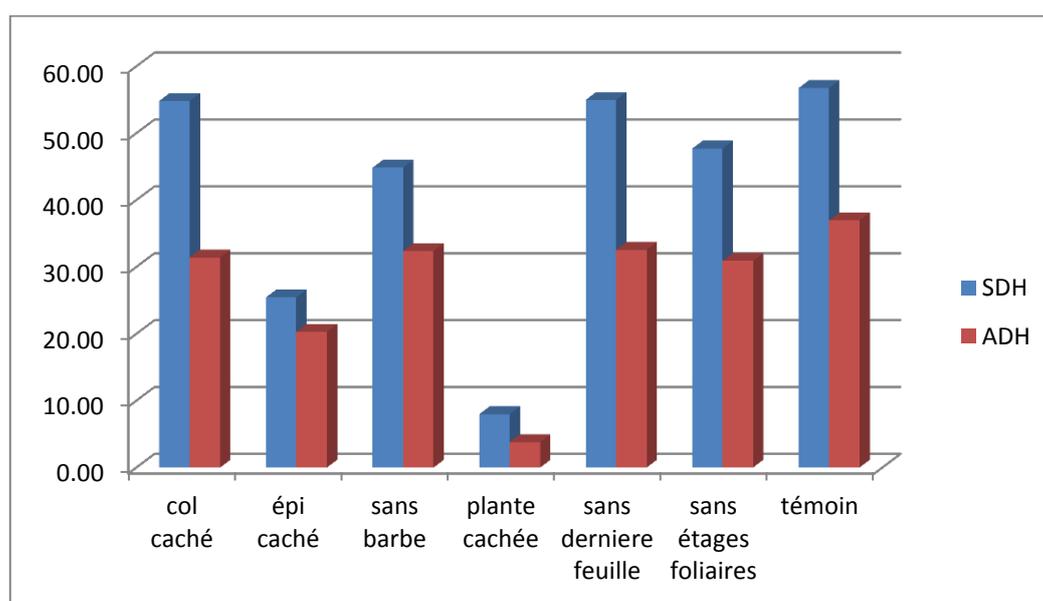


Figure 12: Influence des différents organes de la plante dans l'élaboration du PMG sous les deux situations hydriques (SDH, ADH), la variété Oued Zenati.

Tableau 18: Taux de contribution des différents organes dans le remplissage du grain chez la variété Oued Zenati, sous les deux régimes hydriques ADH et SDH.

| Les organes | Taux de contribution dans le remplissage du grain (100%) | |
|---------------------------|--|-----------------------|
| | Sans déficit hydrique | Avec déficit hydrique |
| Le col de l'épi | 03 | 14 |
| Les constituants de l'épi | 55 | 45 |
| La barbe de l'épi | 20 | 12 |
| La dernière feuille | 31 | 11 |
| Le système foliaire | 15 | 16 |
| La translocation | 14 | 10 |

Le génotype Langlois

Ce génotype local présente une particularité que le distingue des autres génotypes étudiés et concerne l'implication des organes dans le remplissage du grain. En effet, chez ce génotype, l'essentiel de la participation dans le remplissage est assuré par la translocation des réserves et non par la photosynthèse courante des différents organes de la plante. Au niveau des deux traitements hydriques, avec et sans déficit hydrique la participation de la translocation des réserves est évaluée à 41% dans le traitement témoin et 44% dans le lot conduit avec déficit hydrique.

Concernant les autres, dans le traitement conduit en conditions hydriques optimales (SDH), ce sont les paramètres de l'épi qui ont contribué d'une manière efficace dans le remplissage du grain avec un taux de 32%. Dans les mêmes conditions hydriques, la participation du col de l'épi et de la dernière feuille dans le remplissage du grain s'annonce faible avec des taux respectifs estimés à 8 et 4%.

En situation de déficit hydrique et en plus de la contribution de la translocation, ce sont surtout les paramètres de l'épi qui ont manifesté une participation plus importante dans le remplissage par leur photosynthèse courante à partir de l'anthèse chez ce génotype. Une similitude est constatée avec les résultats enregistrés au niveau du traitement témoin, où l'apport de la dernière feuille et le de l'épi reste faible avec des teneurs respectives évaluées à 4 et 5%. L'ensemble des étages foliaires de la plante ont manifestées une contribution moyenne dans le remplissage des grains avec une quantité de 12%.

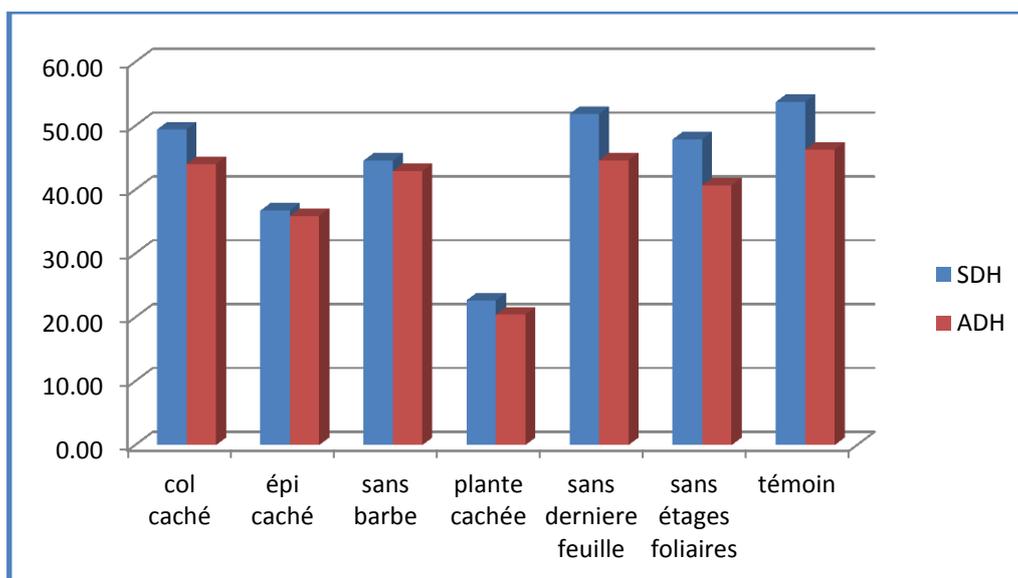


Figure 13: Influence des différents organes de la plante dans l'élaboration du PMG sous les deux situations hydriques (SDH, ADH), la variété Langlois.

Tableau 19: Taux de contribution des différents organes dans le remplissage du grain chez la variété Langlois, sous les deux régimes hydriques ADH et SDH.

| Les organes | Taux de contribution dans le remplissage du grain (100%) | |
|---------------------------|--|-----------------------|
| | Sans déficit hydrique | Avec déficit hydrique |
| Le col de l'épi | 07 | 05 |
| Les constituants de l'épi | 31 | 22 |
| La barbe de l'épi | 17 | 07 |
| La dernière feuille | 04 | 04 |
| Le système foliaire | 11 | 12 |
| La translocation | 42 | 44 |

1.2 Les paramètres anatomiques

Le col de l'épi joue un rôle important dans le remplissage du grain par sa photosynthèse courante à partir de l'anthèse et la remobilisation de ses réserves.

1.2.1 L'importance du parenchyme de réserves du col de l'épi

L'analyse des résultats obtenus (Tableau20) montre que l'importance du parenchyme de réserves est fortement influencé par les variations génotypiques et hydriques ($p < 0.001$).

L'interaction de ces deux facteurs influe également d'une manière hautement

significative sur les variations de ce paramètres ($p < 0.001$).

Les résultats moyens de l'importance du parenchyme de réserves (Tableau 21) montrent que dans les conditions d'alimentation hydrique optimale, les génotypes étudiés se divisent en deux groupes. Le premier groupe comporte les génotypes ACSAD1361 et Oued Zenati inscrivant les plus hautes valeurs, avec respectivement $190.91\mu\text{m} \pm 3.48$ et $153.71\mu\text{m} \pm 2.17$. Le second groupe comporte les génotypes, Mexicali75, Waha et Langlois, qui enregistrent ans l'ordre, 105.48 ± 6.50 , 97.89 ± 1.44 et $93.67\mu\text{m} \pm 1.78$. Dans les conditions d'irrigation limitante, les génotypes se distinguent en deux groupes. Le premier groupe comporte, Waha, ACSAD1361, Oued Zenati et Langlois avec respectivement, $121.1\mu\text{m} \pm 2.52$, $117.89\mu\text{m} \pm 1.47$, $117.46\mu\text{m} \pm 2.66$ et $109.4\mu\text{m} \pm 6.31$. Le second groupe est représenté par les génotypes, Mexicali75 avec $94.85\mu\text{m} \pm 2.16$.

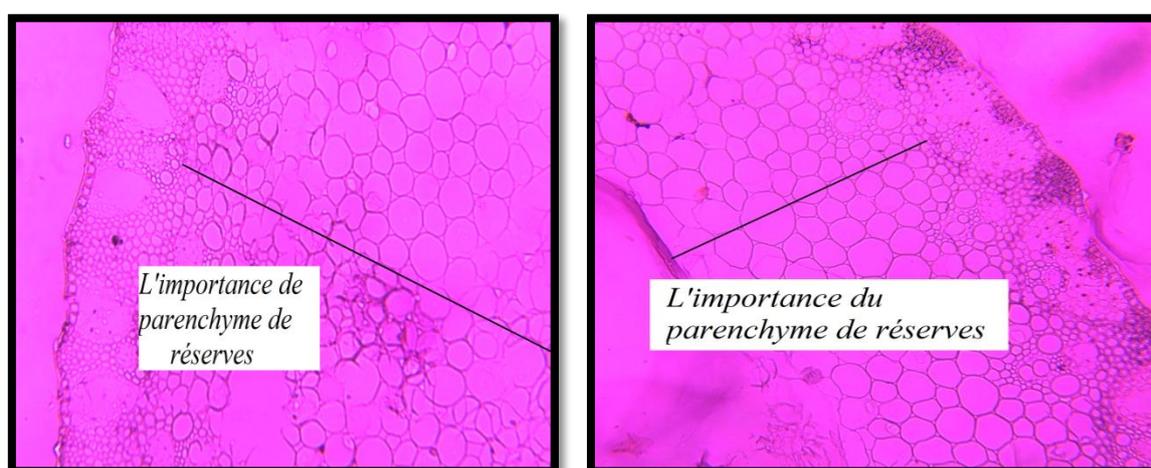


Figure 14: L'importance du parenchyme de réserves du génotype Oued Zenati (SDH et ADH) (gross 40)

Tableau 20: Analyse de la variance de la longueur de parenchyme de réserve de col de l'épi

| | l'importance du parenchyme de réserves | |
|--|--|-------------|
| | Test F | Probabilité |
| Génotype | 59.440*** | 0.0000 |
| Situation hydrique | 172.990*** | 0.0000 |
| Interaction génotype* situation hydrique | 72.450*** | 0.0000 |

***significatif à ($p < 0.001$)

Tableau 21: Les résultats moyens de la longueur de parenchyme de réserve de col de l'épi

| Génotype | La situation hydrique | La longueur de parenchyme de réserve | Std.Err |
|-------------|-----------------------|--------------------------------------|---------|
| Waha | ADH | 117.89 | 1.47 |
| ACSAD 1361 | ADH | 121.7 | 2.52 |
| Mexicali 75 | ADH | 94.85 | 2.16 |
| Oued zenati | ADH | 109.4 | 6.31 |
| Langlois | ADH | 117.46 | 2.66 |
| Waha | SDH | 97.89 | 1.44 |
| ACSAD 1361 | SDH | 190.91 | 3.48 |
| Mexicali 75 | SDH | 105.48 | 6.50 |
| Oued zenati | SDH | 153.71 | 2.17 |
| Langlois | SDH | 93.67 | 1.78 |

1.2.2 L'importance de l'écorce primaire

Cette partie de la structure du col de l'épi, par son positionnement périphérique bénéficiant de la disponibilité de la lumière serait active dans le remplissage du grain par sa photosynthèse courante. Il serait évident alors que la photosynthèse nette soit conditionnée par l'importance de ce parenchyme chlorophyllien de cette partie de la tige. Les variations de cette importance s'annoncent conditionnées seulement par la nature des génotypes, ce qui pourrait l'assimiler à un paramètre de criblage efficace et stable. Ainsi, l'analyse des données obtenus (Tableau22) se rapportant à ce paramètre indiquent que seule la nature des génotypes imposent des variations significatives de ce paramètre ($p < 0.01$). La situation hydrique ne présente aucun effet sur les variations de cette caractéristique ($p > 0.05$). Des distinctions génotypiques apparaissent, en réaction du déficit hydrique appliqué ($p < 0.05$).

Les résultats moyens (Tableau24) montrent que les variations des valeurs détenues par ce paramètre entre les deux situations hydriques semblent faibles. Dans le traitement stressé, l'importance de l'écorce primaire révélée est comprise entre 26.66 μm donnée par le génotype ACSAD1361 et 32.57 μm enregistré par le génotype Oued Zenati. Dans le traitement irrigué, les valeurs enregistrées sont comprises entre 33.57 $\mu\text{m} \pm 1.77$ et 27.19 $\mu\text{m} \pm 0.89$.

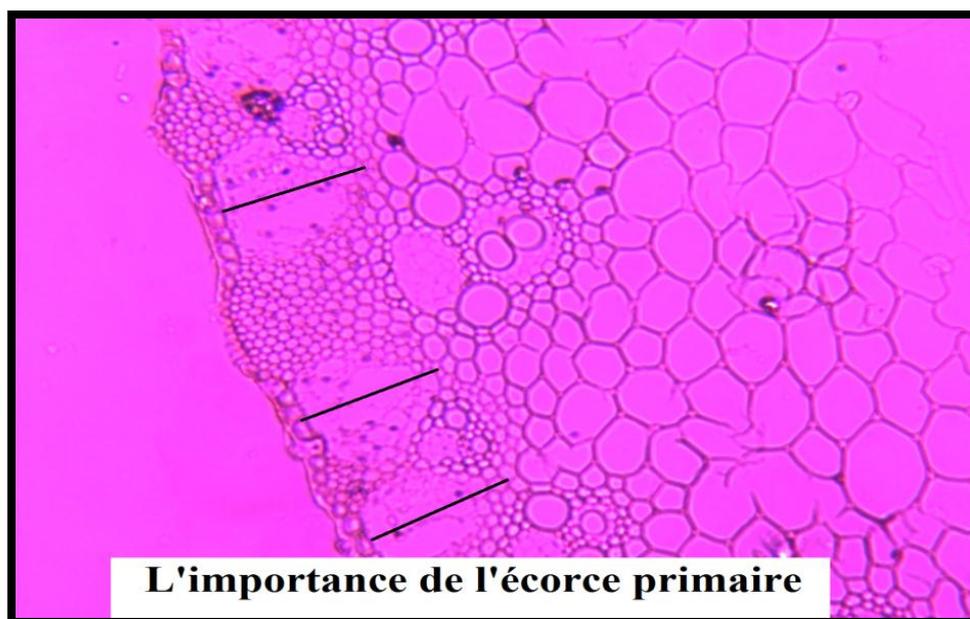


Figure 15: L'importance de l'écorce primaire du col de l'épi (gross 40)

Tableau 23: Analyse de la variance de l'importance de l'écorce primaire de col de l'épi

| | L'importance de l'écorce primaire | |
|---|-----------------------------------|-------------|
| | Test F | Probabilité |
| Géotype | 5.382** | 0.0042 |
| Situation hydrique | 0.041ns | 0.8406 |
| Interaction géotype* situation hydrique | 3.349* | 0.0297 |

*significative à $p < 0.05$, **significatif à $p < 0.01$

Tableau 24: Les résultats moyens de de l'importance de l'écorce primaire de col de l'épi

| Géotype | La situation hydrique | L'importance de l'écorce primaire | Std.Err |
|-------------|-----------------------|-----------------------------------|---------|
| Waha | ADH | 30.69 | 2.78 |
| ACSAD 1361 | ADH | 28.05 | 0.53 |
| Mexicali 75 | ADH | 33.57 | 1.77 |
| Oued zenati | ADH | 27.19 | 0.89 |
| Langlois | ADH | 33.56 | 1.31 |
| Waha | SDH | 30.77 | 0.87 |
| ACSAD 1361 | SDH | 26.66 | 0.58 |
| Mexicali 75 | SDH | 31.15 | 0.79 |
| Oued zenati | SDH | 32.57 | 0.68 |
| Langlois | SDH | 31.10 | 0.31 |

1.2.3 Le diamètre des cellules parenchymateuses

Le diamètre des cellules parenchymateuses de col de l'épi constitue un paramètre grandement adhérent dans le transfert des assimilats vers la graine au cours du remplissage.

Les résultats de l'analyse de la variance, démontre l'absence d'un effet de déficit hydrique perceptible sur les variations de ce paramètre. Cependant, de grandes variations du diamètre des cellules parenchymateuses sont constatées parmi les génotypes testés ($p < 0.01$).

Les résultats obtenus des mesures de ce paramètre (Tableau26) indiquent qu'au niveau du lot conduit en conditions d'irrigations optimales (SDH), les valeurs du diamètre des cellules parenchymateuses révélées sont comprises entre $18.70\mu\text{m} \pm 1.49$ donnée par le génotype Oued Zenati et $19.29\mu\text{m} \pm 1.32$ enregistré chez le génotype Langlois. Dans les conditions de déficit hydrique, on distingue deux groupes, dans le premier groupe se rassemblent les génotypes Mexicali75, Oued Zenati et Waha avec des valeurs respectives de $21.67\mu\text{m} \pm 1.98$, $19.77\mu\text{m} \pm 1.83$ et $18.05\mu\text{m} \pm 0.79$. Le second groupe englobe les génotypes Langlois et ACSAD1361 dont les données s'équivalent approximativement et qui sont dans l'ordre de $15.29\mu\text{m} \pm 0.97$ et $12.61\mu\text{m} \pm 1.16$.

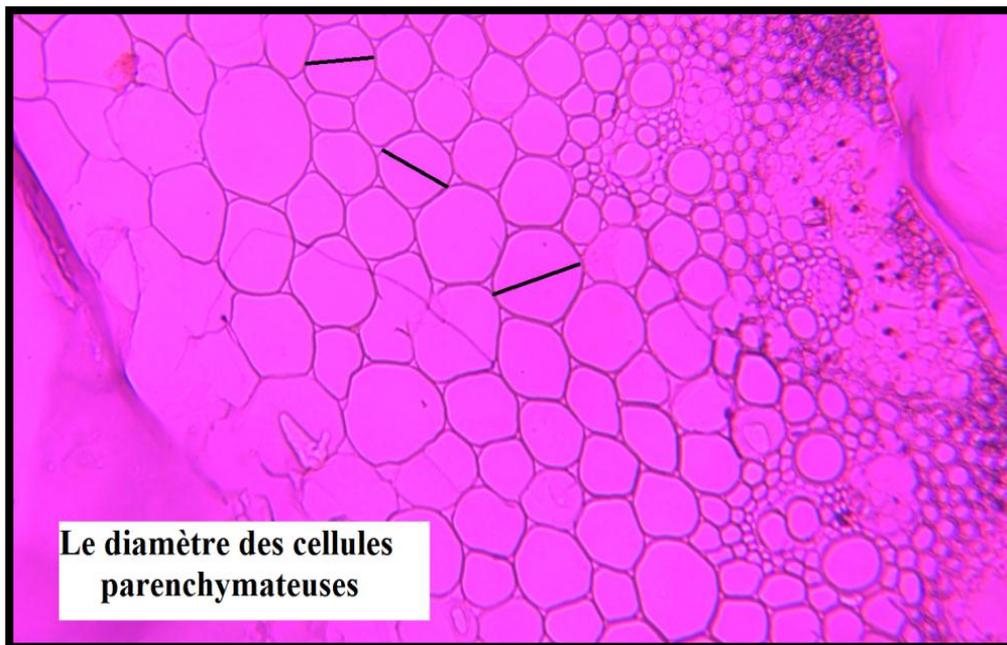


Figure 16: Le diamètre des cellules parenchymateuses de génotype Oued Zenti (gross 40)

Tableau 25: Analyse de la variance de diamètre des cellules parenchymateuses de col de l'épi.

| | Le diamètre des cellules parenchymateuses | |
|--|---|-------------|
| | Test F | Probabilité |
| Génotype | 4.960** | 0.0061 |
| Situation hydrique | 0.007ns | 0.9329 |
| Interaction génotype* situation hydrique | 1.208ns | 0.3383 |

**significatif à $p < 0.01$, ns non significatif

Tableau 26: Les résultats moyens de diamètre des cellules parenchymateuses de col de l'épi.

| Génotype | La situation hydrique | Le diamètre des cellules parenchymateuses | Std.Err |
|-------------|-----------------------|---|---------|
| Waha | ADH | 18.05 | 0.79 |
| ACSAD 1361 | ADH | 12.61 | 1.16 |
| Mexicali 75 | ADH | 21.65 | 1.98 |
| Oued zenati | ADH | 19.77 | 1.83 |
| Langlois | ADH | 15.29 | 0.97 |
| Waha | SDH | 18.49 | 1.00 |
| ACSAD 1361 | SDH | 16.08 | 2.08 |
| Mexicali 75 | SDH | 18.37 | 2.33 |
| Oued zenati | SDH | 18.70 | 1.49 |
| Langlois | SDH | 15.29 | 1.32 |

III.2. Résultats de l'expérimentation n°02

2.1 La cinétique de remplissage du grain

L'évolution relative moyenne du poids sec du grain présente un accroissement dans le temps pour l'ensemble des traitements hydriques adoptés (Figure 17, 18, 19). Néanmoins cette élévation présente une divergence en fonction, de la contribution des organes retenus, du temps de mesure et du traitement hydrique concerné.

Au niveau du traitement témoin conduit à 100%CC, l'évolution relative (Fig.17) s'annonce la plus importante au niveau de la plante et au cours de la première période, la seconde et la troisième période de mesure. Selon les mêmes critères, c'est à l'échelle de la plante cachée que cette évolution s'annonce la plus faible. Au cours de la quatrième période de prélèvement, c'est au niveau des plantes à col caché que cette évolution se présente comme la plus importante. D'une manière générale et sous ces conditions hydriques (100%CC), l'évolution relative est optimale au niveau de l'ensemble des dispositifs, sauf au niveau des

plantes cachées où la translocation des réserves en occupe une place importante que cette dernière s'avère la plus faible.

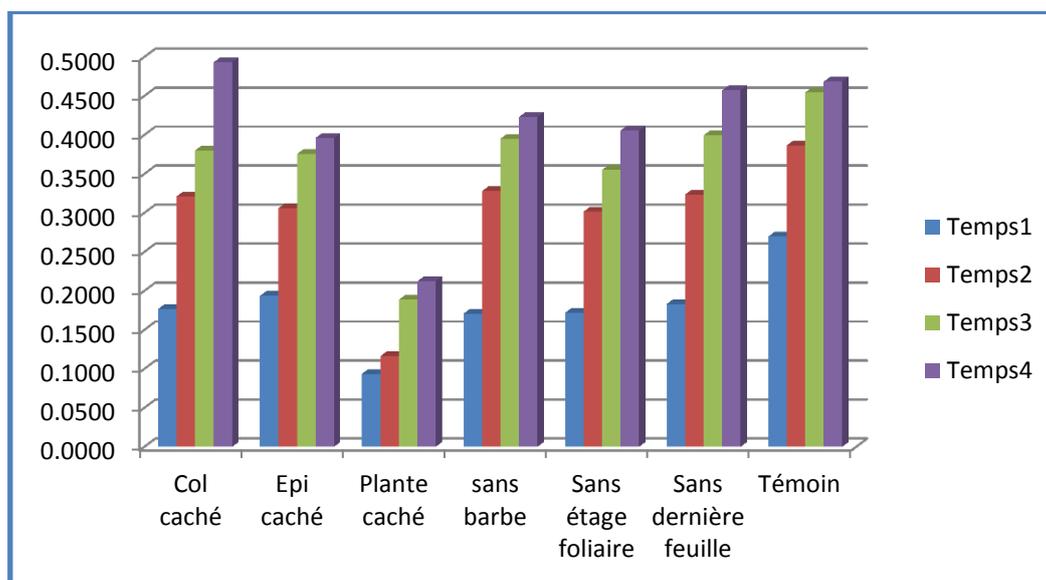


Figure 17 : Evolution relative moyenne de la matière sèche des grains en fonction du temps au niveau du lot témoin (100%CC)

Dans le lot conduit à 60%CC, l'évolution relative s'annonce la plus élevée chez les plantes témoins. Comparativement aux résultats observés au niveau du lot témoin (100%CC), on constate un rattrapage des autres dispositifs par accroissement de leurs évolutions relatives respectives, notamment en ce qui concerne la translocation des réserves. A ce niveau d'alimentation hydrique et par réduction de l'activité photosynthétique courante, on remarque une diminution de l'évolution relative au niveau des plantes dépourvues de leurs dernières feuilles.

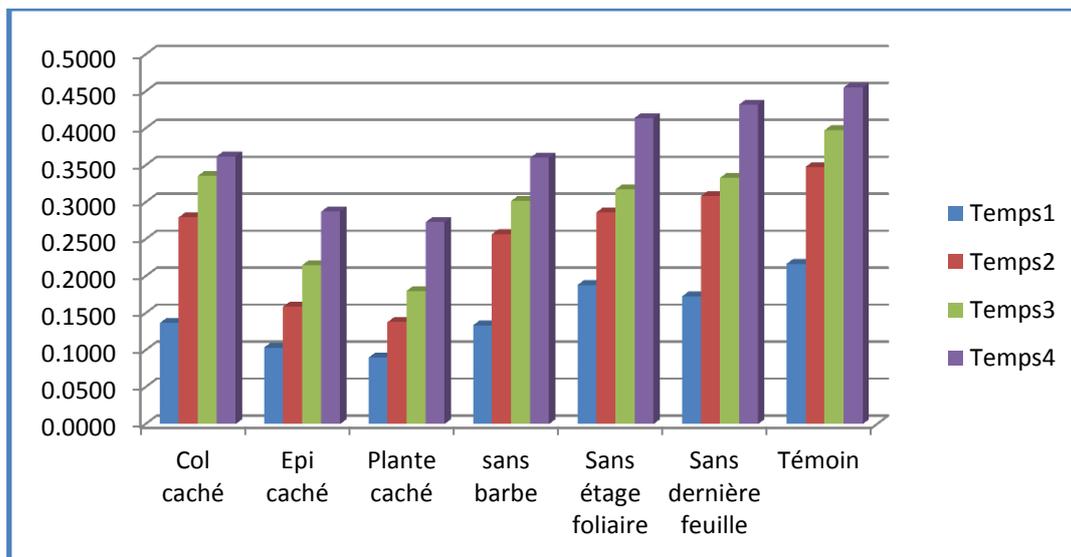


Figure 18: Evolution relative moyenne de la matière sèche des grains en fonction du temps au niveau du lot conduit à 60%CC.

Au niveau du lot conduit à 30%CC, l'accroissement de l'évolution relative (Fig.19) s'annonce identique d'une manière générale à l'échelle de tous les dispositifs adoptés. A ce rang d'alimentation hydrique (60%CC), on remarque un réajustement de l'activité de translocation des réserves pour le remplissage des grains et l'acquisition de son poids final. Elle se présente même comme la plus importante lors de la quatrième période de mesure.

Ces résultats indiquent que le degré d'atténuation de l'activité des organes impliqués dans le remplissage du grain, on assiste toujours à une compensation des rôles entre ces organes. L'ampleur de cette compensation reste évidemment conditionnée par la nature de l'organe concerné.

Un intéressant résultat se dégage de cette étude et mérite d'attirer l'attention. Il se rapporte au fait que dans les conditions d'alimentation hydrique optimale, le remplissage des grains est basé essentiellement sur la photosynthèse courante des organes impliqués pendant cette phase. Tandis qu'en conditions de déficit hydrique, c'est le mécanisme de la translocation des réserves qui est majoritairement responsable de remplissage du grain chez le blé dur.

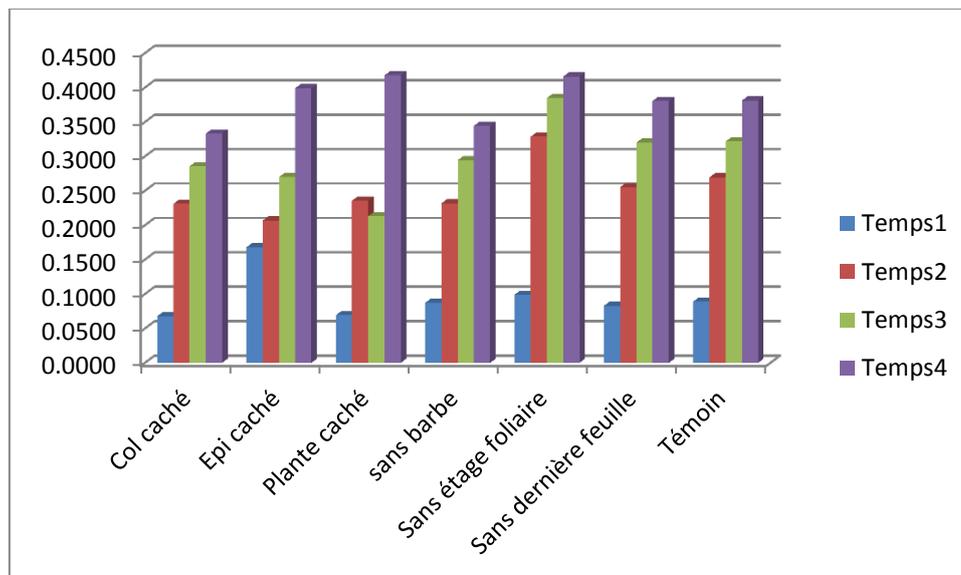


Figure 19: Evolution relative moyenne de la matière sèche des grains en fonction du temps au niveau du lot conduit à 30%CC

2.2 La cinétique de l'évolution du diamètre du grain

L'évolution du diamètre des grains en fonction du temps et du traitement hydrique emprunte une tendance différente au niveau des deux traitements hydriques conduits à 100 et 60%CC, que celle constatée pour l'évolution de la matière sèche. Par contre au niveau du lot où le déficit hydrique était la plus accentué, une similitude a été remarquée pour la tendance de l'évolution relative entre ces deux paramètres.

Au niveau du lot témoin (100%CC), l'évolution relative du diamètre du grain a été significativement plus importante au niveau des plants témoins que ceux des autres dispositifs. Avec l'accentuation du déficit hydrique (60%CC, 30%CC), on remarque le rétablissement d'une compensation entre les différents processus de remplissage où la différence entre les plants témoins et les autres dispositifs se réduisent. Ainsi, l'écart imposé par le déficit hydrique qui réduit l'activité photosynthétique courante se trouve compensé par le déclenchement de la migration des réserves contenues dans les différentes parties de la plante par le mécanisme de la translocation. Cette constatation se confirme d'avantages au niveau du lot conduit à 30%CC où le déficit s'avère le plus sévère, où l'évolution relative du diamètre des grains s'égalise entre les plantes issues des différents dispositifs retenus dans cette étude.

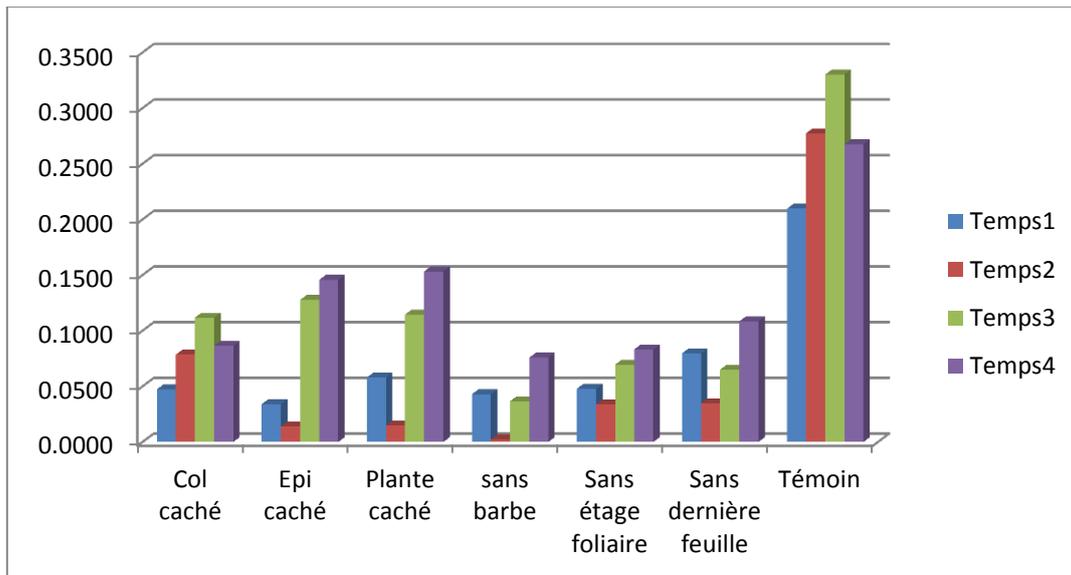


Figure 20 : Evolution relative moyenne du diamètre des grains en fonction du temps au niveau du lot témoin (100%CC)

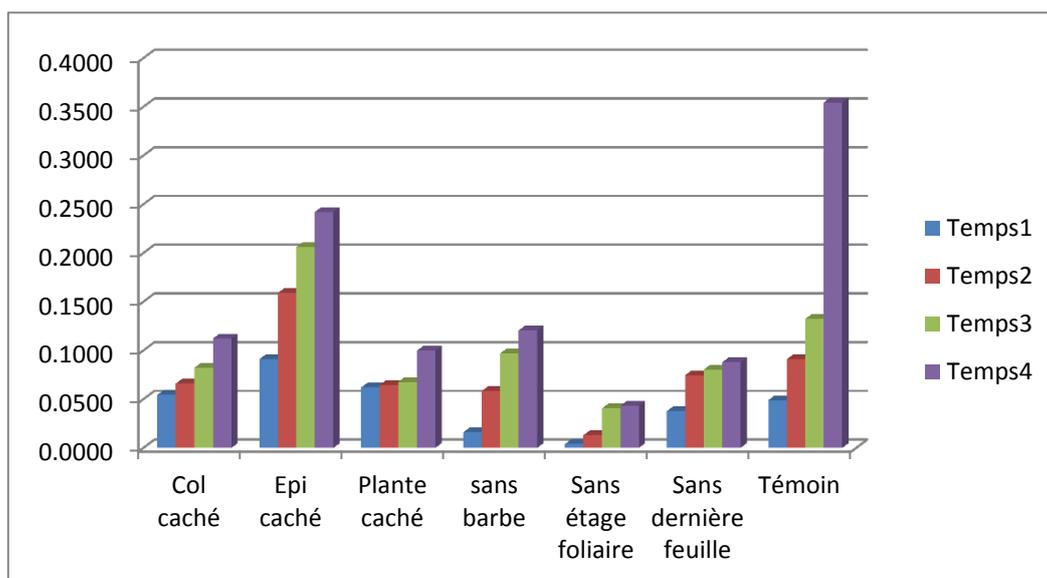


Figure 21: Evolution relative moyenne du diamètre des grains en fonction du temps au niveau du lot conduit à 60%CC

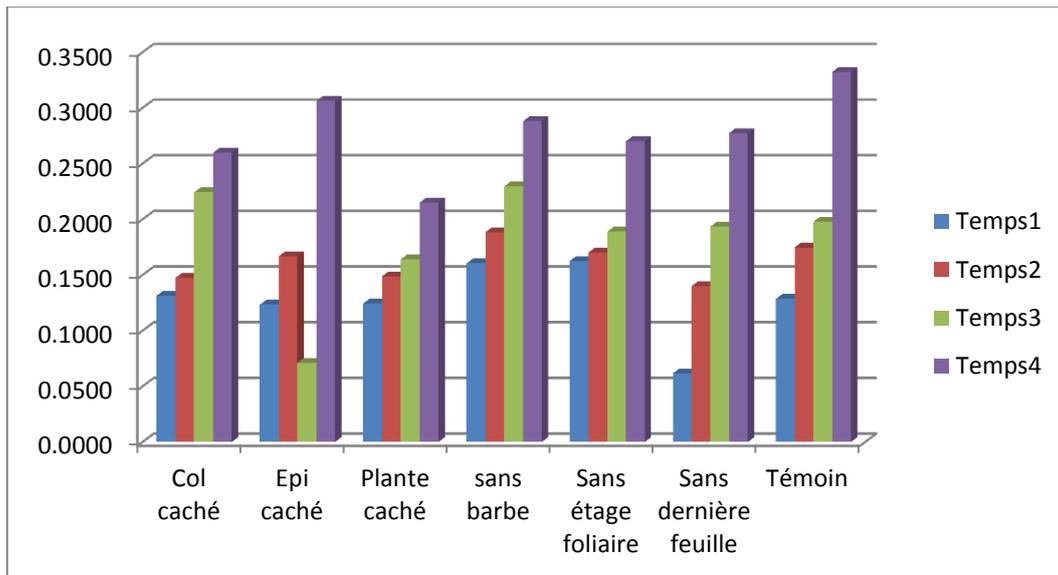


Figure 22: Evolution relative moyenne du diamètre des grains en fonction du temps au niveau du lot conduit à 30%CC

Chapitre IV :

Discussion Des Résultats

IV. Discussion des résultats

Le processus de remplissage du grain constitue une phase primordiale dans l'élaboration du poids et de la qualité du grain chez le blé dur. Cependant, Il est fréquemment soumis à des contraintes environnementales notamment la sécheresse.

La sécheresse par les variations de son intensité affecte différemment, selon la nature du génotype, le déroulement de processus de remplissage des grains, et module les conditions d'élaboration de rendement en grain et leur composition finale.

L'élaboration du poids et de la qualité du grain résultent de l'implication de différents organes, dont on cite essentiellement, la dernière feuille, le col de l'épi, les enveloppes du grain et la barbe. Ces derniers contribuent par la mise à la disponibilité du grain les photo-assimilats résultats de leur activité photosynthétique au cours de cette phase. Une autre source aussi indispensable au remplissage du grain, se rapporte à la migration des réserves contenues dans les différents organes de la plante, et qualifiée de la translocation. L'apport de ces organes selon les deux voies évoquées, restent tributaires des paramètres environnementaux, où le facteur hydrique en constitue l'élément majeur.

On remarque dans une première étape que le remplissage du grain et l'aboutissement à son poids final dépend étroitement de la situation hydrique adoptée. Ainsi, la déclaration du déficit hydrique pendant la phase de formation du grain affecte négativement les valeurs de son poids et le serait inévitablement pour sa composition. Les résultats obtenus durant ce travail confirme ces effets, où ont relevé une relation négative entre le poids de mille grains et l'installation du déficit hydrique ($r=-0.415^{**}$). Ce résultat se confirme par les travaux (MEGHRABI *et al.*, 2013) qui démontrent que le poids de mille grains se compte parmi les composantes du rendement les plus sensibles aux variations de l'alimentation hydrique de la plante et ce à partir de la phase d'anthèse.

Néanmoins, l'influence du déficit hydrique sur le remplissage du grain dépend des facultés de tolérance de chaque génotype concerné. Cette tolérance se serait que la capacité de protection des voies de disponibilité des substances hydrocarbonées indispensables à ce remplissage. La tolérance concernerait l'activité et la longévité des différents organes précités et responsable de ce processus.

Il faut noter dans ce contexte que l'importance de la contribution de chacun des organes de la plante reste liée à la nature du génotype et le niveau d'alimentation hydriques

des plantes. Les constituants de l'épi par leur photosynthèse courante assurent la plus importante part de la disponibilité des substances de réserve du grain. Parmi, ses constituants, les enveloppes du grain et même le grain durant ses premières phases de développement contribuent à un niveau plus élevé que les autres organes dans ce processus de remplissage. Ce résultat se confirme par les travaux de **MAYDUP *et al.* (2014)**, qui montre l'importance des constituants de l'épi dans la formation du grain. En conditions hydriques limitantes, la barbe semble avoir également une participation importante dans ce processus. De nombreux travaux (**BORT *et al.*, 1994; MAYDUP *et al.*, 2014**) démontrent l'importance de la barbe dans la formation des grains chez les céréales. Dans ces mêmes conditions et avec une limitation de la longévité des organes et leurs activités photosynthétiques, la contribution de la translocation des réserves dans le remplissage est importante.

Les constatations faites pour le dispositif sec se présentent différentes en comparaison avec le lot irrigué où les implications des différents organes s'annoncent différentes. A ce niveau, où le flux de la sève ne se trouve nullement ralenti par le manque d'eau, les photoassimilats émanant de l'ensemble des organes photosynthétiques durant cette phase, sont par conséquent exploités dans le processus de remplissage.

L'utilisation des paramètres structuraux tel l'importance des parenchymes de réserves et de l'écorce primaire ainsi le diamètre des cellules parenchymateuses du col de l'épi est incluse dans le but d'évaluer les capacités de ce organe dans le stockage et le transfert des assimilats en situation de déficit hydrique.

Ainsi, toute modification de la structure interne de la plante constitue une meilleure indication de tolérance au déficit hydrique.

Ce dernier tel qu'a été défini dans cette expérimentation semble avoir un effet important sur l'importance du parenchyme de réserves. L'augmentation de son intensité provoque une réduction notable de ce dernier ($r = -0.501^{***}$)(Tableau28).

Les résultats obtenus notent la présence d'une corrélation positive entre le poids de mille grains et l'importance de parenchyme de réserves ($r = 0.418^{**}$), l'importance de l'écorce primaire ($r = 0.559^{***}$) (Tableau28) et le diamètre des cellules parenchymateuses ($r = 0.339^{**}$) (Tableau28).

L'augmentation du diamètre des cellules parenchymateuses ainsi l'importance de parenchyme de réserves et de l'écorce primaire contribue majoritairement dans la migration

des assimilats vers la graine, et participe à l'élaboration de la qualité du grain.

Notre deuxième expérimentation se rapporte essentiellement sur l'estimation du taux de contribution des différents organes étudiés dans le remplissage du grain à travers l'étude de la cinétique de remplissage. Cette évaluation est en fonction de la situation hydrique imposée.

En effet, dans les conditions optimales, le remplissage des grains est basé essentiellement sur la photosynthèse courante des organes impliqués pendant cette phase. Tandis qu'en conditions de déficit hydrique, c'est le mécanisme de la translocation des réserves qui est majoritairement responsable de remplissage du grain chez le blé dur. Ceci se confirme par les travaux de **BELKARCHOUCHE *et al.*, 2009**, qui indique que sous les conditions favorables de fin de cycle, l'essentiel du rendement en grains vient surtout de l'activité photosynthétique qui a lieu au cours de la pré anthèse.

L'évolution de diamètre du grain est liée au phénomène de remplissage et l'accumulation des réserves vers la graine. D'après les résultats obtenus, l'évolution du diamètre des grains en fonction du temps et du traitement hydrique adopté.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le déficit hydrique constitue l'un des principaux facteurs responsables des faibles rendements chez le blé dur. Cependant, l'impact de ce stress abiotique sur la productivité de cette espèce, dépend de son intensité et le temps de sa déclaration.

Les phases de formation du grain pour l'acquisition de son poids et sa qualité se considèrent comme des étapes déterminantes dans l'élaboration du rendement chez le blé dur. Tous désordres affectant l'alimentation hydrique de la plante durant cette période provoqueront certainement des perturbations dans le processus. La déclaration du déficit hydrique durant ces phases tardives et déterminantes dans le cycle de développement de la plante, affecte négativement le rendement et la qualité du grain qui lui est la principale et la déterminante composante.

La recherche et la détermination des mécanismes qui seraient impliqués dans l'amélioration des facultés de tolérance à ce stress chez la plante, est d'un apport primordial dans la protection de la réalisation du processus de formation à l'égard du déficit hydrique. Ces mécanismes se rapportent à la longévité et l'activité des organes impliqués dans la formation du grain, sous des conditions régies par le déficit hydrique.

Les résultats obtenus par la réalisation du présent travail informent que l'implication de chacun des organes concernés dans le remplissage du grain et l'élaboration de sa qualité dépend étroitement des conditions d'alimentation hydrique de la plante. Si on évoque que le remplissage est assuré par une photosynthèse courante et une translocation des réserves, c'est la part de contribution de chacun des deux processus qui implique cette dépendance. Une première constatation indique que sous les conditions hydriques déficientes, le remplissage du grain repose essentiellement sur le phénomène de la translocation des réserves contenues dans les différentes parties de la plante. Une activité considérée comme compensatoire de la diminution de l'activité photosynthétique courante des organes dont la longévité est limitée en conditions de déficit hydrique. Dans ces mêmes conditions, la contribution de la photosynthèse courante concerne essentiellement, les enveloppes de l'épi et le col de l'épi. Pour le col de l'épi son apport est conditionné par l'importance du parenchyme de réserves et le parenchyme chlorophyllien de l'écorce primaire.

Dans les conditions d'alimentation hydrique optimale, l'activité photosynthétique courante des différents organes et principalement les constituants de l'épi et le système foliaire, est déterminante dans le processus de remplissage du grain.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- ADDA A, SOUALEM S., LABDELLI A., SAHNOUNE M., MERAH O., 2013.** Effets du déficit hydrique sur la structure de la zone pilifère des racines séminales du blé dur. *Revue écologie-environnement* ,9. ISSN: 1112-5888.
- AYED S., CARMOUS C., SLIM A., AMARA H., 2010.** Génétique variation of durum wheat landraces using morphological and protein markers. *Africa journal of biotechnology* , 49:8277-8282.
- BAHLOULI F., BOUZERZOUR H., BENMAHAMMED A. AND HASSOUS, K. L., 2005.** Selection of high yielding and risk efficient durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars under semi-arid conditions. *Agro*, 4: 360-365.
- BALDY C., 1974.** Quelques réflexions concernant les caractères du rendement du blé dur *Ann. Amélioration des plantes*, 24(2) :193-199.
- BARRON C., ABECASSIS S., CHAURAND M., LULLIEN P., MABILLE F., ROUAU X., SADOUDI A., SAMSON M., 2012.** Accès à des molécules d'intérêt par fractionnement par voie sèche. *Innovation Agronomique*, 19 :51-62.
- BATTAIS F., RECHARD C., LEDUC V., 2007.** D'allergènes du grain de blé. *revu française d'allergologie et d'immunologie clinique* ,47 :171-174.
- BELGUENDOZ A., 2008.** Etude de la contribution des différents organes végétatifs dans le remplissage du grain du blé dur (*Triticum durum* DESF.) sous l'influence du déficit hydrique en plein champ. Mémoire d'Ingénieur d'Etat En Sciences Agronomiques. Université Ibn Khaldoun.Tiaret.
- BELKHARHOUCHE H., FELLAH S., BOUZERZOUR H., BENMAHAMMED A., CHELLAL N., 2009.** Vigueur De Croissance, Translocation Et Rendement En Grains Du Ble Dur (*Triticum Durum* Desf) Sous Conditions Semi Arides. *Courrier Du Savoir* ,09 :17-24.
- BELMOUAZE D., 2014.** Contribution à l'étude des mécanismes morphologique, physiologique, structuraux et biochimiques des résistances à la sécheresse chez le

blé dur (*Triticum Durum* Desf.). Mémoire de Master. Université Ibn Khaldoun.

- BENBELKACEM A., KELLOU K., ZARAGOZA C., 2000.** Evaluation des progrès génétique chez quelques variétés De blé dur (*Triticum Turgidum.L.Var .Durum*) cultivées en Algérie. Option Méditerranéennes,40 :105-110.
- BLUM A., SHPILER L., GOLAN G., MAYER J., SINMENA B., 1991.** Mass selection of wheat for grain filling without transient photosynthesis. Euphytica 54 : 111-116,
- BOGARD M., 2012.**Analyse génétique et écophysologie de l'écart à la relation teneur en protéines - rendement en grains chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Ecole Doctorale Sciences de la Vie, Santé, Agronomie, Environnement.
- BORT J., A FEBRER O., AMARO T., ARAUS J.,1994.** Role of awns in ear water-use efficiency and grain weight in barley. Agronomie, EDP Sciences,14 :133-139.
- BRANLARD J., PUJOS E., NADOUD L., BENCEL E., PIQUET A., 2012.**Nouveaux outils pour une analyse fine de la composition des grains. Innovations Agronomiques, 19: 37-49.
- CHENNAFI H., MAKHLOUF M., AYADI A.J., 2010.** Réponse des variétés contrastées de blé dur (*Triticum durum* Desf.) à la date d'implantation sous semis direct en milieu semi-aride. *Options Méditerranéennes, n 96 : 63 -70.*
- DEBITON, 2010.** Identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum* L.) favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées isogéniques waxy.Thèse de doctorat.
- DHAOU-EL-DJABINE K., KARA Y., 2012.** Effets du Stress Thermique sur le Rendement en Grains de Quelques Variétés de blé dur Cultivées en Zone Semi-Aride. Identification D'espèces Tolérantes Pour L'amélioration de la Production en Algérie . European Journals Publishing, Inc..Vol.1 :138-147.
- DIB A T., MONNEVEUX P., ARAUS J., 1992. DOVIDIO R., ORONZO A., TANZARELLA.ENRICO P., 1991.** Adaptation à la sécheresse et Notion d'idiotype chez le blé dur. II: Caractères physiologiques d'adaptation. Agronomie

12: 381-393.

D'OVIDIO R., ORONZO A. PORCEDDU T., PORCEDDU E., 1991. Cloning and sequencing of a PCR amplified gamma-gliadin gene from durum wheat (*Triticum Turgidum* (L.) Thell. conv. *Durum* (Desf.) MK.) Plant Science, 75: 229-236.

EL FAKHRI M., MAHBOUB S., BENCHEKROUN M., NSARELLAH N., 2011. Grain filling and stem accumulation effects on durum wheat (*Triticum Durum* Desf.) yield under drought. Nature & Technology, 07 : 67-73.

ERCOLI L., LULLI L., MARIOTTI M., ALESSANDRO MASONI A., ARDUINI I., 2008. Post-anthesis dry matter and nitrogen dynamics in durum wheat as affected by nitrogen supply and soil water availability. European journal of Agronomy 28:138–147.

FARINEAU J., MOROT-GAUDRY J.F., 2006. La Photosynthèse, Processus Physique , Moléculaire Et Physiologique. INRA.402P

FEILLET P., 2000. Le grain du blé : composition et utilisation. Mieux comprendre. INRA. ISSN : 1144-7605. ISBN : 2- 73806 0896-8.94-100.

FELDMAN M., LEVY A., 2005. Allopolyploidy –a chaping force in the evolution of wheat genomes. Cytogenet Gynomeres, 109: 250-258.

FELLAH A., BOUZERZOUR H., BENMAHAMMED A., DJEKOUN A., 2000. Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Actes Inst. Agron.Vet., 22(3):161-168.

FERISSE R., MAROC B., PIERRE M., 2014. grain filling duration and glutenin polymerization under variable nitrogen supply and environmental conditions for durum wheat .field crops research ,171: 23-31.

GATE P., 1995. Ecophysiologie du blé, Edit. Lavoisier, Paris, Techniques et Documentations, 429 .

GREGOVÁ E., MEDVECKÁ E., JÓMOVÁ K., ŠLIKO S., 2012. Characterization of durum wheat (*Triticum Durum* desf.) quality from gliadin and glutenin protein

composition,1 :610-615.

HARGAZ H., 2007. Identification et sélection des caractères de résistance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum Durum* Desf.) dans les conditions semi-aride des hauts plateaux de Sétif. Mémoire de magister. Institut National D'agronomie El Harrach , Alger.

HAZMOUNE T., 2000. Erosion des variétés de blé dur cultivées en Algérie, perspectives. Options méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens,40 :192-194.

JAHIER J., BOULOS C., ALAIN C.,2006. La domestication des plantes de la cueillette à la poste-génomique .biofutur,22 :266p.

LABDELLI A., ADDA A., SOULEM S., 2013. Étude des caractères morphologiques et anatomiques des racines séminales du blé dur (*Triticum durum* Desf.) soumis au déficit hydrique en milieu hydroponique. Revue Ecologie-Environnement (9). ISSN : 1112-5888.

MAHPARA S ., HUSSAIN S, FAROOQ J., 2014. drought tolerance studies in wheat (*triticum aestivum* l.). Cercetări Agronomice In Moldova,4 :160.

MAYDUP M.L., ANTONIETTA C., GRACIANO M., GUIAMET J.J., TAMBUSSI E.A, 2014. The contribution of the awns of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) to grain filling: Responses to water deficit and the effects of awns on ear temperature and hydraulic conductance. Field Crops Research 167:102–111.

MEGHREBI A., MEHDADI Z., TOUMI F., MOUEDDENE K.,BOUADJRA B., 2013. tolérance à la sécheresse du blé dur (*Triticum Durum* desf.) et identification des paramètres morpho-physiologiques d'adaptation dans la région de sidi bel-abbés (Algérie occidentales). Marchell University, 1072954 :37-41.

MEKLCHE A., BOUKACHA D., HANIFI-MECLICHE L., 2003. Etude de la tolérance a la sécheresse de quelques variétés de blé dur (effet de l'irrigation de complément sur les caractères phréologiques morphologiques et physiologiques. annales d'institut national agronomique, 24 :1p

- MESTIRI I., VÉRONIQUE C., MARIE A., CECIL H., VIRGINIE H.,BELCRAM H.,OLIVIER C., BOULOS C.,JAHIER J.,2010.**newly synthesized wheat allohexaploids display progenitor – dependent meiotic stability and aneuploidy but structural genome additivity.new phytologist, 186: 86-101.
- MONNEVEUX P., REKIKI D., ACEVEDOE., MERAH O., 2006.** Effect of drought on leaf gas exchange, carbon isotope discrimination, transpiration efficiency and productivity in field grown durum wheat genotypes, Plant Science 170: 867–872.
- MONNEVEUX P., NEMMAR M., 1986.** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre. Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. Agronomie 06 :583-590.
- NAVILLE M ., 2005.** La biodiversité des espèces cultivées : Analyse dans le cas de blé. Université paris. Boutiques des sciences.
- PEREYRA, M., DEL M., TORROBA C., 2003.** Molecular and physiological responses to water deficit in wheat (*Triticum aestivum* L.). Agronomia - UNLPam Vol.14; 2p.
- SAULINIER LUC., 2012.** Les grains de céréales diversité et composition nutritionnelles. Cahiers de nutrition et diététique ,47 : 4-15.
- SESTILI F., JANNI M., DOHERTY A., BOTTICELLA A., D'OVIDIO R., MASCI S., JONES H.D., LAFIANDRA D. 2010.** Increasing the amylose content of durum wheat through silencing of the SB1la genes. Plant Biology 10 :144.
- SIMON H., CODACCIONI P., LECOEUR X., 1989.** Produire des céréales à paille. Technique et documentation, 333p.
- SLAMA A., BEN SALEM M., BEN NACEUR M., ZID E., 2005.** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. Article De Recherche, 16 : 225-9.
- SRAMKOVA Z., GREGOVA E.,ERNEST S., 2009.** Chemical composition and nutritional quality of wheat grain. Acta Chimica Slovaca,volume(2) n°1: 115-138.

- SURGET A., BARRON C., 2005.** Histologie du grain de blé. Industrie des céréales,145: 7p.
- TRIBOI E., NTONG J., 1993.** Effet de l'azote et du rayonnement sur le développement de feuilles et de l'épi chez le blé d'hiver mise en place de l'appareil foliaire et de la structure et de la structure de l'épi. Agronomie,13: 253-265.
- ZERRAD W, MAATAOUI BS, HILALI S, EL ANTRI S. HMYENE A.,2008.** Étude comparative des mécanismes biochimiques de résistances au stress hydrique de deux variétés de blé dur. Lebanese Science Journal, 9: 27-36.
- ZOUAIOUI M., 2006.** Contribution à l'étude des différents organes végétatifs dans le remplissage du grain d'orge (*Hordeum Vulgar L.*) en conditions hydrique limitante. Université Ibn Khaldoun TIARET.

ملخص

نقص الماء من العوامل الخارجية التي تحد بدرجة كبيرة من انتاج القمح الصلب.

العمل الحالي هو تقييم مساهمة نشاط كل عضو من نبات القمح في تعبئة الحبوب. من خلال النتائج وجدنا أن أهمية مساهمة كل هذه الاعضاء مرتبط بطبيعة النمط الجيني وكمية الماء المتوفرة في التربة.

. وأظهرت النتائج أن مكونات السنبل و عنق السنبله ساهمت بشكل كبير في امتلاء الحبوب.

كما انه في حالة وجود الماء تعتمد النبتة على عملية التركيب الضوئي في اعمار الحبوب لكن في حالة نقص الماء فان هذه الاخيرة تعوض النقص بكمية المادة المخزنة في الاعضاء الاخرى.

كلمات مفتاحية : امتلاء الحب , القمح الصلب , نقص الماء , الاعضاء النباتية .

Abstract

In the areas of the Algerian high plateaus, the water deficit is regarded as one of the principal abiotic stresses which largely limit the productivity of durum wheat.

The Present work consists in evaluating the contribution of the activity of each vegetative body (the collar of ear, the beard, envelopes of seed, the last sheet) in grain filling of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). Through the got results, we noted that the importance of the contribution of each body of the plant remains related to the nature of the genotype and the water level in the plants, also, the components of ear and the collar of ear contribute more in the filling, and under the optimum conditions of life this last is based primarily on the current photosynthesis of the bodies implied during this phase. While in conditions of water deficit, it is the mechanism of the translocation of the reserves which is mainly responsible for grain filling at durum wheat.

Keywords: Grain Filling, Water Deficit, Wheat, Vegetative Body

Résumé

Dans les régions des hauts plateaux Algériens, le déficit hydrique est considéré comme l'un des principaux stress abiotiques qui limitent grandement la productivité de blé dur. Le travail présent consiste à évaluer la contribution de l'activité de chaque organe végétatif (le col de l'épi, la barbe, les enveloppes de la graine, la dernière feuille) dans le remplissage du grain chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). À travers les résultats obtenus, nous avons constaté que l'importance de la contribution de chacun des organes de la plante reste liée à la nature du génotype et le niveau d'alimentation hydriques des plantes,

Les résultats obtenus montrent que les constituants de l'épi et le col de l'épi contribues le plus dans le remplissage, et dans les conditions d'alimentation hydrique optimales ce dernier est basé essentiellement sur la photosynthèse courante des organes impliqués pendant cette phase. Tandis qu'en conditions de déficit hydrique, c'est le mécanisme de la translocation des réserves qui est majoritairement responsable de remplissage du grain chez le blé dur.

Mots clés : Remplissage , le déficit hydrique, blé dur, organes végétatifs.