

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة الإخوة منتوري قسنطينة I
Frères Mentouri Constantine I University
Université Frères Mentouri Constantine I

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie et Ecologie Végétale

كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم بيولوجيا النبات وعلم البيئة

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

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biotechnologie

Spécialité : *Biotechnologie et génomique végétal*

N° d'ordre :

N° de série :

Intitulé :

**Aspects morpho-physiologique et moléculaire de la tolérance de deux
variétés de blé dur aux stress hydrique et thermique**

Présenté par : Djilani Omar El Farouk
Zaimeche Kheir Eddine

Le19 /06/2022

Jury d'évaluation :

Encadreur : Mlle. MOUELLEF Adra (MCB - Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Examineur 1: Mme. BOUSBAA Ratiba (Professeur - Université Frères Mentouri, Constantine 1)

Examineur 2 : Mme. KHENAOUI Amina (MCB - Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Année universitaire
2021 - 2022

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À mes chers **parents** que je ne remerciais jamais assez pour le soutien, la bienveillance et l'aide qu'ils m'ont apporté sans cesse, qui peuvent être fiers de trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privation pour m'avancer dans la vie.

Mes **grands-parents**

Mes **sœurs Yousra et Aya**

Mon frère **Amine**

A tous mes **cousins et cousines**

Toutes mes **tantes** et tous mes **oncles**

A tous mes **amis** pour leur soutien et leurs encouragements

A toute la **promo BTGV 2022** et je cite en particulier mon binôme **Kheir Eddine**, et mes collègues **Charaf Eddine, Zakaria, Yasser et Omar**.

Omar El Farouk

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers **parents** que je ne remercierais jamais assez pour le soutien, la bienveillance et l'aide qu'ils m'ont apporté sans cesse, qui peuvent être fiers de trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privation pour m'avancer dans la vie.

A la mémoire de mes **grands parents** et je cite la mon grand-père **Dekkiche Rabe**h « **DINE** » avec qui j'ai partagé le plus de moments, et qui nous a quitté récemment.
Que Dieu ait leurs âmes dans son vaste paradis.

Mes deux **Frères Kais** et **Ouassim**

A tous Mes **cousins** et **cousines** et particulièrement Habib, et Amir

Toutes mes **tantes** et tous mes **oncles**

A tous mes **amis** pour leur soutien et leurs encouragements

A toute la **promo BTGV 2022** et je cite en particulier mon binôme **Omar**, et mes collègues **Charaf Eddine, Zakaria, et Yasser**.

Kheireddine

Remerciement

Nous remercions avant tout *ALLAH*, notre créateur pour nous avoir donné la volonté, la force, et le courage à accomplir ce travail.

Notre travail n'aurait jamais vu le jour sans notre encadrante Mlle. MOUELLEF Adra maitre de conférences Université des frères Mentouri Constantine 1. Elle ne nous a pas privés de son savoir. Nous tenons à lui exprimer notre profonde reconnaissance pour son soutien moral, sa présence, ses orientations, et ses précieux conseils. Qu'elle trouve ici le témoignage d'une profonde gratitude.

Nous exprimons nos remerciements aux honorables membres du jury Mme. BOUSBA R. professeur à l'université frères Mentouri Constantine1 et Mme KHENAOUI A. maitre de conférences B v. Qui nous feront l'honneur d'évaluer notre travail.

Nous tenons à remercier toute l'équipe du laboratoire de génétique, biochimie et biotechnologie végétal et en particulier **Mr BELBEKRI N. et Mme BOULDJEJ R.**

Nous remercions aussi **Mr. Alouache Aymen** pour son aide durant.

De peur d'oublier des noms, on remercie tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

Aspects morpho-physiologique et moléculaire de la tolérance de deux variétés de blé dur aux stress hydrique et thermique

Résumé

Ce travail a comme objectif d'étudier la réponse de deux variétés de blé dur Bousselem et Simeto face aux stress abiotiques. On a effectué une série de tests sur les deux variétés pour étudier différents paramètres morpho-physiologiques et moléculaires. Pour cela, on a exposé nos deux variétés à deux stress différents, le premier par arrêt d'irrigation (pendant 7 jours, et 15 jours) pour provoquer un déficit hydrique. Le deuxième stress appliqué l'exposition des plantes aux températures élevées pour provoquer deux niveaux de stress thermique (35 et 45°C). Les résultats obtenus montrent que le stress hydrique et le stress thermique ont entraîné une réduction de la surface foliaire, une diminution de la teneur relative en eau, et du taux de la chlorophylle totale. De même, une augmentation de l'intégrité cellulaire, et de la température foliaire. D'autre part l'analyse électrophorétique par SDS-PAGE des protéines totales foliaires nous montre la présence de quelques bandes chez les témoins, et aussi chez les stressées, d'autres bandes sont apparues alors que d'autres sont absentes. Nous avons pu conclure des résultats qu'on a obtenu que les deux variétés ont les mêmes mécanismes de tolérance contre les différents stress abiotiques appliqués mais par degrés différents, et que la variété locale Bousselem semble la plus tolérante aux stress hydrique et thermique testés dans cette étude.

Mots clés :

Blé dur, stress hydrique, thermique, tolérance, protéines.

Morpho-physiological and molecular aspects of the tolerance of two durum wheat varieties to water and heat stress

Abstract

The objective of this work is to study the response of two durum wheat varieties Bousselem and Simeto to abiotic stresses. A series of tests were carried out on both varieties to study different morpho-physiological and molecular parameters, exposing them to two different stresses, the first one by stopping irrigation (for 7 days and 15 days) to provoke a water deficit. The second stress applied the exposure of the plants to high temperatures to provoke two levels of thermal stress (35 and 45°C). The results obtained show that the water stress and the heat stress caused a reduction in leaf area, a decrease in relative water content, and in total chlorophyll content. In the same way, an increase of the cellular integrity, and of the leaf temperature. On the other hand, the electrophoretic analysis by SDS-PAGE of the total leaf proteins showed the presence of some bands in the controls, and also in the stressed ones, other bands appeared while others were absent. We were able to conclude from the results that we obtained that the two varieties have the same tolerance mechanisms against the different abiotic stresses applied but by different degrees, and that the local variety Bousselem seems to be the most tolerant to the hydric and thermal stresses tested in this study.

Key words:

Durum wheat, water stress, heat stress, tolerance, proteins.

الجوانب المورفولوجية والفسولوجية والجزئية لتحمل صنفين من القمح الصلب للإجهاد المائي والحراري

الملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة استجابة صنفين من القمح القاسي Bousselem و Simeto للإجهاد. تم إجراء سلسلة من الاختبارات على كلا الصنفين لدراسة مختلف العوامل المورفولوجية-الفسولوجية والجزئية ، وتعريضهما لضغطين مختلفين ، الأول عن طريق إيقاف الري (لمدة 7 أيام و 15 يومًا) لإحداث عجز في المياه. وفي الإجهاد الثاني تعرض النباتات لدرجات حرارة عالية لإثارة مستويين من الإجهاد الحراري (35 و 45 درجة مئوية). أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الإجهاد المائي والضغط الحراري تسبب في انخفاض في مساحة الورقة ، وانخفاض في المحتوى المائي النسبي ، ومحتوى الكلوروفيل الكلي. بنفس الطريقة ، زيادة في السلامة الخلوية ، ودرجة حرارة الورقة. من ناحية أخرى ، أظهر التحليل الكهربائي بواسطة SDS-PAGE لبروتينات الأوراق الكلية وجود بعض التحت وحدات في الشاهد ، وكذلك في العناصر المجهد ، ظهرت تحت وحدات أخرى بينما غابت أخرى. تمكنا من الاستنتاج من النتائج التي حصلنا عليها أن الصنفين لهما نفس آليات التحمل ضد الاجهادات المختلفة المطبقة ولكن بدرجات مختلفة ، وأن الصنف المحلي Bousselem يبدو أنه الأكثر تحملاً للضغوط المائية والحرارية المختبرة في هذه الدراسة.

الكلمات الدالة:

القمح الصلب ، الإجهاد المائي ، الإجهاد الحراري ، التحمل ، البروتينات.

Liste des figures

Figure 01 : Blé, céréale de la famille des graminées.....	3
Figure 02 : Origine génétique des blés cultivés	4
Figure 03 : Origine géographique des blés cultivés.....	5
Figure 04 : Cycle de vie du blé.....	6
Figure 05 : Représentant l'évolution de la production mondiale du blé 2017-2020	7
Figure 06 : Représentant l'évolution de la production et l'importation du blé en Algérie 2010- 2020.....	8
Figure 07 ; Différents stress biotique et abiotique affectant la plante.....	9
Figure 08 : Structure tridimensionnelle d'un monomère de sous-unité d'aquaporine	16
Figure 09 : Structure cristalline haute résolution de ClpA (HSP100)	18
Figure 10 : Structure cristalline du HTPG pleine longueur (exemple : <i>Escherichia coli</i>) HSP90	19
Figure 11 : Liaison au substrat HscA complexé avec the IscU peptide de reconnaissance.....	21
Figure 12 : Fragment de Groel (classe HSP60) comprenant des résidus 191-345	29
Figure 13 : Evolution de la surface foliaire sous condition contrôle (C) et sous différentes conditions de stress hydrique (SH: arrêt d'irrigation pendant 7 jours; SH': arrêt d'irrigation pendant 15 jours) et stress thermique (Th: 35°C; Th': 45°C) chez deux variétés de blé dur.....	32
Figure 14 : Evolution de la teneur relative en eau sous condition contrôle (C) et sous différentes conditions de stress hydrique (SH: arrêt d'irrigation pendant 7 jours; SH': arrêt d'irrigation pendant 15 jours) et stress thermique (Th: 35°C; Th': 45°C) chez deux variétés de blé dur.....	35
Figure 15 : Evolution de l'intégrité cellulaire sous condition contrôle (C) et sous différentes conditions de stress hydrique (SH: arrêt d'irrigation pendant 7 jours; SH': arrêt d'irrigation pendant 15 jours) et stress thermique (Th: 35°C; Th': 45°C) chez deux variétés de blé dur.....	37
Figure 16 : Evolution du taux de la chlorophylle totale sous condition contrôle (C) et sous différentes conditions de stress hydrique (SH: arrêt d'irrigation pendant 7 jours; SH': arrêt d'irrigation pendant 15 jours) et stress thermique (Th: 35°C; Th': 45) chez deux variétés de blé dur.....	39

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des variétés de blé dur étudiées :.....	22
Tableau. 02 : Comparaison des moyennes de la surface foliaire obtenue à partir des deux types de stress abiotique appliqué au deux variétés de blé dur.....	30
Tableau. 03 : Classement des traitements hydrique et thermique chez les deux variétés pour la surface foliaire.....	30
Tableau. 04 : Comparaison des moyennes de la teneur relative en eau obtenue à partir des deux types de stress abiotique appliqué au deux variétés de blé dur	32
Tableau. 05 : Classement des stress chez les deux variétés pour la teneur relative en eau....	33
Tableau. 06 : Comparaison des moyennes de l'intégrité cellulaire obtenue à partir des deux types de stress abiotique appliqué au deux variétés de blé dur.....	35
Tableau. 07 : Classement des stress chez les deux variétés pour l'intégrité cellulaire.....	36
Tableau. 08 : Comparaison des moyennes de la chlorophylle totale obtenue à partir des deux types de stress abiotique appliqué au deux variétés de blé dur	37
Tableau. 09 : Comparaison des moyennes de la température foliaire obtenue à partir des deux types de stress abiotique appliqué au deux variétés de blé dur.....	39
Tableau. 10 : Classement des stress chez les deux variétés pour la température foliaire.....	40
Tableau. 11 : Diagramme présence/absence des bandes dans les feuilles de la variété Bousselem soumis aux différents stress abiotiques ; hydrique et thermique.....	41
Tableau. 12 : Diagramme présence/absence des bandes dans les feuilles de la variété Semito soumis aux différents stress abiotiques ; hydrique et thermique.....	42

Abréviations

ABA : Acide abscissique.

APS: Persulfate d'ammonium.

FAO : Food and Agriculture Organization

H : Stress hydrique.

HSP: Protéine de choc thermique.

ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures.

KDa: Kilodalton.

LEA: Protéine Late Embryogenesis Abundant.

NaCl : Chlorure de sodium.

PF: Poids frais.

PS: Poids sec.

PT: Poids à la turgescence.

Qsp : quantité suffisante pour.

rpm: rotation par minute.

SDS-PAGE: Sodium Dodecyl Sulfate polyacrylamide gel electrophoresis

TCA: Acide Trichloracétique.

TEMED : tétraméthyl-éthylène-diamine.

Tf : Température Foliaire.

Th: Stress thermique

TRE: Teneur Relative en Eau.

Tris : tris-hydroxyméthyl-aminométhane.

SOMMAIRE

Sommaire

Introduction.....	1
I- Généralités sur le blé.....	3
1. Morphologie de la plante.....	3
2. Origine génétique et géographique.....	4
3. Phénologie et Classification botanique.....	6
4. Importance production du blé.....	7
4.1. Production du blé dans le monde.....	7
4.2. Production du blé en Algérie.....	8
II- Contraintes à la production du blé.....	9
1. Notion du stress.....	9
1.1. Notion du stress hydrique.....	10
1.2. Notion du stress thermique.....	10
2. Effet de stress hydrique et thermique sur les plantes.....	11
3. Réponse des plantes aux stress hydrique et thermique.....	12
4. Mécanisme de tolérance aux stress hydrique et thermique.....	12
4.1. Accumulation des osmolytes face aux stress abiotique.....	13
4.1.1. Accumulation de la proline.....	13
4.1.2. Accumulation des sucres et dérivés.....	14
4.2. Biosynthèse de l'acide abscissique (ABA).....	14
4.3. Activité des enzymes de détoxication.....	14
4.4. Teneur en pigments chlorophylliens.....	15
4.5. Biosynthèses des protéines.....	15
4.5.1. Protéines LEA (Late embryogenesis abundant).....	15
4.5.2. Protéines aquaporines.....	16
4.5.3. Proteines HSP (Heat Shock Proteins).....	17
III- Matériel vegetal.....	22
IV- Mise en place de l'essai.....	23
1. Conduite de l'essai et stade de mesure.....	23
2. Détermination et application de stress.....	23
2.1. Application de stress hydrique et thermique.....	23
3. Paramètres étudiés.....	24

3.1. Paramètres morpho-physiologiques.....	24
3.1.1. Mesure de la surface foliaire (SF : cm ²).....	24
3.1.2. Mesure de la teneur relative en eau (TRE%).....	24
3.1.3. Mesure de la conductivité électrolytique (CE%).....	25
3.1.4. Mesure la teneur en chlorophylle (unités SPAD).....	25
3.1.5. Mesure de la température foliaire (°C).....	26
3.2. Paramètres biochimiques : L'analyse des protéines totales par SDS- PAGE.....	26
3.2.1. Principe.....	26
3.2.2. Extraction des protéines.....	26
3.2.3. Préparation des gels.....	27
3.2.4. Dépôt des échantillons et migration.....	27
3.2.5. Révélation des gels.....	27
3.2.6. Exploitation des résultats.....	27
V- Traitement des données.....	27
1. Evolution de la surface foliaire.....	29
2. Evolution de la teneur relative en eau.....	31
3. Evolution de l'intégrité cellulaire.....	34
4. Evolution du taux de la chlorophylle totale.....	36
5. Evolution de la température foliaire.....	38
6. Analyse des protéines totales foliaire.....	40
Conclusion	41
Liste des références bibliographique.....	43

INTRODUCTION

Introduction

La culture des céréales est considérée comme l'une des premières grandes découvertes ayant exercé une influence majeure sur l'avenir des sociétés humaines. Encore aujourd'hui, les céréales constituent la base de notre alimentation, en raison de leur richesse en constituants d'intérêt nutritionnel et de la diversité des modes de préparation et de consommation. Parmi ces céréales, le blé est l'aliment de base dans plusieurs régions du monde. Il constitue, presque, la totalité de la nutrition de la population mondiale est fournie par les aliments en grains dont 95% sont produits par les principales cultures céréaliennes (Bonjean et Picard, 1990).

Le blé dur (*Triticum turgidum* ssp. durum) est l'espèce la plus cultivée dans le bassin méditerranéen de l'Afrique du Nord (Bonjean *et al.*, 2016). En Algérie, la superficie globale réservée actuellement à la culture céréalière est estimée à 2,9 millions d'hectares avec une valeur de production de 111,6 milliards de dinars, a-t-il soutenu. La FAO, (2020) rapporte que « la production céréalière totale en 2021 est estimée à 3,5 millions de tonnes, ce qui est inférieur à la moyenne quinquennale et environ 38 % de moins que l'année précédente ». Le pays n'en produit pas suffisamment, notamment en raison de conditions climatiques défavorables, et la filière nationale peine à satisfaire les besoins croissants de sa population.

La consommation de blé dans le pays dépasse les 10,5 Mt, pour une production qui oscille en moyenne entre 2 et 3 Mt. ce qui contraint le pays à importer près de 90 % de ses besoins en matière de blé tendre. L'Algérie fait ainsi partie des principaux importateurs mondiaux. Durant la campagne 2018/19, le pays a été le quatrième plus grand importateur de blé (7,52 Mt), derrière l'Égypte (12,3 Mt), l'Indonésie (10,9 Mt) et les Philippines (7,54 Mt) (chiffres USDA).

Comme il est indiqué en avant, la production du blé est limitée principalement par les stress environnementaux dont la sécheresse et les températures élevées de fin de cycle, deux majoritaires contraintes influençant la culture de blé dur en Algérie (Mir *et al.*, 2012), Il serait urgent de développer des stratégies permettant de régulariser les rendements de ces régions.

Plusieurs travaux ont été effectués sur le blé dur dans le cadre de l'amélioration génétique de la tolérance aux stress hydrique et thermique, se sont donnés pendant longtemps

pour objectif primordial l'augmentation du rendement et la qualité de cette grande culture. Plusieurs études ont montré que, lors d'un stress abiotique, les plantes adoptent des stratégies d'adaptation qui diffèrent d'une espèce à une autre et qui font intervenir une large combinaison des facteurs morphologiques, physiologiques et biochimiques (Wang et al., 2003).

Pour répondre à cette préoccupation, ce travail a pour objectif de comparer le comportement de deux variétés de blé dur sous deux types de contrainte abiotique ; stress hydrique et thermique. Dans le but de faire ressortir la variété la plus tolérante pour l'intégrer ensuite dans les schémas de sélection visant l'amélioration du rendement du blé dur, ceci par l'étude de quelques paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques.

Ce mémoire est constitué de trois grands chapitres :

1. Le chapitre I : Renferme une synthèse bibliographique sur l'importance et l'utilisation du blé dur, le stress hydrique et thermique, puis les mécanismes de la tolérance des plantes au stress.
2. Le chapitre II : décrit la méthodologie adoptée au cours de ce travail, la description du matériel végétal, les conditions de culture et les variables mesurées.
3. Le chapitre III : consacrée au traitement des résultats obtenus dans ce travail et leur discussion.

Le mémoire est achevé, par une conclusion, suivie de la liste de références bibliographiques et l'annexe.

CHAPITRE I : synthèse bibliographiques

I- Généralités sur le blé

1-Morphologie de la plante

Le blé dur (*Triticum turgidum ssp. durum*) est une plante de genre *Triticum* (Feillet, 2000). Leur famille comprend 600 genres et plus de 5000 espèces (Feillet, 2000). C'est une monocotylédone annuelle d'une hauteur moyenne. Leur système racinaire comprend deux types de racines : les racines séminales qui sont produites par la plantule durant la levée, et les racines adventives qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent. La plante possède une tige cylindrique, dressée, creuse et subdivisée en entrenœuds. Les feuilles se composent d'une base (gaine) entourant la tige, d'une partie terminale qui s'aligne avec les nervures parallèles et d'une extrémité pointue. Chaque brin de la tige principale porte une inflorescence en épi terminal (Bozzini, 1988). La plante adulte se caractérise par des feuilles longues et étroites et par un épi formé par une succession de douze à quinze épillets. Chaque épillet comporte deux ou trois fleurs fertiles, qui donnent autant de fruits secs, les grains (ou caryopses) (Figure.01)..

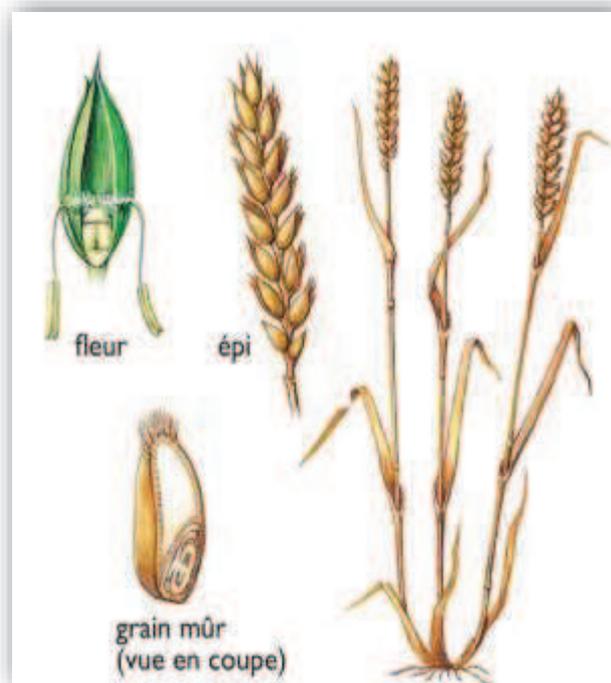


Figure 01 : Blé, céréale de la famille des graminées.

Dessin Dominique Roussel - Archives Larousse

<https://www.larousse.fr/encyclopedie/images/Bl%C3%A9/1000967>

2-Originé génétique et géographique

Les blés ont évolué en dehors de l'intervention humaine, puis sous la pression de la sélection exercée par les agriculteurs (Henry et de Buyser, 2001). On distingue le *blé tendre*, dont la farine sert notamment à fabriquer le pain, et le *blé dur*, utilisé pour la production de couscous et des pâtes alimentaires. En fonction du degré de ploïdie, on peut différencier les blés diploïdes (génome AA), les blés tétraploïdes (génome AA et BB à 28 chromosomes) et les blés hexaploïdes (génome AA, BB, et DD à 42 chromosomes) (Feillet, 2000). Le croisement naturel *Triticum monococcum* x *Aegilops* (porteur du génome B) a conduit à l'apparition du blé dur sauvage de type AABB (*Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides*) qui a progressivement évolué vers *Triticum turgidum* ssp. *dicoccum* puis vers *Triticum durum*. Le blé tendre serait issu d'un croisement entre *Triticum turgidum* ssp. *dicoccum* (génome AABB) et le diploïde *Triticum tauschii* (aussi appelé *Aegilops tauschii* ou *Aegilops squarosa*, génome DD). (Figure 2).

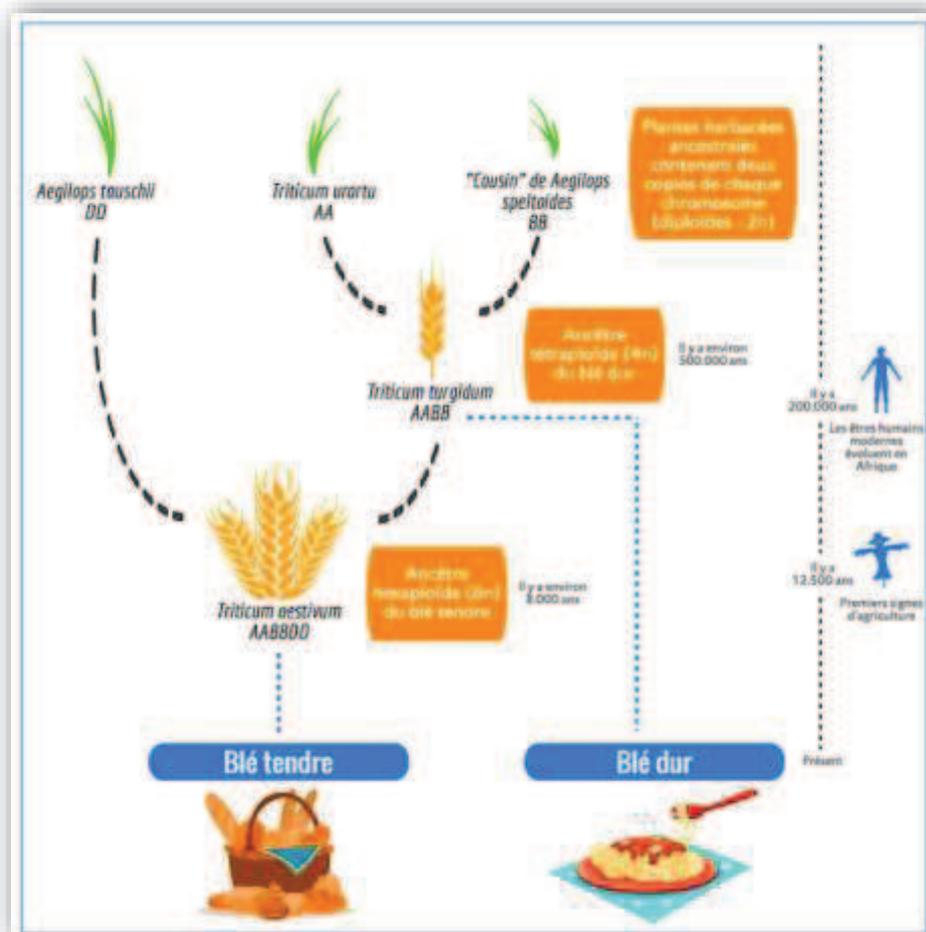


Figure 02 : Origine génétique des blés cultivés (www.wheatgenome.org).

Originnaire des régions du croissant fertile du proche orient, la culture du blé s'est développée par la suite dans le bassin méditerranéen notamment en Egypte et en Grèce (LevYadun *et al.*, 2000). On admet généralement que la culture de blé dur a commencé et s'est développée en Algérie au lendemain de la conquête Arabe. La plupart des auteurs s'accordent pour considérer que la céréaliculture algérienne est depuis cette date et jusqu'à la colonisation, très largement dominée par le blé dur (Laumont et Erroux, 1961). La figure n° 03 montre l'origine géographique des blés cultivés. La distribution approximative des formes sauvages d'amidonnier (*T. turgidum spp dicoccoïdes*) et d'*Aegilops tauschii* est représentée par des points et celle d'engrain est représentée par la zone jaune. Les zones cerclées correspondent aux régions putatives d'origine des formes cultivées d'amidonnier, de blé dur, d'engrain et de blé tendre. Adapté de Dubcovsky and Dvorak (2007)

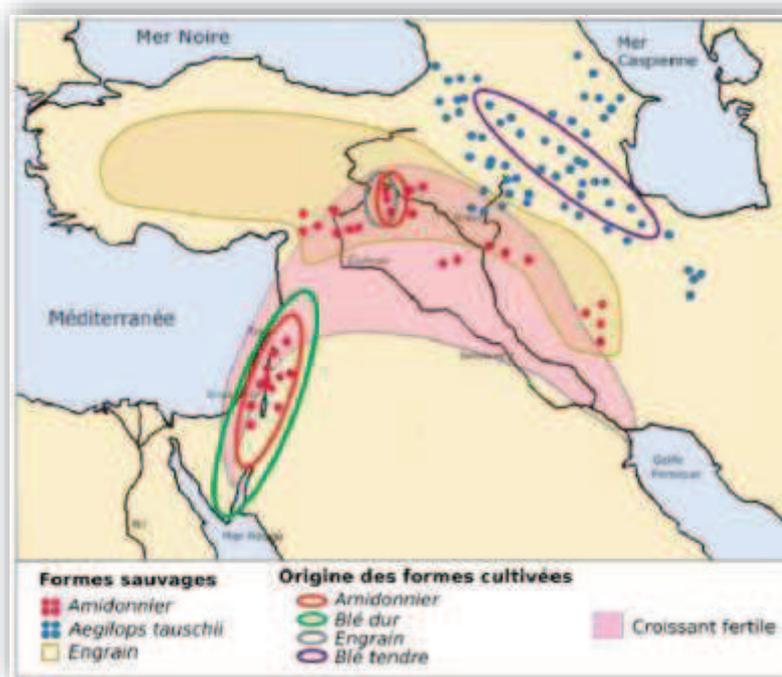


Figure 03 : Origine géographique des blés cultivés, adapté de Dubcovsky and Dvorak (2007)

Le blé est une céréale cultivée partout, en dehors des zones tropicales. Il est principalement cultivé dans les régions chaudes et sèches, il est donc traditionnellement cultivé dans les pays du sud de l'Europe et au Maghreb, mais sur tout le continent américain, en Russie et en Turquie. En Algérie, le blé dur est principalement est cultivé dans toutes les zones céréalières du pays : Est, Centre, Ouest en sec et au Sud en irrigué. Les principales wilayas productrices, selon superficie, de blé en 2016 sont : Oum El- Bouaghi, Tébessa, Tiaret, Sétif, Mila et Relizane.

3-Phénologie et Classification botanique :

Le cycle de développement du blé est constitué d'une série d'étapes séparées par des stades repérés, permettant de diviser en deux périodes la vie des céréales. Une période végétative durant laquelle, la plante ne se différencie que des feuilles et des racines ; une période reproductrice dominée par l'apparition de l'épi et la formation du grain, voir la figure n°04 (Abdi, 2015).

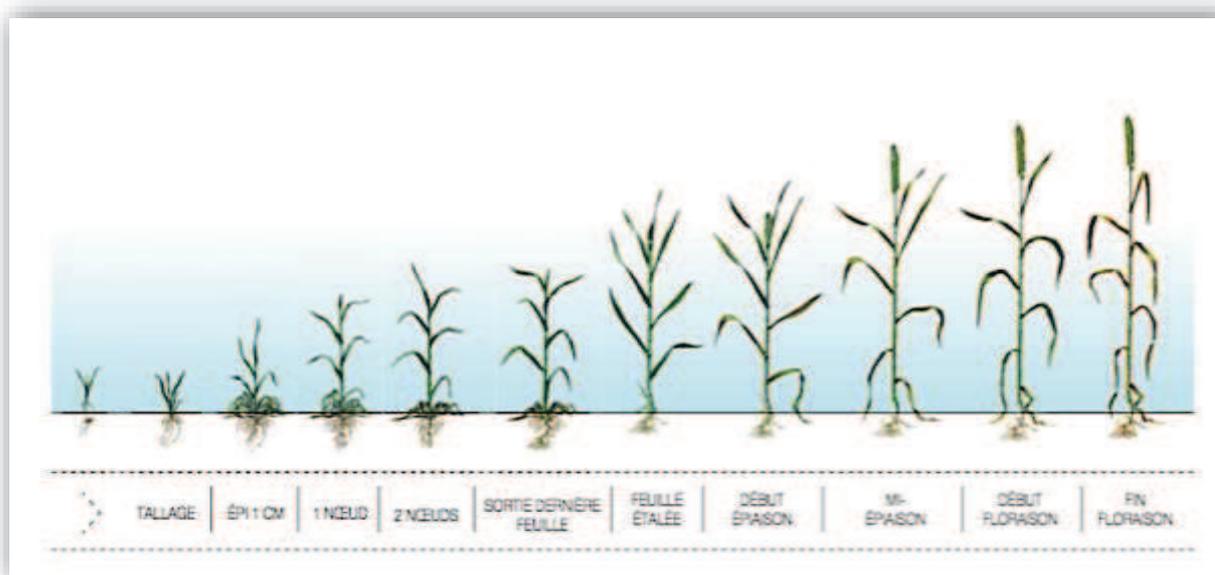


Figure 04 : Cycle de vie du blé

La classification du blé dur, selon Brouillet et *al.*, (2006) est la suivante :

Règne : Plantae

Sous-règne : Tracheobionta

Division : Magnoliophyta

Classe : Liliopsida

Sous classe : Commelinidae

Ordre : Cyperales

Famille : Poaceae

Genre : *Triticum*

Espèce : *Triticum durum* Desf.

4-Importance production du blé

La majorité des utilisations du blé concerne l'alimentation humaine et animale. Dans l'alimentation humaine, le blé est un aliment qui apporte un grand nombre de substances nutritives au corps humain. Le blé dur est destiné à la biscuiterie, la fabrication de semoule, ou des pâtes. Le blé tendre quant à lui est utilisé principalement en meunerie pour obtenir de la farine nécessaire à la production de pain, de viennoiseries ou de pâtisseries. De plus en Afrique du Nord, on utilise aussi cette céréale pour la production de couscous et des pains traditionnels (la galette) (Feillet, 2000). Outre ces utilisations classiques du blé, des nouvelles utilisations à échelle industrielle apparaissent depuis quelques années telles que la fabrication de bioplastiques à base de gluten ou d'amidon.

4-1- Production du blé dans le monde

La culture des céréales représente un secteur économique important. la récolte mondiale de blé dur en 2019 de 35,6 millions de tonnes a été marquée par une forte baisse pour la plupart des pays producteurs et fournisseurs du marché mondial (excepté le Mexique) alors que la production des principaux pays consommateurs et acheteurs du marché a indiqué une hausse globale (Fig.05). Les zones de production les plus touchées par la baisse sont : L'Union Européenne (dont la France en particulier mais aussi l'Espagne et l'Italie), Canada et les USA (CIC, 2019).

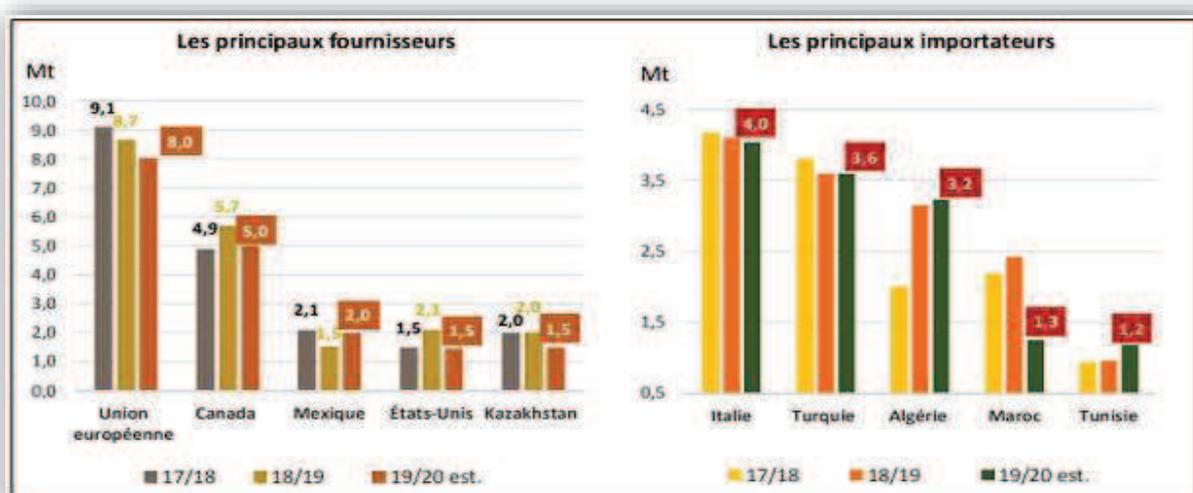


Figure 05 : Représentant l'évolution de la production mondiale du blé 2017-2020 (CIC / USDA / Statcan, 2019).

4-2- Production du blé en Algérie

La production du blé en Algérie a reconnu une amélioration à la fin de la campagne de 2019/2020. Elle est estimée à un niveau supérieur à la moyenne de 3.2 millions de tonnes, grâce aux pluviométries bien distribuées notamment dans les régions de l'Est et le Nord-Est qui a fourni une condition favorable au développement des cultures (FAO, 2020). En revanche la distribution des pluies a été moins favorable dans les régions du Sud-Ouest du pays. Même avec cette production nationale importante, le pays dépend fortement sur les importations afin de satisfaire ses besoins. Au cours des cinq dernières années, où il a été importé une moyenne d'environ 7,8 Millions de tonnes chaque année (FAO, 2020).

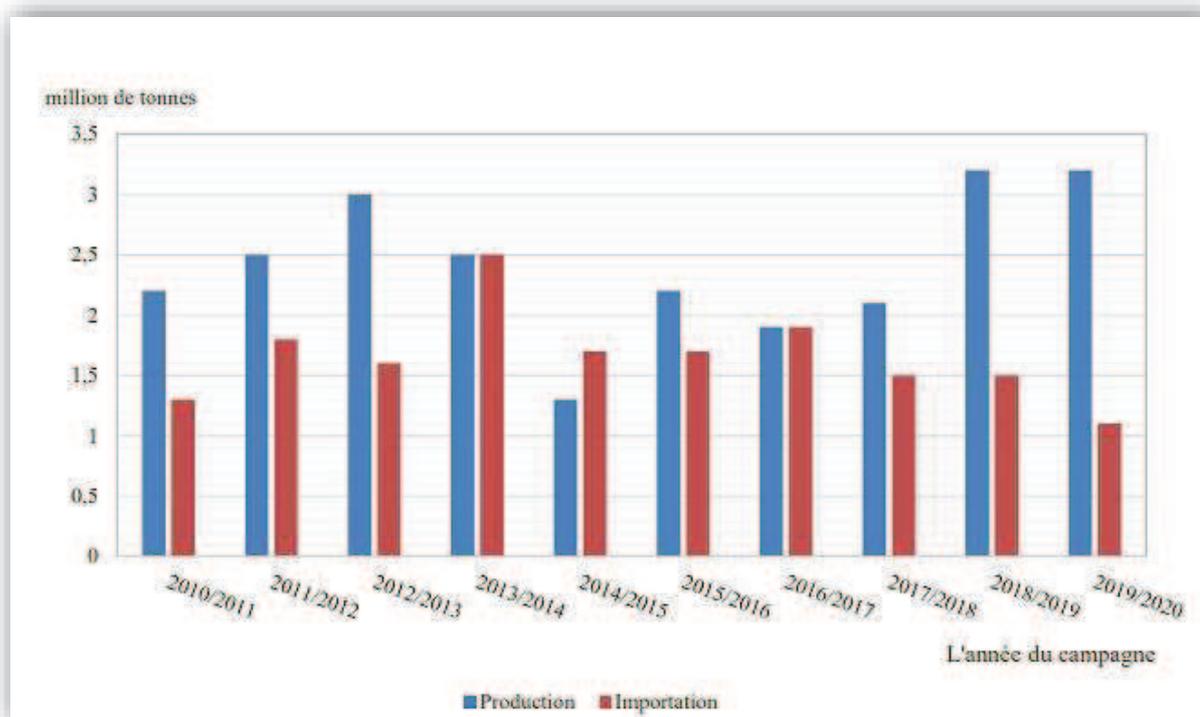


Figure 06 : Représentant l'évolution de la production et l'importation du blé en Algérie 2010-2020 (CIC, 2019).

II- Contraintes à la production du blé

1- Notion du stress

On appelle stress toute pression exercée par un paramètre, troublant le fonctionnement habituel de la plante. Le stress est l'ensemble des perturbations physiologiques ou pathologiques provoqués dans l'organisme par des agents biotiques (parasite, pathogène) ou abiotiques (salinité, sécheresse, température, pH, pollution..etc) (Figure 06) (Maarouf et

Raynaud, 2007). En effet les plantes se trouvent rarement dans des conditions environnementales optimales, elles se trouvent souvent dans des conditions extrêmes qui amènent les organismes à la limite de la survie.

La pluviométrie et la haute température sont sujettes à de grandes variations intra et inter-annuelles qui affectent sérieusement les rendements des plantes. L'effet de ce stress dépend de son degré, sa durée, du stade de développement de la plante, le génotype et son interaction avec l'environnement (Yokota *et al.*, 2006).

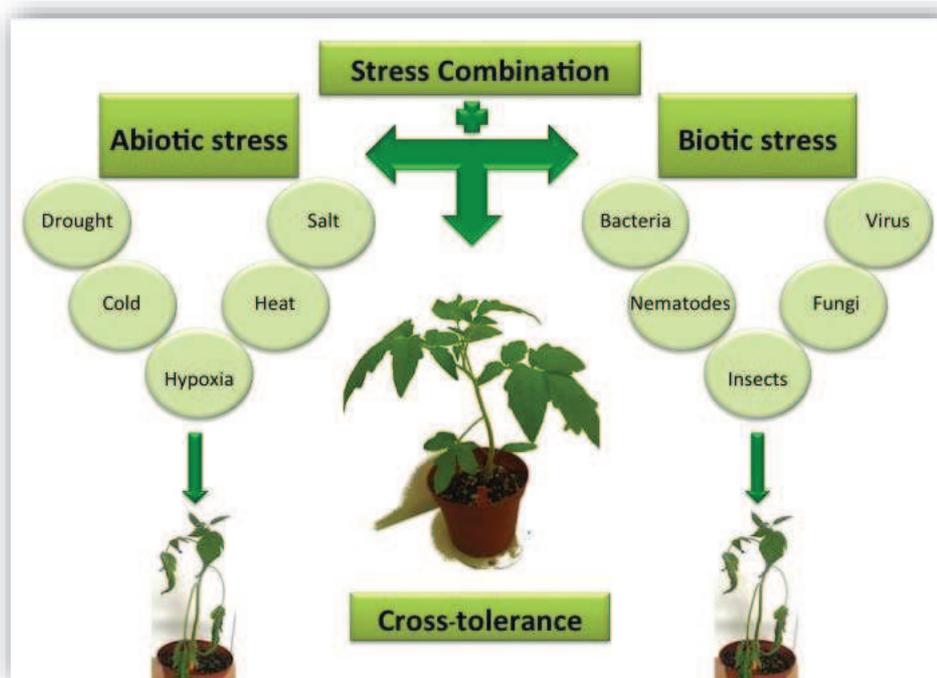


Figure 06 ; Différents stress biotique et abiotique affectant la plante

1-1- Notion du stress hydrique

Le stress hydrique peut se définir comme le rapport entre la quantité d'eau nécessaire à la croissance de la plante et la quantité d'eau disponible dans son environnement. La demande en eau de la plante est quant à elle déterminée par le niveau de transpiration ou évapotranspiration. On assiste à un stress hydrique lorsque la demande en eau dépasse la quantité disponible pendant une certaine période de sécheresse, où la plante est placée dans un environnement qui amène à ce que la quantité d'eau transpirée par la plante soit supérieure à la quantité qu'elle absorbe (Kara et Zerguine, 2016). En effet, Passioura (2004) définit le déficit hydrique comme étant les circonstances dans lesquelles les plantes accusent une réduction de croissance et de production soit suite à une alimentation hydrique insuffisante ou soit à un excès

d'eau dans les sols. Le manque d'eau ou déficit hydrique, représente le stress abiotique le plus sévère auquel la culture du blé dur fait face dans les conditions de productions des zones arides et semi- arides (Chennafi *et al.*, 2006).

1-2- Notion du stress thermique

Le stress thermique est souvent défini quand les températures sont assez hautes ou basses pendant un temps suffisant pour qu'elles endommagent irréversiblement la fonction ou le développement des plantes. Celles-ci peuvent être endommagées de différentes manières, soit par des températures basses ou élevées de jour ou de nuit, par l'air chaud ou froid ou par les températures élevées du sol (Oukarroum, 2007). Le stress thermique est l'un des stress abiotiques qui limitent le développement de la plante, en effet lors des trente dernières années la température de la terre a augmenté de 0.2°C chaque décennie un réchauffement de 1.4 jusqu'à 5.8°C est prévu à la cour du 21ème siècle. (Braun et al, 2002).

2- Effet de stress hydrique et thermique sur les plantes

La vie d'une plante nécessite plusieurs facteurs, parmi ces facteurs, l'eau et la température jouent un rôle essentiel dans la croissance et le développement de la culture du blé dur. En effet, la température est un facteur important pour la durée de pré et de la post - anthèse. Le taux de développement des génotypes dans les durées de la pré –et de la post- anthèse sont différents en raison de la variation de la température selon les années et les environnements (Akkaya *et al.*, 2006). L'influence du stress par des hautes températures est variable en fonction du stade de vie de la plante et de l'interaction avec d'autres stress tel que le stress hydrique. Le manque d'eau se traduit par une réduction de la croissance de la plante et de sa production par rapport au potentiel du génotype. Un manque d'eau précoce affecte principalement la croissance des racines, le développement des feuilles et des organes reproducteurs (Debaeke *et al.*, 1996). Ceci se répercute sur le rendement économique de la culture, qui peut chuter de plus de 80% (Chennafi *et al.*,2006).

Chez le blé, l'effet du stress hydrique est différent selon les stades végétatifs. Au stade montaison, il provoque un arrêt de croissance des tiges, il s'ensuit une diminution du nombre de talles fertiles dont la conséquence est une réduction du nombre de grains /m. Vers le stade méiose-épiaison, c'est l'avortement des fleurs qui devient important (Debaeke *et al.*, 1996). Au stade floraison, c'est la destruction des organes floraux qui prédomine et au cours du remplissage du grain, il y a une diminution du niveau et de la durée du palier hydrique, dont la conséquence est une chute de poids moyen du grain (Triboi, 1990).

Dans les environnements méditerranéens, les hautes températures de fin de cycle sont considérées comme un facteur important de limitation de rendement en blés. Des températures, au-dessus de 30°C, affectent le poids final de grain (Al-Khatib et Paulsen, 1984). L'effet des hautes températures peut modifier, non seulement le poids final de grain, mais aussi le nombre de grains par épi et par unité de surface (Wardlaw *et al.*, 1989 ; Calderini *et al.*, 1999). Pendant la période de tallage herbacé, des températures assez élevées, de l'ordre de 15-20°C, peuvent exercer un rôle favorable en permettant à la plante de produire un nombre de talles suffisants. En revanche pendant la phase de montaison, l'occurrence plus fréquente de températures élevées a une incidence défavorable sur la croissance des tiges (Gate, 1995). L'effet des hautes températures se manifeste aussi par une accélération du développement et une réduction des dimensions des organes constitutifs de la plante. Qui en résulte un effet négatif sur la productivité globale de la plante.

3- Réponse des plantes aux stress hydrique et thermique

Etant les plantes immobiles, elles doivent donc s'adapter aux conditions dominantes du sol et de la météo (pour faire face à des agressions biotiques et abiotiques) (Ishida *et al.*, 2008). Certains physiologistes qui étudient les stress estiment que ce concept est trop restrictif, parce qu'il suscite des questions sur les mécanismes adaptatifs qui permettent la croissance de plantes dans des environnements qui pourraient être considérés comme stressants. Par ailleurs, la réponse des plantes dépend, entre autres, de ces paramètres environnementaux, (le type de contrainte, son intensité et sa durée) et génétiques (espèce et génotype) (Hopkins, 2003).

Belhassen *et al.*, (1996) classifient en trois grands types d'adaptation aux stress et qui sont, l'échappement ou esquivage qui consiste à réaliser le cycle pendant la période favorable, l'évitement de la déshydratation qui permet le maintien d'un potentiel hydrique élevé dans la plante et la tolérance à la déshydratation qui consiste en un ensemble d'aptitudes à résister aux effets d'un faible potentiel hydrique.

4- Mécanisme de tolérance aux stress hydrique et thermique

La tolérance est une stratégie qui permet à la plante d'assurer l'ensemble de ses fonctions biologiques, malgré un déficit hydrique (Virlovet., 2011). Maintenir la turgescence, en condition de contrainte hydrique permet de retarder la fermeture des stomates, donc une fonction prolongée de la photosynthèse, un maintien du volume chloroplastique et une réduction du flétrissement foliaire (Kiani., 2007). Parmi les mécanismes adaptatifs mis en place à cet effet, l'ajustement osmotique (Clifford *et al.*, 1998) couplé à un système antioxydant

efficace (Batlang., 2010), l'efficacité de l'utilisation de l'eau (Bonhomme et *al.*, 2009) ou encore une modification de la conductivité hydraulique (Jones et *al.*, 2004). Ces mécanismes s'illustrent particulièrement, chez les plantes dites de résurrection (résurrection plants), qui peuvent survivre à la perte de 89% de leur eau (Farrant., 2000). Il est cependant important, de préciser que ces stratégies ne sont pas mutuellement exclusives. En effet, à l'échelle moléculaire, il existe un ensemble de réponses ne rentrant pas exclusivement dans l'une de ces catégories et pouvant se combiner (Batlang., 2010). A titre d'exemple : les protéines de stress, les déhydrines et les aquaporine peuvent agir en tant que molécules protectrices (Close., 1997), mécanisme de tolérance et possèdent en même temps la faculté de retenir les molécules d'eau (Reyes et *al.*, 2008), mécanisme d'évitement.

Dans les périodes des hautes températures, les tissus des plantes doivent alors mettre en place plusieurs modifications structurelles et fonctionnelles afin de limiter les dégâts engendrés par le stress. La transpiration, un mécanisme simple et efficace qui met à profit l'énergie d'évaporation de l'eau pour refroidir les feuilles. La fermeture des stomates provoque des augmentations de température de plusieurs degrés. Le métabolisme C4 : Avec l'élévation de la température, la solubilité du CO₂ diminue plus vite que celle de l'O₂. Le « gaspillage » énergétique que représente l'activité oxygénase de la Rubisco est accentué. Les mécanismes de concentration du CO₂ dans les plantes en C4 (blé) permettent d'éviter cette contrainte. La modulation des proportions en acides gras membranaires saturés/insaturés, en particulier dans les membranes chloroplastiques, passe parmi les mécanismes majeurs d'acclimatation et d'adaptation aux températures extrêmes. Une forte proportion d'acides gras saturés dans les lipides membranaires aura tendance à apporter de la stabilité sous une contrainte chaleur.

4-1- Accumulation des osmolytes face aux stress abiotique

Afin de se protéger contre un stress osmotique en conditions stressantes, les plantes synthétisent en grande quantité des solutés compatibles. Il s'agit de molécules hautement solubles, de faible poids moléculaire et non toxique, ils sont sans charge et tendent à être neutres au pH physiologique, (Farooq et *al.*, 2009). Ils s'accumulent majoritairement dans le cytoplasme et n'interfèrent en aucune mesure avec le métabolisme normal de la plante. Leur principal rôle étant, de préserver la turgescence des cellules, en maintenant une osmolarité intracellulaire égale à l'osmolarité extracellulaire, évitant ainsi un efflux (allant du dedans vers le dehors) d'eau de la cellule. Etant donné que l'augmentation du potentiel osmotique peut s'accompagner d'une accumulation d'ions, les osmolytes vont alors assurer la stabilisation des protéines, la

prévention de l'intégrité membranaire ainsi que l'élimination des radicaux libres, tout en évitant la déshydratation cellulaire (Tuteja, 2005) on cite parmi eux :

4-1-1- Accumulation de la proline

L'accumulation de la proline constitue un mécanisme de tolérance à la sécheresse (Bensalem et al., 2005). Les teneurs en acides aminés libres augmentent significativement, chez de nombreuses espèces monocotylédones et dicotylédones, soumises à un stress hydrique (Dubos., 2001). La proline semble jouer un rôle particulièrement important. On lui attribue un rôle d'osmoticum au niveau cytosolique et vacuolaire, mais aussi, un rôle dans la régulation du potentiel redox. En plus, de protéger les membranes et les enzymes contre les perturbations conformationnelles causées par les ions (Cherian et *al.*, 2005 ; Anjum et *al.*, 2011).

4-1-2- Accumulation des sucres et dérivés

Les sucres sont les éléments carbonés primaires synthétisés et exportés dans toute la plante lors de la photosynthèse, ils ont également un rôle non énergétique d'osmorégulateur et d'osmoprotectant. En effet, ces osmoticums participent eux aussi au maintien de la balance de la force osmotique, pour garder la turgescence au niveau des feuilles de blé en conditions de stress (Najdjm., 2008). L'accumulation de sucres tels que saccharose, le tréhalose, les hexoses et les oligosaccharides de la famille du raffinoses et des polyols, est obtenue le plus souvent, par une hydrolyse accrue de l'amidon, permettant aux plantes une préservation de l'intégrité membranaire et, en enveloppant les protéines, ils protègent ces dernières de la perte de leur conformation (Plessis., 2009).

4-2- Biosynthèse de l'acide abscissique (ABA)

L'acide abscissique (ABA) est une phytohormone initialement impliquée dans l'abscission des feuilles et la dormance des bourgeons. Aujourd'hui, l'ABA est considéré comme le composant clé de l'adaptation des végétaux au stress abiotique (Finkelstein et al., 2002). En tant que phytohormone, l'ABA permet non seulement de réguler la croissance et le bon développement des plantes, mais aussi de les protéger contre le stress environnemental (Sandhu et al., 2011), notamment contre la sécheresse (Bassaganya-Riera et *al.*, 2010; Bertoneclj et al., 2011). C'est un des acteurs majeurs de la signalisation dans la réponse des plantes aux contraintes abiotiques. Un de ses rôles principaux est de maintenir l'homéostasie osmotique des cellules, grâce à la fermeture des stomates et à l'induction de gènes de tolérance au stress hydrique. La réponse aux stress abiotiques est souvent considérée comme le rôle

majeur de l'ABA. Cette assertion est justifiée par le fait que le phénotype principal des mutants déficients en ABA est leur sensibilité au stress hydrique (Zhu, 2002).

4-3-Activité des enzymes de détoxification

Les cellules stressées, au même titre que les cellules non stressées, produisent des composés oxydants, éliminés par le système de défense des plantes. Leur production et leur dégradation sont en équilibre, dans les cellules non stressées. L'une des conséquences des stress environnementaux, y compris le stress hydrique, est une augmentation de la quantité des espèces réactives de l'oxygène les ROS, qui endommagent les structures cellulaires par oxydation (Christensen et Feldmann., 2007 ; Zerrad et *al.*, 2008 ; Mathur et *al.*, 2008). Afin de contrôler le niveau des ROS et protéger leurs cellules, les plantes ont développé un système de défense antioxydant crucial, pour le maintien de l'intégrité des systèmes photosynthétiques lors d'une contrainte hydrique. Parmi les enzymes du système antioxydant on peut citer : les superoxydes dismutases (SOD), les catalases (CAT), les glutathions peroxydases (GPX), les ascorbates peroxydases (APX) (Reddy et *al.*, 2004 ; Flexas et *al.*, 2006 ; Battagland., 2010).

4-4- Teneur en pigments chlorophylliens

Sous un stress hydrique, une diminution de la teneur en chlorophylle est remarquée chez le blé dur (Bousba et *al.*, 2009). Pour limiter les pertes en eau par évaporation et aussi l'augmentation de la résistance à l'entrée du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse, l'économie de l'eau se traduit par une turgescence relative moins affectée par le stress conduisant à une dilution de la chlorophylle. Le rapport chlorophylle (a/b) est un bon indicateur du seuil de tolérance au stress hydrique (Mouellef, 2010).

4-5- Biosynthèses des protéines

Les plantes luttent contre le stress par la synthèse de plusieurs substances chimiques, particulièrement des protéines. Les protéines de stress jouent un rôle primordial dans l'adaptation de la plante, et de ce fait, de nombreux chercheurs abordent la résistance au stress par l'isolement et l'étude de ces molécules (Kara et Zerguine, 2016).

4-1-1-Protéines LEA (Late embryogenesis abundant)

Les LEA sont des protéines ubiquitaires, s'accumulant très fortement pendant la phase tardive de la maturation des graines (d'où leur appellation), mais aussi dans les tissus végétatifs en réponse : à la déshydratation, aux basses températures, à la salinité et à l'application de l'ABA (Ramanjulu et Bartels., 2002 ; Hundertmark et Hincha., 2008 ; Boucher., 2009). Ces

protéines ne contiennent ni de Cys ni de Trp et de ce fait elles résistent à la dénaturation thermique et à la dénaturation acide. Elles ont un poids moléculaire moyen qui varie entre 15 et 200 kDa (Schulze et al., 2005). Elles sont très abondantes dans les embryons des graines tolérantes à la dessiccation et accumulées dans les périodes de stress hydrique (Campalans et al., 1999). Les déhydrines se trouvent également dans le cytosol et le noyau, mais sont aussi associées avec la membrane plasmique, mitochondriale et chloroplastiques. Ces protéines peuvent protéger les autres macromolécules ou structures cellulaires aidant à maintenir l'intégrité des membranes cellulaires (Longxing et al., 2010). McCubbin et Kay, (1985) ont montré que la protéine LEA 'Em' de blé tendre (*Triticum aestivum*) était considérablement plus hydratée que la plupart des protéines globulaires.

Un autre mode d'action a été proposé pour les LEA. En effet, lorsque les plantes subissent un stress violent, les composés cellulaires ont tendance à se cristalliser, provoquant de nombreux dommages au sein de la cellule. Ce phénomène peut être contrecarré par les LEA, qui peuvent agir comme des solutés compatibles pour augmenter la viscosité du milieu intracellulaire et ainsi éviter sa cristallisation (Ramanjulu et Bartels, 2002). Selon Danyluk et al., (1998) l'accumulation de la déhydrine acide WCOR410 près de la membrane, sous conditions de basses températures, est un signe d'implication de cette protéine dans le contrôle du processus de la cryo- protection des membranes. Le fraisier transgénique, qui surexprime le gène WCOR410 de la déhydrine acide du blé, se montre tolérant aux basses températures (Houde et al., 2004). La sur- expression du gène *hva1* chez le riz induit la résistance aux stress salin et hydrique (Xu et al., 1996).

4-1-2-Protéines aquaporines

Les plantes se doivent de maintenir leur statut hydrique, tout au long de leur développement, même lorsque les conditions environnementales sont sévères (Maurel., 2009). Les aquaporines appartiennent à la large famille des protéines intramembranaires les MIPs, Major Intrinsic Proteins (Chrispeel et Maurel., 1994 ; Santos et Mazzafera., 2013). Ce sont de petites protéines monomériques, hydrophobes de 250 à 300 AA et de 26 à 30 KDa formant un canal dans les membranes plasmiques ou les membranes intracellulaires (Merret., 2010 ; Forrest et Bhave., 2008 ; Chaumont., 2001 ; Tyerman et al., 1999, Maurel et al., 2007).

Smart et al., (2001) ont montré que la répression de gènes d'aquaporines diminue la perméabilité à l'eau des membranes et peut conduire à la conservation cellulaire de l'eau pendant des périodes de contrainte hydrique. En revanche, il y a des exemples de gènes d'aquaporines,

qui sont exprimés pendant le stress hydrique ayant pour résultat une plus grande perméabilité et une augmentation du flux de l'eau (Yamada et al., 1997).

La structure illustrée dans la figure n°07, montre six hélices membranaires inclinées (I-VI) et deux domaines de formation de pores constitués de deux courtes hélices α entrant dans la membrane depuis les surfaces extracellulaire et intracellulaire (flèches). Les deux NPA sont indiquées en vert. Les domaines amino- et carboxy-terminaux sont orientés vers le côté cytoplasmique de la membrane (Kruse et al., 2006).

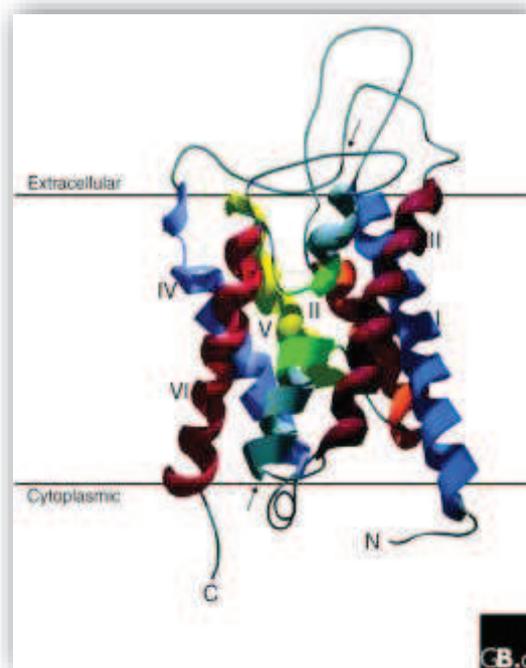


Figure 07 : Structure tridimensionnelle d'un monomère de sous-unité d'aquaporine (Kruse et al., 2006)

4-1-3-Proteines HSP (Heat Shock Proteins):

En condition de stress thermique, la cellule active l'expression de protéines spécialisées connues sous le nom de protéines de choc thermique ou Heat Shock Proteins « HPS », néanmoins, on les trouve également surexprimées lors de l'exposition des plants à la sécheresse, ou à des fortes teneurs en sel (Wang et al., 2004).

Une lésion aux membranes due à un stress soudain de chaleur peut provenir soit de la dénaturation des protéines membranaires soit de la fonte des lipides membranaires qui conduit à la rupture des membranes et à la perte du contenu cellulaire (Ahrens et Ingram, 1988). De plus, quand des cellules sont soumises à un choc thermique, sublétalement mais suffisant pour induire

une augmentation de la synthèse des HSP et leur accumulation, elles sont alors capables de résister à un deuxième choc thermique de plus grande intensité qui, lui, aurait dû être létal

Leur rôle crucial est la protection, le maintien et la régulation de la conformation des protéines, de leur assemblage, de leur localisation et de leur dégradation dans de nombreux processus cellulaires. Elles sont également impliquées dans la stabilisation des protéines et des membranes. Elles permettent ainsi une protection des plantes lors de stress par un rétablissement de la conformation initiale des protéines et de l'homéostasie cellulaire (Wang et al., 2004). Elles se répartissent en 5 classes majeures, nommées en fonction du poids moléculaire des protéines : les HSP 100, HSP 90, les HSP 70, les HSP 60 et les sHSP (small heat shock proteins).

- **Les HSP100** : Les protéines de la famille des HSPs 100 sont une localisées dans le cytosol (comme l'HSP 101) et comprennent à la fois des éléments inductibles à la chaleur et constitutifs. Elles favorisent la réactivation des protéines dénaturées par la chaleur (Queitsch et al., 2000). Elles sont dépendantes de l'ATP et peuvent tirer les protéines mal repliées à travers leur pore central, permettant aux protéines de se replier (Richter et al., 2010). De plus les protéines HSPs 100 coopèrent généralement avec les HSPs 70 pendant le traitement des protéines agrégées (Liberek et al., 2008).

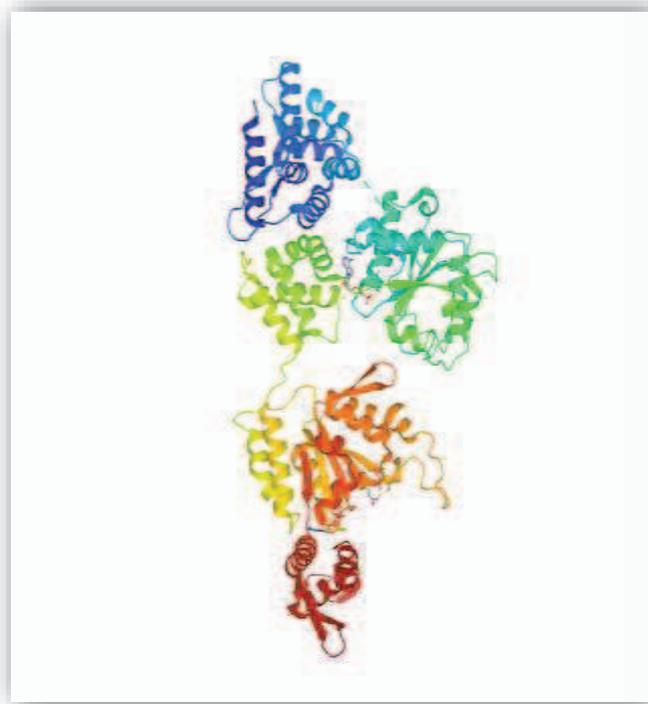


Figure 08 : Structure cristalline haute résolution de ClpA (HSP100) (Xia, D et al., 2004)

- **Les HSP90** : C'est une protéine essentielle au développement des organismes. Le rôle essentiel de HSP90 dans le développement et la différenciation cellulaire viendrait notamment du fait que de nombreuses protéines ont besoin de HSP90 pour être stabilisée ou actives.

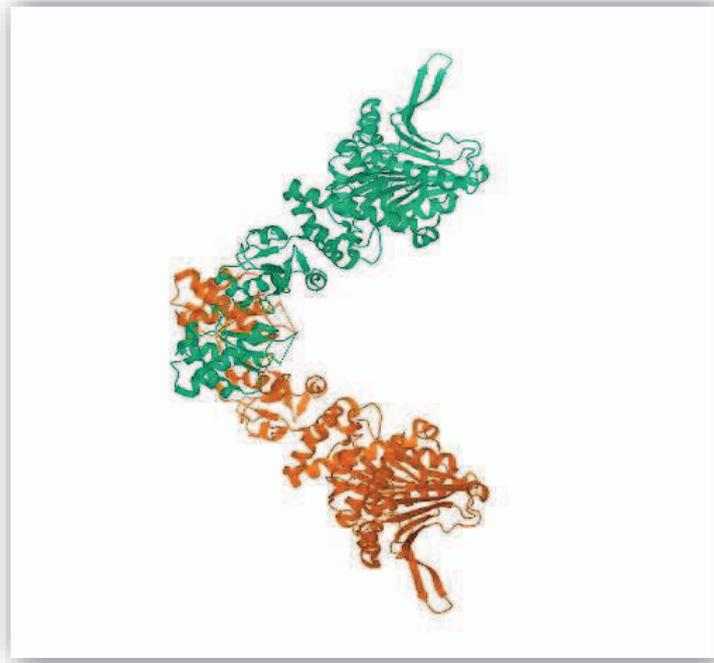


Figure 09: Structure cristalline du HTPG pleine longueur (exemple : *Escherichia coli*)
HSP90 (Shiau, A.K et al ., 2006)

- **Les Hsp70** : HSP70 est la protéine de choc thermique inductible par excellence. Dans des conditions physiologiques, HSP70 est un chaperon moléculaire dépendant de l'ATP. Elle facilite le repliement des polypeptides nouvellement synthétisés, participe à l'assemblage de complexes multi protéiques et au transport des protéines dans la cellule.

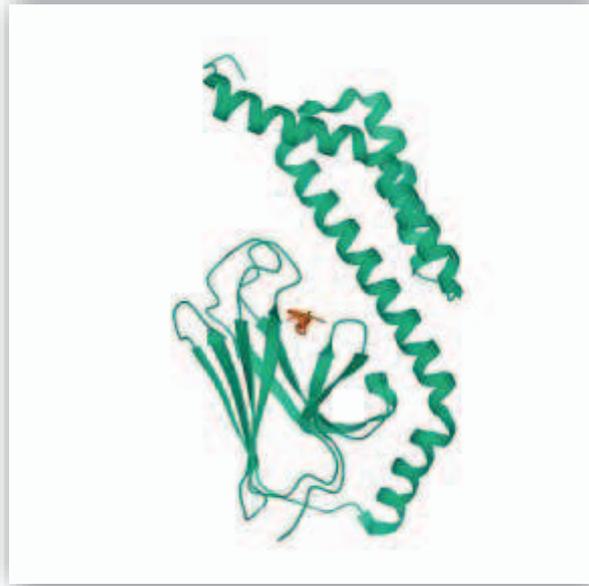


Figure10: Liaison au substrat HscA complexé avec the IscU peptide de reconnaissance ELPPVKIHC HSP70 (Cupp-Vickery, J.R et al .,2004)

- **Les HSP60 :** Les protéines de choc thermique de 60 kDa ont d'abord été identifiées chez la bactérie, sous le nom de GroEL. Chez les plantes, une protéine homologue a ensuite été identifiée dans le chloroplaste. Cette dernière est requise pour l'assemblage correct des sous-unités de l'enzyme Rubisco (ribulose biphosphate carboxylase monooxygénase) (Hemmingsen et al., 1988). Leur structure consiste en un complexe de deux bagues heptamériques, formant un cylindre à activité ATPase, dont la fonction est de faciliter le repliement de protéines monomériques et de catalyser l'assemblage de complexes oligomériques (Sigler et al., 1998). Leur structure consiste en un complexe de deux bagues heptamériques, formant un cylindre à activité ATPase, dont la fonction est de faciliter le repliement de protéines monomériques et de catalyser l'assemblage de complexes oligomériques (Sigler et al., 1998).

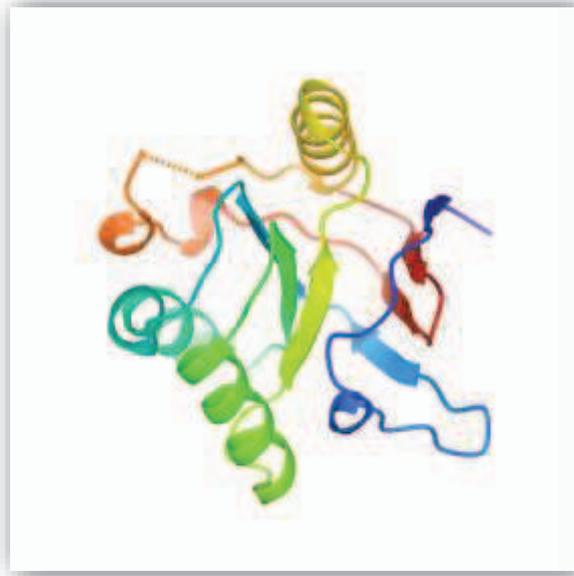


Figure 11 : Fragment de Groel (classe HSP60) comprenant des résidus 191-345
(Zahn, et al ., 1996)

- **sHSP (small heat shock proteins) :** Les protéines de choc thermique de faible poids moléculaire (entre 15 et 30 kDa) ou sHSP forment une famille ubiquitaire et abondante. Elles partagent des homologies de séquence et des propriétés biochimiques telles que la phosphorylation et l'oligomérisation. Ces chaperons moléculaires ont une activité indépendante de l'ATP et protègent les cellules de l'agrégation des protéines (Ehrnsperger et al., 1997).

De ce fait de nombreux chercheurs abordent la résistance au stress par l'isolement et l'étude de ces molécules. Les résultats de nombreuses études laissent supposer que les HSP sont impliquées dans des mécanismes de tolérance aux hautes températures (Campalans et al., 1999).

CHAPITRE II : Matériel et méthodes

I- Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans le présent travail est constitué de deux variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) Bousselem et Semito, Les semences de ces dernières ont été fournies gracieusement par l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) d'EL-Khroub Constantine. Elles sont répertoriées dans le catalogue officiel de l'ITGC- EL Khroub et présentent les caractéristiques mentionnées dans le Tableau ci-dessous :

Tableau 1 : Caractéristiques des variétés de blé dur étudiées :

	Simeto	Bousselem
Obtenteur	IAO ITALIO	ITGC Setif
Demandeur	ITGC	ITGC
Origine	Italie	Mexique/Algérie
Année d'inscription	2001	2000
Type de développement	Hiver	Hiver
Caractéristique agronomique : -Rendement	Elevé	Elevé
Caractéristique technologique : -PMG -Qualité semoulière -Mitadinage -Teneur en protéine	Elevé Tres bonne Resistance 15.80	Elevé Bonne Résistance 15.01
Résistance aux maladies : -Oïdium feuille -Oïdium Epi -Rouille brune -Septoriose	Moyennement sensible Résistance Moyennement sensible Moyennement sensible	Moyennement sensible Résistance Sensible Moyennement sensible

II- Mise en place de l'essai

Cette étude est réalisée au niveau de laboratoire de Génétique Biochimie et Biotechnologie Végétale, (équipe IV : Physiologie Moléculaire et Biodiversité des Plantes) à Chaabat EL Rasses, Université des frères Mentouri Constantine1.

1- Conduite de l'essai et stade de mesure :

L'expérimentation est conduite sous serre. Les grains choisis ont été désinfectés dans une solution d'eau de javel à 10% puis ils ont été rincés 3 fois avec de l'eau distillée ; ils ont été ensuite placés dans des boîtes de Pétri sur un papier filtre imbibé d'eau pendant 3 jours dans des conditions ambiantes du laboratoire : température variant entre 20-25°C et à l'obscurité. Les semences germées ont été ensuite repiquées dans des pots de 7 Kg à raison de 8 plantules par pot. Chaque pot contient un mélange de sol agricole de la pépinière de Chaabet EL Rasses de l'Université Constantine 1 et du sable dans les proportions 2 : 1.

2- Détermination et application de stress

Les pots ont été placés sous serre, ils sont irrigués régulièrement 2 fois par semaine jusqu'à l'obtention de la cinquième feuille. L'étude de l'effet des stress hydrique et thermique a été réalisée après l'obtention de la cinquième feuille.

2-1-Application de stress hydrique et thermique

Les plantes ont été soumises à trois régimes hydriques à raison de trois répétitions pour chaque traitement. Les pots ont été répartis en cinq lots :

- *Premier lot* : représente le témoin qui regroupe les plantules qui sont maintenues en 100% de capacité au champ.
- *Deuxième lot* : représente les plantules du premier traitement du stress hydrique obtenus par l'arrêt d'irrigation après une semaine (stress modéré).
- *Troisième lot* : représente les plantules du deuxième traitement du stress hydrique obtenus par l'arrêt d'irrigation après deux semaines (stress sévère).
- *Quatrième lot* : représente les plantules du troisième traitement qui regroupe les plantules exposées à une température de 35°C pendant 6 heures, en gardant les mêmes conditions (d'humidité du sol)

- *Cinquième lot* : représente les plantules du quatrième traitement qui regroupe les plantules exposées à une température de 45°C pendant 6 heures, en gardant les mêmes conditions (d'humidité du sol)

3- Paramètres étudiés

Le suivi du comportement des deux variétés du blé dur vis-à-vis des différents stress abiotique appliqué a été basé sur plusieurs paramètres morpho-physiologiques et biochimiques.

3-1-Paramètres morpho-physiologiques

3-1-1-Mesure de la surface foliaire (SF : cm²)

La surface foliaire est déterminée par la méthode de Paul et *al.*, (1979) qui consiste à prendre la feuille de blé dur sur papier calque et découper les contours de la feuille, ce dernier est pesé (Pf). Ensuite couper un cm(S (1cm²)) de côté de ce même papier qui est également pesé (P (1cm²)). La surface foliaire SF est calculée par la formule suivante :

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

3-1-2- Mesure de la teneur relative en eau (TRE%)

La teneur relative en eau (TRE) est déterminée d'après la méthode de Barrs (1968), elle consiste à évaluer la tolérance à la sécheresse et cela en état de déficit hydrique. Selon cette méthode, L'avant dernière feuille de chaque plantule de chaque variété du blé dur avec trois répétitions, est prélevée puis pesées immédiatement pour obtenir leur poids frais (PF). Ces feuilles sont mises par la suite dans des tubes à essai remplis à moitié d'eau distillée et placés à l'obscurité dans un endroit frais, après 24h les feuilles égorgées d'eau sont retirées, passées dans un papier buvard pour absorber l'eau de la surface, et pesées à nouveau pour obtenir le poids de la pleine turgescence (PT), Les échantillons sont enfin mis à l'étuve ventilée régler à 85°C pendant 48h et pesés pour avoir leur poids sec (PS). La teneur relative en eau est calculée par la formule suivante (la formule de Clark et MacCaig, 1982):

$$TRE \text{ (\%)} = 100 \left[\frac{(PF - PS)}{(PT - PS)} \right]$$

3-1-3- Mesure de la conductivité électrolytique (Intégrité cellulaire) (CE%)

Le pourcentage d'intégrité cellulaire consiste en une mesure de la libération d'électrolytes suite à la destruction partielle de la membrane plasmique. Ce test de l'intégrité cellulaire (IC%) a été réalisé selon la méthode décrite par (Dkhil et Denden, 2012). Trois feuilles sont prélevées au hasard par traitement, par répétition et par variété. Elles sont lavées à l'eau déminéralisée afin d'enlever tout résidu ou électrolytes pouvant adhérer à la surface, découpées ensuite en segments de 1 cm de long. Les échantillons sont recueillis dans des tubes à essai auxquels sont ajoutés 10 ml d'eau distillée, ces derniers ont été maintenus pendant 24 h à température ambiante du laboratoire 25°C. Après 24 h, on mesure la première valeur de la conductivité électrique (CE1) grâce à un conductimètre en plaçant délicatement la sonde dans le tube (après étalonnage de l'appareil). La seconde lecture de la conductivité électrique (CE2) est notée 24 heures après la première lecture et après avoir passé les échantillons à l'autoclave, et refroidi (température ambiante du laboratoire). Le pourcentage de cellules endommagées (CE%) est estimée sous l'effet de l'augmentation de la température en utilisant la formule suivante :

$$CE (\%) = (CE1 / CE2) \times 100$$

3-1-4- Mesure la teneur en chlorophylle (unités SPAD)

La teneur en chlorophylle totale des feuilles a été déterminée à l'aide d'un chlorophylle mètre SPAD « Soil Plant Analysis Development » modèle 502 Minolta. Ce système permet de mesurer l'absorbance de la lumière à travers la feuille sans altérer cette dernière. Le principe d'analyse est la mesure de la transmittance lumineuse à 2 longueurs d'ondes : le rouge (650 nm), bande d'absorption de la chlorophylle et le proche infrarouge (950 nm) dont la réponse est liée à la structure interne de la feuille (absorptivité et épaisseur des tissus foliaires). Pour ce faire, l'appareil émet à travers la pince qui séquestre la feuille, 2 faisceaux (rouge et infrarouge). Ceux-ci, après avoir traversé la feuille, sont captés par des récepteurs qui vont transformer la lumière transmise en signal électrique et l'amplifient. Le signal est ensuite converti en unités analogiques, appelé unités SPAD. Après une calibration effectuée « à vide » pour déterminer une mesure de référence à 100 % de transmission, l'appareil calcule le ratio des transmittances dans les 2 bandes spectrales, qui est proportionnel à la teneur en chlorophylles dans la feuille, exprimé en unité arbitraire (ou unité SPAD). La mesure donnée est une moyenne de 3 lectures qui ont été effectuées le long de la section médiane de la feuille.

3-1-5 Mesure de la température foliaire (°C)

La température de surface foliaire a été mesurée à l'aide d'un thermomètre infrarouge numérique portable (modèle Kane-May). Quand la température d'un corps augmente, il émet une radiation sous forme de rayonnement électromagnétique qui sera mesuré par des capteurs infrarouges thermiques dans la bande infrarouge (0.7 - 100 μm) du spectre électromagnétique et la relie ensuite à la température du corps (Gaussorgues, 1999). Les mesures sont données en degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$)

3-2-Paramètres biochimiques : L'analyse des protéines totales par SDS-PAGE

3-2-1- Principe

La séparation des protéines des feuilles des deux variétés de blé dur soumis aux différents traitements, consiste à les séparer par la technique de SDS-PAGE (sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis) qui repose comme toute technique électrophorétique, sur la séparation des molécules chargées dans un champ électrique. Sa particularité est de soumettre les échantillons protéiques à un prétraitement dénaturant sous l'action de deux composés :

- Le β -mercaptoéthanol qui est un composé qui exerce une action dénaturante sur les protéines oligomériques en rompant les ponts disulfure, ce qui désorganise leur structure tridimensionnelle et provoque la dissociation des sous unités.
- Le SDS (Sodium Dodecyl Sulfate) qui est un détergent anionique fort. Il a la propriété de défaire la structure spatiale en se fixant sur les protéines et de les charger de la même façon, permettant ainsi de les séparer uniquement en fonction de leur masse moléculaire.

3-2-2- Extraction des protéines

Selon De Leonardis et al., (2007), l'extraction des protéines totales des feuilles commence par le broyage de 100mg des échantillons de chaque niveau de stress dans de l'azote liquide à l'aide d'un mortier et un pilon, puis par l'ajout de 1ml de la solution de précipitation et l'homogénéisation (annexe 01). Les échantillons sont stockés pendant une heure à -20°C , puis centrifugés pendant 15min à 4°C à 13 000 rpm. L'étape suivante consiste à éliminer le surnageant en renversant le tube tout en veillant à ne pas détacher le culot. Ce dernier est lavé avec 1ml de solution de rinçage (annexe 01), il est stocké pendant une heure à nuit à -20°C , le surnageant est alors éliminé délicatement. Dans un dessiccateur et pendant 30 minutes à 60°C on fait sécher les tubes. Le culot est alors réduit en poudre à l'aide d'une baguette en verre. Le culot ainsi réduit, est récupéré dans 100 μl de tampon de solubilisation

Laemmli buffer (annexe 01), vortexer, centrifugé pendant 10 minutes à 20°C et stocké à -20°C. Le produit est enfin prêt à être déposé après sa décongélation.

3-2-3- Préparation des gels

Dans la méthode de séparation des protéines par SDS-PAGE nous avons préparé deux types de gels : un gel de séparation qui permet de fractionner les différentes protéines et les sous-unités protéiques selon leurs poids moléculaires et un gel de concentration permettant de retenir les impuretés et de tasser les protéines voir l'annexe n°03.

3-2-4- Dépôt des échantillons et migration

Déposer 20 µl d'échantillons par puits à l'aide d'une microseringue. Un puits est réservé pour des standards de poids moléculaires connus (annexe. 02) (dans chaque dépôt faire rincer la microseringue avec le tampon d'électrophorèse). La cuve d'électrophorèse (bac inférieur) est remplie d'un volume suffisant de tampon de migration, une tension électrique de 60 mA a été appliquée entre les électrodes (*Cuve BIO-RAD*). Une fois la migration terminée, il faut attendre jusqu'à ce que le front de bleu de bromophénol atteigne le bord inférieur des plaques (Approximativement 45min).

3-2-5- Révélation des gels

La révélation a été faite par coloration et fixation pendant toute une nuit dans une solution de coloration (annexe 02) sous agitation pour éviter le dépôt du colorant. Après ils sont décolorés dans de Solution de décoloration (annexe 02).

3-2-6- Exploitation des résultats

L'interprétation des gels électrophorétiques se fait grâce à l'utilisation du logiciel *Photocapt 8* qui donne le poids moléculaire en fonction du marqueur du poids (FPM). La présence des bandes est codée par « 1 » et leur absence par « 0 ».

III- Traitement des données

Les résultats, présentés sous forme d'histogrammes, rejoignent le plus souvent des valeurs moyennes et leurs écartypes, ces deux derniers ont été réalisés par le logiciel Excel 2010 pour Windows. L'analyse de variance à deux facteurs (facteur variété, facteur traitement et leur interaction) et les groupes homogènes ont été réalisés par l'utilisation d'un logiciel spécifique « Excel STAT 2009 » en utilisant le test de NEWMANKEULS.

CHAPITRE III : Résultats et discussion

1- Evolution de la surface foliaire

La surface foliaire est affectée par le stress hydrique ainsi que par le stress thermique.

Sous condition de bonne alimentation hydrique, les valeurs de la surface foliaire des variétés étudiées changent entre une valeur minimale de $(11,23 \pm 0,79)$ à une valeur maximale de $(15,46 \pm 0,79)$ cm² enregistrée chez le géotype Bousselem et Simeto successivement (Figure.12).

Après 7 jours d'arrêt d'irrigation, la surface foliaire des deux variétés testées situent entre $(10,31 \pm 2,06)$ et $(8 \pm 1,21)$ cm² signés chez les variétés Bousselem et Simeto successivement. Après 15 jours d'arrêt d'irrigation, les valeurs de la surface foliaire situent entre $(11,43 \pm 1,55)$ chez la variété Bousselem et $(11,08 \pm 1,79)$ cm² marqué chez la variété Simeto.

Quant au stress thermique, les résultats obtenus montrent une réduction foliaire moins importante dans la variété locale (Bousselem) par rapport à la variété introduite (Semito) (Figure 12). Pour le traitement de stress thermique en température 35°C. La SF varie entre $(9,08 \pm 2,20)$ cm² chez la variété Bousselem et $(11,04 \pm 1,88)$ cm² chez la variété Simeto, et pour le traitement de stress thermique en température 45°C. La SF varie entre $(12,21 \pm 1,99)$ cm² chez la variété Bousselem et $(7,98 \pm 1,38)$ cm² chez la variété Simeto.

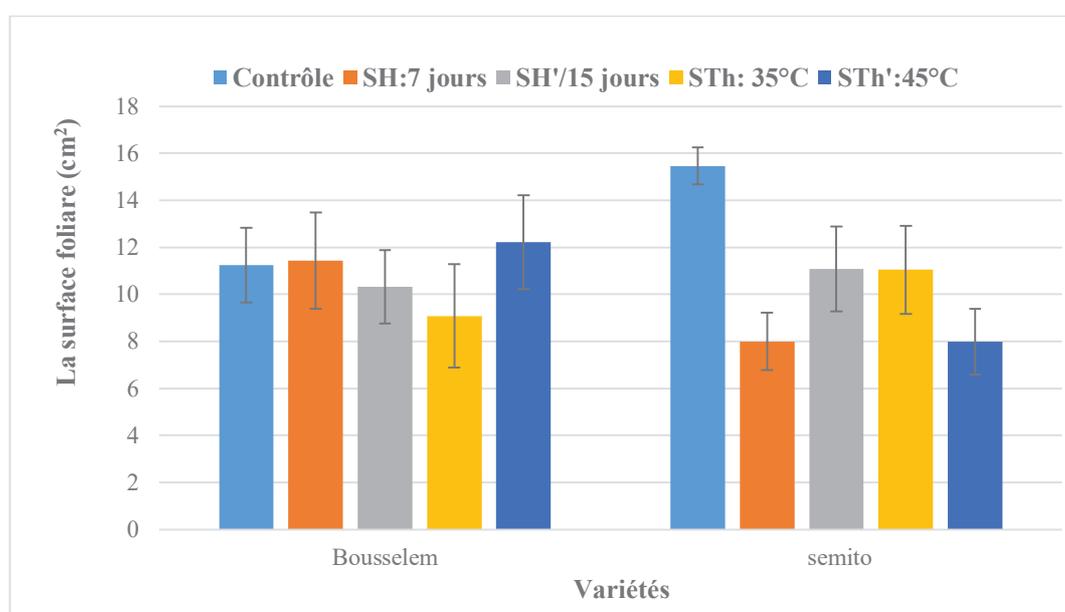


Figure 12: Evolution de la surface foliaire sous condition contrôle (C) et sous différentes conditions de stress hydrique (SH: arrêt d'irrigation pendant 7 jours; SH': arrêt d'irrigation pendant 15 jours) et stress thermique (Th: 35°C; Th': 45°C) chez deux variétés de blé dur.

D'après l'analyse de la variance effectuée sur les deux facteurs (variété, traitement destress abiotique), et d'après l'analyse de la variance de leur interaction on constate l'existence d'une différence hautement significative que dans le facteur traitement et l'interaction (variété*traitement)(Tableau 01).

Tableau. 02 : Comparaison des moyennes de la surface foliaire obtenue à partir des deux

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Traitements	4	62,663	15,666	5,423	0,004
Variétés	1	0,156	0,156	0,054	0,819
traitements*Variétés	4	67,412	16,853	5,834	0,003

types de stress abiotique appliqué au deux variétés de blé dur

Le test NEWMAN-KEULS au seuil 5% classe les traitements de stress en deux groupes, dont la moyenne la plus élevée (13,35cm², groupe A) est enregistrée au témoin, le deuxième groupe B représente les traitements des stress hydrique et thermique, voir me tableau 3.

Tableau. 03 : Classement des traitements hydrique et thermique chez les deux variétés pour la surface foliaire.

Modalités	Moyenne	Regroupements	
C	13,350	A	
SH'	11,260		B
Th'	10,098		B
Th	10,063		B
SH	9,158		B

La tolérance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître, L'effet du stress hydrique se traduit, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou génotype, par des modifications pour augmenter l'absorption d'eau et pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilés (Passioura, 2004). Ces modifications affectent la partie aérienne et /ou souterraine. Un stress hydrique se traduit par une réduction de la croissance de la plante et de sa production par rapport au potentiel du génotype. D'ailleurs, Un stress hydrique précoce

affecte en parallèle la croissance des racines et des parties aériennes, le développement des feuilles (Hopkinsw, 2003). De nombreuses plantes évitent la surchauffe en faisant adopter une position plus verticale aux feuilles, le cas des graminées, en provoquant l'enroulement des feuilles le long de leur axe.

2- Evolution de la teneur relative en eau

La teneur en eau relative est souvent considérée comme un excellent indicateur de l'état hydrique de la plante, une signification physiologique qui permet de mettre en évidence l'état de la balance hydrique de la plante. Ce paramètre est affecté par des contraintes abiotiques, nous avons noté dans ce travail, une contrainte hydrique et thermique.

En condition optimum de bonne alimentation hydrique, on ne décèle pas de grandes différences, concernant les valeurs de la teneur relative en eau, relevées à partir des feuilles des variétés testées, Ces dernières présentent des valeurs de l'ordre de $(87,26 \pm 6.7)$ et $(96.70 \pm 12.16)\%$ respectivement pour les variétés Bousselem et Simeto.

Après l'application du stress hydrique par l'arrêt d'irrigation pendant 7 jours et 15 jours on remarque que la TRE, diminue chez les deux variétés étudiées. En condition de 7 jours de sécheresse les valeurs de la TRE enregistrés varient entre $(69,81 \pm 10.50)$ comme valeur minimale chez Bousselemet (72.95 ± 11.34) comme valeur maximale chez Simeto. Cependant, les valeurs les plus faibles de la teneur relative en eau sont enregistré chez les plantes de traitement 15 jours de sécheresse, avec les moyennes de $(56.88 \pm 3.64)\%$ chez Bousselem, et $(59.96 \pm 2.51)\%$ chez Simeto.

Les plantes stressées à 45°C présentent une augmentation de la TRE par rapport aux traitements stress hydrique et également par rapport à celles des témoins. La TRE des plantes soumis au stress thermique à 35°C des deux variétés, marque des valeurs de $(93.73 \pm 5.65)\%$ chez Bousselem et $(83.26 \pm 8.48)\%$ chez Simeto. Alors que, les plantes soumis au stress thermique à 45°C enregistrent des valeurs de TRE de $(76.68 \pm 3.67)\%$ chez Bousselemet $(89.17 \pm 9.46)\%$ chez Simeto.

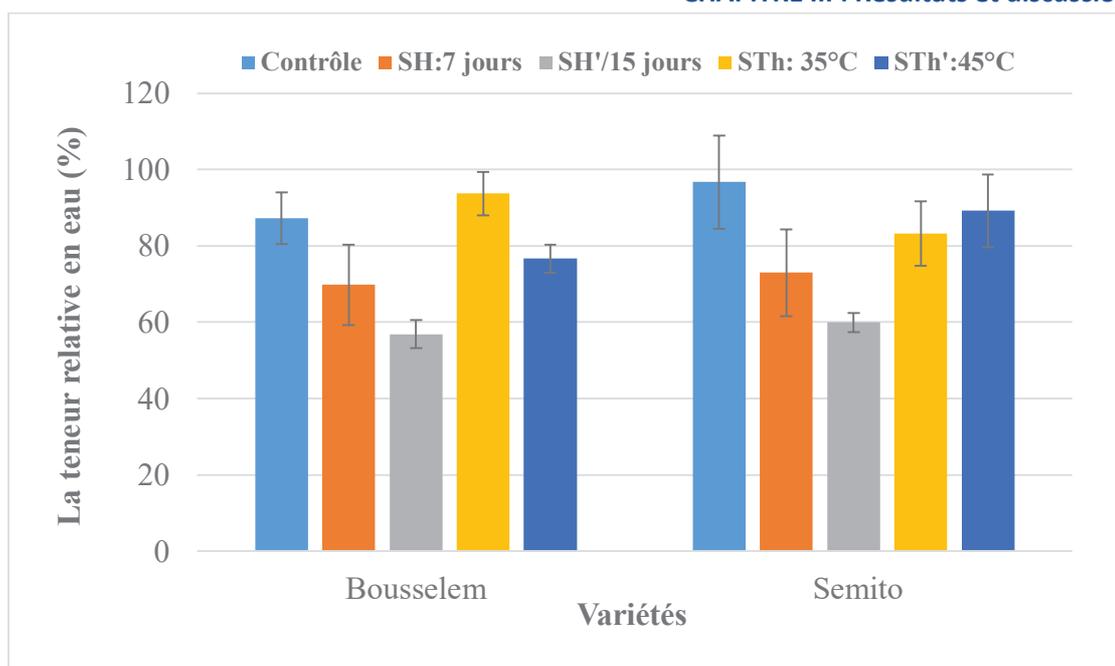


Figure 13: Evolution de la teneur relative en eau sous condition contrôle (C) et sous différentes conditions de stress hydrique (SH: arrêt d'irrigation pendant 7 jours; SH': arrêt d'irrigation pendant 15 jours) et stress thermique (Th: 35°C; Th': 45°C) chez deux variétés de blé dur.

Les résultats sont analysés par le test statistique à l'aide de l'analyse de la variance et la comparaison des moyennes de la TRE, qui fait ressortir des différences très hautement significatives pour l'effet traitements (tableau 04), et non significative pour l'effet génotypes et l'interaction entre traitement et génotypes (tableau 04).

Tableau. 04 : Comparaison des moyennes de la teneur relative en eau obtenue à partir des deux types de stress abiotique appliqué au deux variétés de blé dur

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Traitements	4	4534,147	1133,537	17,216	< 0,0001
Variétés	1	93,561	93,561	1,421	0,247
traitements*Variétés	4	467,487	116,872	1,775	0,173

Selon Le test NEWMAN-KEULS au seuil 5%, dont il a fait une comparaison multiple pour l'effet traitement, a fait ressortir des différences significatives entre tous les interactions de traitement sans prendre en considération le génotype. Ce même test classe le facteur traitement en 3 groupe homogènes, dont le premier groupe A englobe les lots : contrôle, stress thermique 35°C et 45°C avec les moyennes (91.986, 88.499 et 82.930)% respectivement. Le

deuxième groupe B présente le stress hydrique modéré avec une moyenne de 71.387%. Le troisième groupe C porte le stress hydrique sévère avec une moyenne égale à 58.407%.

Tableau. 05 : Classement des stress chez les deux variétés pour la teneur relative en eau.

Modalités	Moyenne	Regroupements		
C	91,986	A		
Th	88,499	A		
Th'	82,930	A		
SH	71,387		B	
SH'	58,407			C

La comparaison de l'évolution de la turgescence relative en eau des deux variétés de blé dur (Bousselem et Simeto) a montré que les deux stress entraînaient une chute du pourcentage d'eau présent au niveau des feuilles. Cette chute varie d'un stress à un autre et selon le génotype, ce qui a été confirmé par l'analyse statistique, ces résultats sont conformes avec ceux obtenus par (Achour, 2015). La teneur relative en eau, c'est un paramètre physiologique indicateur de la résistance des espèces vis-à-vis d'un stress hydrique. Les espèces végétales qui maintiennent des teneurs foliaires relatives en eau élevées sont considérées comme étant des espèces résistantes à la sécheresse (Berka et Aïd, 2009). Scofield et *al.*, (1988) notent que la diminution de la TRE est plus rapide chez les variétés sensibles que chez les variétés résistantes.

Il est évident que les génotypes stressés montrent une diminution variable de la TRE, cette variation génotypique pourrait être attribuée à des différences dans le pouvoir d'assimilation de l'eau par le système racinaire, à leur pouvoir de contrôle des pertes d'eau par les surfaces élaboratrices, Ou dans le pouvoir d'ajustement osmotique servant au maintien de leur turgescence cellulaire et de leurs activités physiologiques (Bouakez et Hamadouche, 2015). La diminution de ce paramètre s'explique par l'état de choc que les plantes ont subi lors de leur exposition à une haute température (45°C). Elles réagissent donc activement par l'ouverture et la fermeture des stomates afin de réduire au maximum la perte d'eau par évapotranspiration

Le manque d'eau est un élément déterminant pour la croissance des plantes, particulièrement en région arides et semi arides. Il induit chez les plantes stressées une diminution du contenu moyen en eau, (Amoumen et Benherbiche ,2013) ce qui est conforme avec nos résultats et pour les deux variétés étudiées (Bousselem et Simeto).

3- Evolution de l'intégrité cellulaire

La perte relative d'électrolytes est un test couramment utilisé pour évaluer les dommages causés par les différentes contraintes sur les cellules. Les résultats obtenus montrent que globalement le pourcentage de la conductivité électrolytique augmente lorsque les deux variétés exposées au traitement hydrique et thermique, en effet les feuilles des plantes stressées perdent autant d'électrolytes que celles des témoins, cette augmentation varie selon le type de stress et selon la variété testée (Figure 14).

En condition de bonne alimentation hydrique, les valeurs de l'intégrité cellulaire marquée varient entre $(15,96 \pm 1.50)\%$ chez la variété Bousselem et $(18.91 \pm 3.11)\%$ chez la variété Simeto.

Après un arrêt d'irrigation pendant 7 jours, on note une valeur maximale de l'intégrité cellulaire enregistrée chez la variété Bousselem $(23.03 \pm 4.3)\%$ et une valeur minimale enregistrée chez la variété Simeto $(17.33 \pm 0.72)\%$. Après 15 jours de manque d'eau on remarque une très grande augmentation d'électrolytes notée chez la variété Bousselem $(43.99 \pm 1.74)\%$, par contre une légère augmentation de l'intégrité cellulaire marquée chez la variété Simeto $(22.66 \pm 4.67)\%$ dans les conditions (Figure 14).

Dans le stress thermique on remarque une très grande augmentation dans la valeur d'électrolytes marquée au niveau du traitement thermique 35°C chez la variété Bousselem $(44.54 \pm 11.35)\%$. Par contre la variété Semito enregistre une légère diminution de l'intégrité cellulaire par rapport au contrôle avec une moyenne égale à $(15.06 \pm 5.98)\%$. Dans les conditions de traitement thermique à 45°C , la variété Bousselem marquée une forte diminution d'électrolytes par rapport aux traitements, et même par rapport à celles de condition de bonne alimentation hydrique $(10.28 \pm 0.92)\%$. Alors que, la variété Semito note une moyenne proche à celle de son témoin égale à $(18.37 \pm 5.58)\%$.

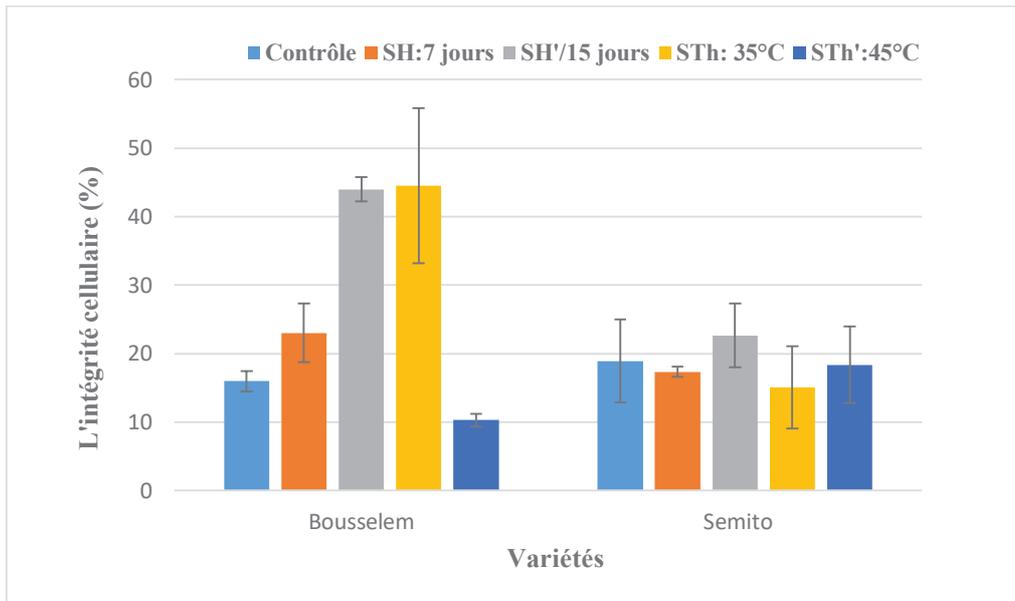


Figure 14: Evolution de l'intégrité cellulaire sous condition contrôle (C) et sous différentes conditions de stress hydrique (SH: arrêt d'irrigation pendant 7 jours; SH': arrêt d'irrigation pendant 15 jours) et stress thermique (Th: 35°C; Th': 45°C) chez deux variétés de blé dur.

D'après l'analyse de la variance effectuée sur les deux facteurs (variété, traitement de stress), et d'après l'analyse de la variance de leur interaction, on constate l'existence d'une différence très hautement significative (tableau 06).

Tableau. 06 : Comparaison des moyennes de l'intégrité cellulaire obtenue à partir des deux types de stress abiotique appliqué au deux variétés de blé dur

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
traitements	4	1633,491	408,373	16,164	< 0,0001
Variétés	1	636,370	636,370	25,189	< 0,0001
traitements*Variétés	4	1495,346	373,837	14,797	< 0,0001

Le test de NEWMAN-KEULS au seuil 5% pour le facteur traitement, désigne l'existence de deux groupes homogènes. Le premier groupe (A) englobe les deux traitements stress hydrique sévère (15 jours de manque d'eau) et le traitement du stress thermique à 35°C (modéré), avec des moyennes de 33.331% et 29.802% respectivement. Alors que, le deuxième groupe (B) regroupe le traitement hydrique (7 jours du manque d'eau) avec une moyenne de 20.184%, le contrôle avec une moyenne de 17.430 et le traitement thermique à 45°C avec une moyenne égale à 14.033% (tableau 07).

Tableau. 07 : Classement des stress chez les deux variétés pour l'intégrité cellulaire.

Modalités	Moyenne	Regroupements	
SH'	33,331	A	
Th	29,802	A	
SH	20,184		B
C	17,439		B
Th'	14,033		B

Les résultats obtenus montrent que le pourcentage de fuite d'électrolytes chez les plantes stressées est supérieur à celui obtenu chez les plantes témoins dans la variété Bousselem, ça s'explique par une altération de l'intégrité membranaire des cellules lors du stress, donc ça révèle une différence nette entre les plantes témoins et les plantes stressées. Par contre, les résultats enregistrés chez la variété Simetomontre que la stabilité membranaire est assez élevée et que les feuilles gardent une intégrité structurale importante malgré le stress appliqué. Les membranes cellulaires peuvent constituer l'une des premières cibles affectées par le stress chez les plantes, d'où la grande importance de la notion de stabilité membranaire, La variation des taux d'électrolytes sous différents stress, apporte une information complémentaire sur le comportement des variétés vis-à-vis ces contraintes (Bentahar 2017). En effet sous contraintes abiotique, la déstabilisation membranaire est due à une désorganisation de l'ultra structure des parois provoquée par le stress. Ces altérations peuvent résulter de destructions mécaniques par plasmolyse (Kara et Zerguine, 2016).

4- Evolution du taux de la chlorophylle totale

Les valeurs du taux de la chlorophylle totale sous condition contrôle varie entre (39.33 ± 0.11) SPAD chez la variété Bousselem et (48.2 ± 4.61) SPAD chez la variété Simeto.

Après l'application du stress hydrique par l'arrêt d'irrigation pendant 7 jours on remarque une valeur de teneur en chlorophylle totale de (39.13 ± 4.27) SPAD noté chez la variété Bousselem et (43.1 ± 4.51) SPAD noté chez la variété Simeto. Dans le traitement stress hydrique 15 jours du manque d'eau, on note une petite augmentation du taux de chlorophylle totale de (44.8 ± 1.31) SPAD chez la variété Bousselem et de (41.06 ± 2.00) SPAD chez la variété Simeto.

En condition de stress thermique à 35°C, taux de chlorophylle totale varie de (44.5±2.52) SPAD chez la variété Bousselem à (43.66±4.85) SPAD chez la variété Semito. Au second niveau de stress thermique à 45°C, la valeur maximale de la teneur en chlorophylle totale marqué chez la variété Bousselem(46.5±1.41) SPAD, alors que la valeur minimale marquée chez Semito (42.23±2.83) SPAD (Figure 15).

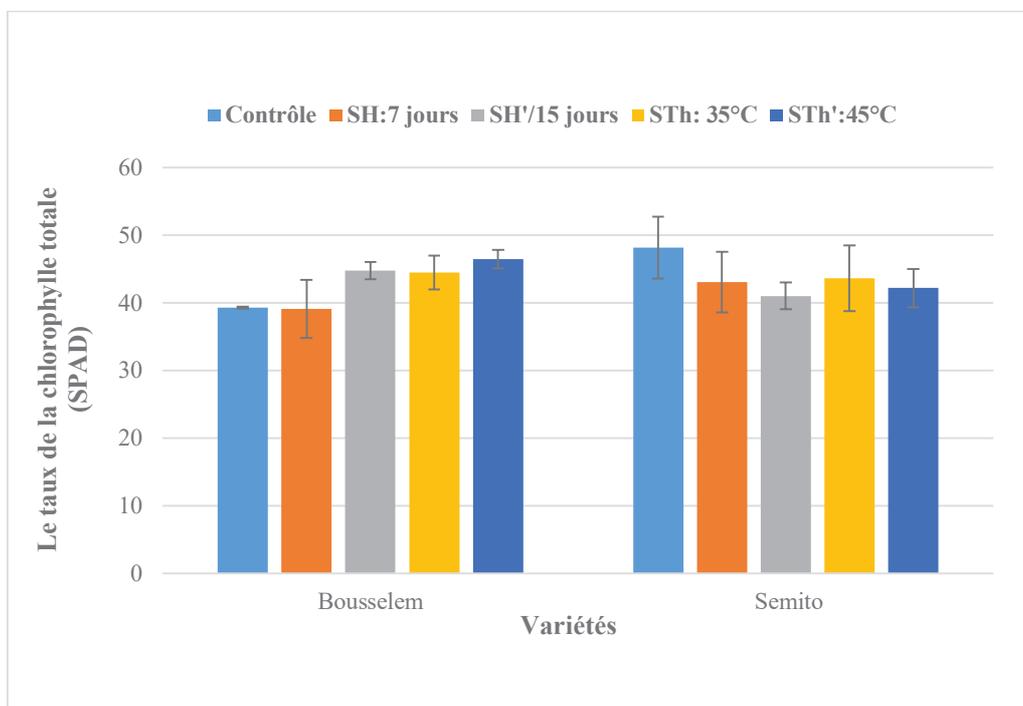


Figure 15: Evolution du taux de la chlorophylle totale sous condition contrôle (C) et sous différentes conditions de stress hydrique (SH: arrêt d'irrigation pendant 7 jours; SH': arrêt d'irrigation pendant 15 jours) et stress thermique (Th: 35°C; Th': 45) chez deux variétés de blé dur.

La comparaison des moyennes du taux de chlorophylle totale et l'analyse de variance, montrent qu'il existe une différence hautement significative entre l'interaction (variété × traitement). Alors qu'il n'existe aucune différence significative entre les traitements et les variétés testées (tableau 08).

Tableau. 08 : Comparaison des moyennes de la chlorophylle totale obtenue à partir des deux types de stress abiotique appliqué au deux variétés de blé dur

Source	Ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
traitements	4	41,158	10,290	0,973	0,444
Variétés	1	4,800	4,800	0,454	0,508
traitements*Variétés	4	185,983	46,496	4,396	0,010

L'augmentation de la teneur en chlorophylle totale est le résultat d'une diminution de la taille des cellules foliaires sous l'effet du stress hydrique, qui produit des concentrations élevées (Siakhène, 1984). D'autre part, la diminution de la teneur en chlorophylle est le résultat d'ouvertures stomatiques réduites visant à limiter les pertes en eau dues à l'évapotranspiration et à augmenter la résistance à l'invasion du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse (Bousba et *al.*, 2009). La quantité de chlorophylle des feuilles peut être influencée par de nombreux facteurs tels que l'âge des feuilles, l'emplacement des feuilles et des facteurs environnementaux tels que la lumière, la température et la disponibilité de l'eau (Hikosaka et *al.*, 2006).

5- Evolution de la température foliaire

Les fluctuations de l'échelle des valeurs de la température foliaire en fonction des deux traitements (hydrique et thermique) appliqués sont indiqués dans la figure 16, ces résultats montrent que la température foliaire a été positivement influencée par les deux stress imposés, ainsi on note une augmentation des valeurs de la température foliaire chez les deux variétés (Bousselem et Simeto) soumis en condition de stress abiotique appliqués.

D'après (la Figure 16), sous conditions optimales les deux variétés étudiées marquent des valeurs approximatives entre (20 ± 0.52) et $(17.86 \pm 2.01)^\circ\text{C}$ chez Bousselem et Semito respectivement.

Au traitement du stress hydrique après 7 jours de manque d'eau, la TF fluctue entre (23 ± 1.58) et (22.46 ± 0.90) chez les deux variétés Bousselem et Simeto respectivement. Après 15 jours de manque d'eau, la TF se varie entre (25.06 ± 1.50) et $(26.33 \pm 4.04)^\circ\text{C}$ chez la variété Bousselem et Simeto successivement.

Concernant le stress thermique à une température de 35°C , on marque des valeurs qui varient entre (24.33 ± 3.21) et $(23.53 \pm 1.13)^\circ\text{C}$ chez la variété Bousselem et Simeto respectivement. Contrairement, au niveau de stress thermique à 45°C les plantes notent des valeurs faibles de la température foliaire en comparaison avec le stress thermique modéré et les deux traitements de stress hydrique avec des moyennes de (21.86 ± 2.20) et (19.8 ± 0.52) enregistré chez la variété Bousselem et Simeto respectivement (figure 16).

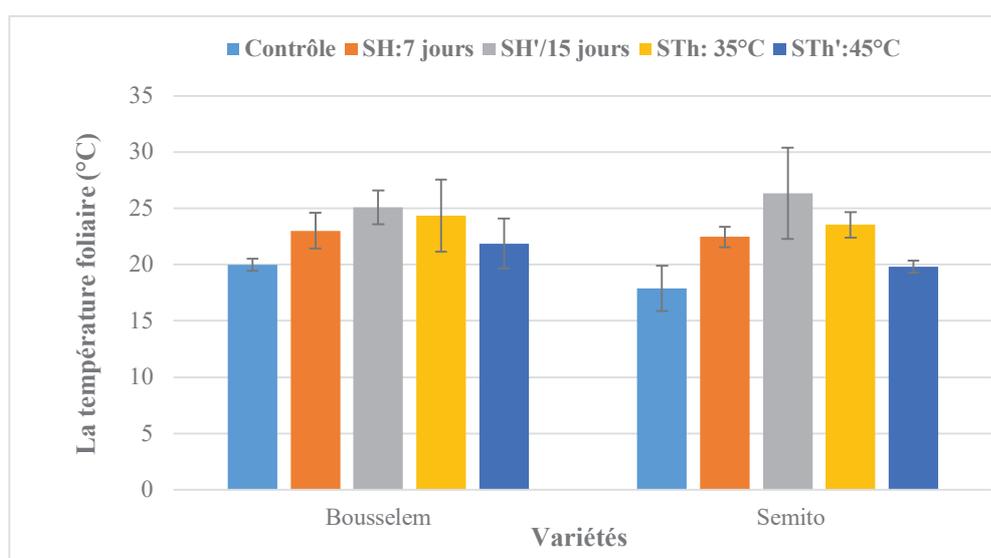


Figure 16: Evolution la température foliaire sous condition contrôle (C) et sous différentes conditions de stress hydrique (SH: arrêt d'irrigation pendant 7 jours; SH: arrêt d'irrigation pendant 15 jours) et stress thermique (Th: 35°C; Th: 45°C) chez deux variétés de blé dur/

L'analyse de la variance au facteur niveau de stress hydrique, donne une différencetrès hautement significative. Alors il n'existe pas une différence significative entre les variétés et l'interaction (variété × niveau) (tableau 09).

Tableau. 09 : Comparaison des moyennes de la température foliaire obtenue à partir des deux types de stress abiotique appliqué au deux variétés de blé dur

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Traitements	4	166,925	41,731	9,702	0,000
Variétés	1	5,461	5,461	1,270	0,273
traitements*Variétés	4	11,565	2,891	0,672	0,619

Le test NEWMAN-KEULS classe les traitements de stress en quatre groupes. Le groupe A correspond aux deux traitements de stress hydrique 15 jour de manque d'eau et le traitement thermique à 35°C qui caractérise la plus haute température foliaire(25.7 et 23.93) °C respectivement. Le groupe intermédiaire AB présente le traitement hydrique 7 jours de manque d'eau avec une moyenne de 22.73°C. Le troisième groupe intermédiaire BC présent le traitement thermique à 45°C (20.83°C). Tandis que le derniergroupe C porte le témoin avec une faible moyenne de température foliaire égale à 18.93°C (tableau10).

Tableau. 10 : Classement des stress chez les deux variétés pour la température foliaire.

Modalités	Moyenne	Regroupements		
SH'	25,700	A		
Th	23,933	A		
SH	22,733	A	B	
Th'	20,833		B	C
C	18,933			C

La température est un facteur clé de la croissance et du développement des plantes conjuguée avec la luminosité, le dioxyde de carbone, l'humidité dans l'air, l'eau et les nutriments (Tanja, 2017). Sous les conditions d'un stress thermique, l'augmentation de la température foliaire chez les deux variétés Bousselem et Simeto est due à une forte transpiration et aussi à un effet mécanique qui consiste à l'ouverture et la fermeture des stomates. Selon, (Leinonen et Jones, 2004), le stress thermique des hautes températures de l'environnement se trouve fréquemment associé au déficit hydrique, non seulement parce que les périodes chaudes sont souvent sèches, mais aussi à cause de l'augmentation de la transpiration qui dépend des conditions environnementales comme la lumière, le niveau de CO₂ atmosphérique et l'humidité relative, mais aussi des espèces végétales, ceci est conforme à nos résultats trouvés.

6- Analyse des protéines totales foliaire

L'utilisation de l'électrophorèse SDS-PAGE permet de détecter des différences dans les profils protéiques entre les deux variétés étudiées Bousselem et Simeto. Elle permet de la faire également entre les témoins et les plantes stressées de la même variété et sous deux contraintes abiotiques différentes hydrique et thermique en termes de présence et d'absence de bandes et de leurs poids moléculaires.

L'analyse des profils électrophorétiques des protéines totales des feuilles de la variété Bousselem révèlent la présence de 32 bandes différentes (tableau 11). Leur poids moléculaire varie de 17.211 KDa à 66.571 KDa. Deux bandes ont été observées chez toutes les plantes du témoin à ceux du stress hydrique et ceux du stress thermique, et il s'agit des bandes dont le poids est de 17.399, et 24.218 KDa. Quatre des 32 bandes ont été observées aussi bien chez le témoin que chez les stressés (traitement stress hydrique), c'est le cas des bandes dont le poids est de 28.754, 30.504, 41.122, 46.480 KDa. Alors que, 5 des 32 bandes ont été

observées que chez les stressés (stress hydrique), leurs poids 27.129, 37.608, 43.782, 44.025, 53.228KDa.

9 autres bandes ont été observées que chez traitement stress thermique. Ayant un poids moléculaire de 27.510, 32.708, 39.696, 40.883, 45.585, 49.596, 53.567, 53.907, 57376 KDa. D'autre part, 8 bandes n'ont été observées que chez les témoins : 22.396, 26.884, 36.705, 39.226, 44.269, 52.890, 60.936, 66.571 KDa. Par contre, 3 bandes sont apparues aussi bien chez les plantes stressées par un stress hydrique que ceux stressées par un stress thermique. Ces bandes correspondent à des poids moléculaires de 19.02, 29.2, 31.75 KDa.

Tableau. 11 : Diagramme présence/absence des bandes dans les feuilles de la variété Bousselem soumis aux différents stress abiotiques ; hydrique et thermique.

PM(KDa)	C	SH	SH'	TH	TH'
17.211	0	0	0	0	1
17.399	1	1	1	1	0
19.023	0	1	1	1	1
22.396	1	0	0	0	0
24.045	1	0	0	0	0
24.218	0	1	1	1	1
26.884	1	0	0	0	0
27.129	0	0	1	0	0
27.510	0	0	0	0	1
28.754	1	1	0	0	0
29.205	0	0	1	1	0
30.504	1	1	0	0	0
31.755	0	0	1	1	0
32.708	0	0	0	0	1
36.705	1	0	0	0	0
37.608	0	0	1	0	0
39.226	1	0	0	0	0
39.696	0	0	0	0	1
40.883	0	0	0	0	1
41.122	1	1	0	0	0
43.782	0	1	0	0	0
44.025	0	0	1	0	0
44.269	1	0	0	0	0
45.585	0	0	0	0	1
46.480	1	0	1	0	0
49.596	0	0	0	0	1
52.890	1	0	0	0	0
53.228	0	1	1	0	0
53.567	0	0	0	1	0
53.907	0	0	0	0	1
56.674	1	0	1	1	0

57.376	0	0	0	0	1
60.936	1	0	0	0	0
66.571	1	0	0	0	0

D'autre part, l'analyse du gel électrophorétique de la variété Simeto révèle la présence de 41 bandes différentes (tableau 12). Leur poids moléculaire varie de 13.260 KDa à 104.045 KDa. Une bande de 23.773 KDa a été observées chez toutes les plantes du témoin et des plantes soumis aux traitements appliqués.

12 bandes ont été observées que chez les stressés (stress hydrique). Leurs poids moléculaires sont: 13.260, 13.944, 18.201, 19.239, 21.979, 22.772, 32.149, 34.730, 39.1, 40.298, 54.860, 80.165 KDa.

13 autres bandes ont été observées que chez les stressés (stress thermique). Ayant un poids moléculaire: 19.745, 21.489, 23.534, 25.059, 28.388, 30.585, 31.825, 38.117, 47.794, 50.532, 55.137, 68.846, 104.045 KDa. D'autre part, 9 bandes n'ont été observées que chez les témoins leurs poids sont les suivants: 14.4, 17.212, 20.797, 24.439, 23.168, 32.644, 41.511, 52.669 KDa. Par contre, 2 bandes sont apparues aussi bien chez les plantes stressées par un stress hydrique que ceux stressées par un stress thermique. Ces bandes correspondent à des poids moléculaires de 13.412, 23.773, 46.206 KDa. On constate aussi l'apparition de 4 dans les 2 stressées et leur absence dans le lot témoin. Ces bande ayant le poids moléculaire :13.640, 16.534, 19.756, 51.593KDa.

Tableau. 12 : Diagramme présence/absence des bandes dans les feuilles de la variété Semetosoumis aux différents stress abiotiques ; hydrique et thermique.

PM(Kda)	C	SH	SH'	TH	TH'
13.260	0	1	0	0	0
13.412	1	0	0	0	1
13.640	0	0	1	1	0
13.944	0	1	0	0	0
14.400	1	0	0	0	0
16.594	0	0	1	1	0
17.212	1	0	0	0	0
18.201	0	0	1	0	0
19.239	0	1	0	0	0
19.745	0	0	0	0	1
19.958	0	0	1	1	0
20.797	1	0	0	0	0
21.489	0	0	0	0	1

21.979	0	0	1	0	0
22.407	1	0	0	0	0
22.772	0	1	0	0	0
23.534	0	0	0	0	1
23.773	1	0	1	1	0
24.439	1	0	0	0	0
25.059	0	0	0	1	1
28.388	0	0	0	0	1
29.168	1	0	0	0	0
30.585	0	0	0	1	0
31.825	0	0	0	0	1
32.149	0	0	1	0	0
32.644	1	0	0	0	0
34.730	0	0	1	0	0
38.117	0	0	0	1	0
39.100	0	0	1	0	0
40.298	0	1	0	0	0
41.511	1	0	0	0	0
46.206	1	0	0	0	1
47.194	0	0	0	1	0
50.532	0	0	0	0	1
51.593	0	1	1	1	0
52.669	1	0	0	0	0
54.860	0	0	1	0	0
55.137	0	0	0	1	1
68.846	0	0	0	1	0
80.165	0	0	1	0	0
104.045	0	0	0	0	1

En comparant les résultats des deux variétés obtenus après l'analyse des gels électrophorétiques on constate :

La présence de la protéine dont le poids est : 17.211 KDa dans le témoin des 2 variétés Bousselem et Simeto. Le stress hydrique et thermique influence l'apparition de la même protéine chez la variété Simeto.

La présence de la protéine dont le poids est : 24.218 KDa dans le témoin de la variété Simeto et son absence dans la variété Bousselem, et après les avoir stressées par stress hydrique et thermique on constate la sécrétion de cette protéine chez la variété Bousselem et son absence chez Simeto.

On peut dire que le métabolisme de la variété Simeto vu son nombre élevé de protéines inhibées par le stress, est plus perturbé que la variété Bousselem. Ces changements

dans le profil électrophorétiques des feuilles des variétés Bousselem et Simeto sont dus à une inhibition de certaines protéines, une surexpression de certaines autres et d'une apparition de nouvelles protéines.

Le changement dans l'expression des protéines est l'un des résultats de la modification du métabolisme lors d'un stress chez les plantes (Jangpromma, 2007). Ce résultat peut être expliqué par le fait que la plante cherche à protéger son intégrité morphophysique, en réponse aux dommages et aux effets défavorables du stress appliqués en élaborant des enzymes et des protéines dont le rôle est de neutraliser les molécules générées par ce stress (Gardés-Albert et al, 2003).

La synthèse de ces protéines de stress est due à une activation d'un ensemble de gènes permettant la synthèse des protéines spécifiques associées aux stress (Longxing et al., 2010). Par ailleurs, la présence de bandes communes entre génotypes, indique que les protéines contenues dans les feuilles de blé sont présentes à des concentrations variées dépendant du génotype (Jasso et al, 2002).

CONCLUSION

Conclusion

L'importance alimentaire et économique de cette espèce fait d'elle une cible très intéressante dans les recherches de la sélection des plantes se basant sur leur adaptation aux stress environnementaux surtout les stress hydrique et thermique qui sont les premiers limiteurs de la culture du blé dur dans notre pays.

Dans ce travail, on a comparé le comportement des deux variétés de blé dur (Bousselem et Simeto) vis-à-vis des différents niveaux de stress abiotiques (thermique 35°C, et 45°C, et hydrique 7j, et 15j de manque d'eau), à travers l'analyse des paramètres physiologiques et biochimiques permettant ainsi de démontrer l'adaptation des deux variétés aux stress appliqués. Les variétés étudiées dans cette expérimentation ont montrés des comportements et des modes de tolérance différents vis-à-vis des contraintes auxquelles elles ont été exposées.

L'étude morphologique a montré que les déficits hydrique et thermique ont provoqué une diminution considérable de la surface foliaire chez les deux variétés elle est plus marqué chez la variété Simeto, la température foliaire a augmentée chez les deux variétés Bousselem et Simeto causé par l'ouverture et la fermeture des stomates.

L'étude physiologique a montré que :

- Le pourcentage de fuite d'électrolytes chez les plantes stressées est supérieur à celui obtenu chez les plantes témoins dans la variété Bousselem, ça s'explique par une altération de l'intégrité membranaire des cellules lors du stress, donc ça révèle une différence nette entre les plantes témoins et les plantes stressées, Par contre, les résultats obtenus chez la variété Semito montrent que la stabilité membranaire est assez élevé et que les feuilles gardent une intégrité structurale importante malgré le stress appliqué.
- Les deux stress entraînaient une chute du pourcentage d'eau (TRE) présent au niveau des feuilles. Cette chute varie d'un stress à un autre et selon le génotype.
- Le taux de chlorophylle totale augmente dans la variété Bousselem ce qui est la conséquence de la réduction de la taille des cellules foliaires sous l'effet des deux stress appliquées, Par contre la chute des teneurs en chlorophylle chez la variété Simeto est la conséquence de la réduction de l'ouverture des stomates visant à limiter les pertes en

eau par évapotranspiration et par augmentation de la résistance à l'entrée du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse.

L'analyse des gels de protéines a révélé une différence significative dans le nombre et l'intensité des bandes mais aussi du poids moléculaire dont l'expression était modifiée par les deux stress soit hydrique ou thermique. On a remarqué d'après les résultats que le métabolisme de la variété Simeto vu son nombre élevé de protéines inhibées par le stress, est plus perturbé que la variété Bousselem. Ces changements dans le profil électrophorétiques des feuilles de la variété Bousselem et Simeto sont dus à une inhibition de certaines protéines, une surexpression de certaines autres et d'une apparition de nouvelles protéines. Tandis que, nous pouvons signaler que les deux variétés de blé dur utilisent les mêmes stratégies pour tolérer le stress hydrique et thermique.

En fin, l'étude a montré que le blé dur manifeste effectivement des traits d'adaptation morphologiques, physiologiques et moléculaires. Ces formes de résistance peuvent être utilisées comme paramètres de sélection et d'amélioration du rendement de blé dur dans les régions sèches.

Dans le cadre d'un travail futur, il serait souhaitable :

- Utiliser l'analyse moléculaire de transcriptome et protéome pour une meilleure connaissance génétique des espèces.
- Une combinaison entre l'analyse moléculaire au laboratoire et l'analyse du rendement aux champs.
- Analyser d'autres types de stress abiotiques (salin).

**Liste des références
Bibliographiques**

Liste des références bibliographique

- Abdi et Zitouni.,(2014). Dosage de l'acide abscissique en conditions de stress hydrique et thermique et étude des mécanismes de tolérances chez quelques variétés du blé dur (*Triticum durum* Desf.).Mémoire. Université Mentouri,Constantine Faculté de biologie Département de Biologie Végétale et Écologie.P :62-63.
- Achour A.,(2015).L'impact de la salinité sur le comportement hydrique et métabolique d'une variété de Gombo.Article.Université d'Oran1 Ahmed ben Bella.Vol.12,No.4.P :14-18
- Ahrens , M.J. and Ingram , D.L. 1988. Heat tolerance of citrus leaves . Hort Sci . 23 : 747-748 .
- Akkaya A., Dokuyucu T., Kara R., Akcura M., (2006). Harmonization ratio of post- to preanthesis durations by thermal times for durum wheat cultivars in a Mediterranean environment, pp 404–408.
- Al Khatib K., et Paulsen G.M., (1984). Mode of high temperature injury to wheat during grain development. Plant Physiol. 61: 363-368.
- Amokrane A. (2001). Evaluation et utilisations de trois sources de germoplasme de blé dur (*Triticum durum* Desf). Thèse de Magister, Institut d'Agronomie, 7. Université Colonel El Hadj Lakhdar, Batna, 80P.
- Amoumen S et Benhebireche Naima.,(2013). Contribution à l'étude de la tolérance au déficit hydrique du blé dur (*Triticum durum* Desf). Mémoire. Master. Université KASDI MERBAH OUARGLA p :11-12-15-17-20-24-29-33.
- Anjum, S. A., Xie, X. Y., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C., & Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African Journal of Agricultural Research, 6(9), 2026-2032.
- Barrs H. 1968. Determination of water deficit in plant tissues. In: Water Deficit and Plant Growth. Koslowski T. Academy Press. New York. P235-368.
- Bassaganya-Riera J, Skoneczka J, Kingston DJ, Krishnan A, Misyak SA, Guri AJ, et al. (2010) Mechanisms of action and medicinal applications of abscisic acid. Curr Med Chem. 17(5): 467-78.
- Batlang, U. (2010). Identification of Drought-Responsive Genes and Validation for Drought Resistance in Rice (Doctoral dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University). 3-18.
- Belhassen E., This D., Monneveux P. 1996. l'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. Cahiers d'Agriculture, 4. P: 251-261.
- Bensalem N.,Benbitour Z ., (2005). «Analyse d'une stratégie de communication commerciale d'une entreprise industrielle. Cas de la Semoulerie Industrielle de la Mitidja », Mémoire licence sciences commerciales: Institut national de commerce. Alger. 95 p
- Berka et Aïd, 2009 Berka, S., & Aïd, F. (2009). Réponses physiologiques des plants d'«*Argania spinosa* (L.) Skeels soumis à un déficit hydrique édaphique. Sécheresse, 20 (3) : 296-302.

- Bertonec J. Polak T. Kropi U. Korošec M. Golub T (2011) LC DAD ESI / MS analysis of flavonoids and abscisic acid with chemometric approach for the classification of Slovenian honey . *Food Chem* 127 (1) : 296-302
- Bonhomme, L., Monclus, R., Vincent, D., Carpin, S., Claverol, S., Lomenech, A. M., Labas, V., Plomion, C., Brignolas, F., & Morabito, D. (2009). Genetic variation and drought response in two *Populus euramericana* genotypes through 2-DE proteomic analysis of leaves from field and glasshouse cultivated plants. *Phytochemistry*, 70(8), 988- 1002.
- Bonjean A., 2001- Histoire de la culture des céréales et en particulier celle de blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Dossier de l'environnement de l'INRA, N°21 :29-37.
- Bonjean AP, Angus WJ, Ginkel M, Van, 2016. *The World Wheat Book: A History of Wheat Breeding*; Paris: Lav, Vol 3.
- Bonjean et Picard, 1990
- Bonjean *et al.*, 2016
- Bouakez D et Hamadouche I., (2015). Effet du stress hydrique au stade de germination sur la croissance de quelques génotypes du blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire. Université Frères Mentouri. Constantine. P : 1-5-15-20-22-25.
- Boucher, V. (2009). Caractérisation fonctionnelle de MtPM25, une protéine LEA (Late Embryogenesis Abundant), et implication dans la qualité germinative des graines de *Medicago truncatula* (Doctoral dissertation, Université d'Angers). 31-51.
- Bousba R., Ykhlef N. & Djekoun A. 2009. Water use efficiency and flag leaf photosynthesis in response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *World Journal of Agricultural Sciences* 5. 5: 609 -616 p.
- Bozzini A. (1988). Origin, distribution and production of durum wheat in the world.
- Braun V., Buchner O., et Neuner G. (2002). Thermotolerance of photosystem 2 of three alpine plant species under field conditions. *Photosynthetica*, 40(4), 587-595.
- Brouillet L. Coursol F. Favreau M. (2006). VASCAN. The database of Canadian vascular plants. *Herbier Marie-Victorin, Institut de recherche en biologie végétale, Université de Montréal*. <http://data.canadensys.net/vascan/about>.
- Calderini D.F., Reynolds M.P., Slafer G.A., (1999). Genetic gains in wheat yield and associated physiological changes during the twentieth century. In: Satorre, E.H., Slafer, G.A. (Eds.), *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*. The Haworth Press Inc., New York, pp: 351–377.
- Campalans A., Messeguer R., Goday A., Pagès M.; (1999). Plant responses to drought, from ABA signal transduction events to the action of the induced proteins. *Plant Physiology and Biochemistry*, 37(5), 327-340
- Chaumont, F., Barrieu, F., Wojcik, E., Chrispeels, M. J., & Jung, R. (2001). Aquaporins constitute a large and highly divergent protein family in maize. *Plant Physiology*, 125(3), 1206-1215.

- Chennafi, H., Aïdaoui, A., Bouzerzour, H., & Saci, A. (2006). Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semiarid growth conditions. *Asian J. Plant Sci.*, (5): 854-860.
- Cherian, S., Reddy, M. P., & Ferreira, R. B. (2006). Transgenic plants with improved dehydration-stress tolerance: progress and future prospects. *Biologiaplantarum*, 50(4), 481-495.
- Chrispeels, M. J., & Maurel, C. (1994). Aquaporins: the molecular basis of facilitated water movement through living plant cells?. *Plant Physiology*, 105(1), 9.
- Christensen, C. A., & Feldmann, K. A. (2007). Biotechnology Approaches To Engineering Drought Tolerant Crop. In *Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops* (pp. 333-357). Springer Netherlands.
- CIC., 2019. International Grains Council; World Grains Statistics, pp 13-17.
- Clifford, S. C., Arndt, S. K., Corlett, J. E., Joshi, S., Sankhla, N., Popp, M., & Jones, H. G. (1998). The role of solute accumulation, osmotic adjustment and changes in cell wall elasticity in drought tolerance in *Ziziphus mauritiana* (Lamk.). *Journal of Experimental Botany*, 49(323), 967-977.
- Close, T.J. (1997). Dehydrins a commonality in the response of plants to dehydration and low temperature. *Physiol Plant* 100:291-296.
- Cupp-Vickery, J.R., Peterson, J.C., Ta, D.T., Vickery, L.E. (2004) *J Mol Biol* 342: 1265-1278
- Danyluk, J., A. Perron, M. Houde, A. Limin, B. Fowler, N. Benhamou, F. Sarhan, 1998. Accumulation of an acidic dehydrin in the vicinity of the plasma membrane during cold acclimation of wheat. *Plant Cell*, 10: 623- 638.
- Debaeke P., Cabelguenne M., Casals ML. & Puech J. 1996. Élaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. II. Mise au point et test d'un modèle de simulation de la culture de blé d'hiver en conditions d'alimentation hydrique et azotée variées. *Epicphase-blé. Agronomie*.16: 25 - 46 p.
- Debaeke P., Puech J. et Casals M.L., (1996). Elaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. I. Etude en lysimètres. *Agronomie*, 16 : 3-23.
- Dkhil, B. B., & Denden, M. (2012). Effect of salt stress on growth, anthocyanins, membrane permeability and chlorophyll fluorescence of Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) seedlings. *American Journal of Plant Physiology*, 7(4), 174-183.
- Dubcovsky, J. and Dvorak, J. (2007). Genome plasticity a key factor in the success of polyploid wheat under domestication. *Science* 316, 1862-1866. doi : 10.1126 science.1143986
- Dubos, C. (2001). Réponse moléculaire de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse de doctorat. Biologie forestière. INRA. 225 PP.

- Ehrnsperger, M., Graber, S., Gaestel, M., and Buchner, J. (1997). Binding of non-native protein to Hsp25 during heat shock creates a reservoir of folding intermediates for reactivation. *The EMBO journal* 16, 221-229.
- FAO Food and Agriculture Organization (2021). Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande de céréales.
- Farooq M., Ahid A.W., Obayashi N.K., Uita D.F., Asra D., (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. P:4.
- Farrant, J. M. (2000). A comparison of mechanisms of desiccation tolerance among three angiosperm resurrection plant species. *Plant Ecology*, 151(1), 29-39.
- Feillet P., 2000 : Le grain de blé dur : composition et utilisation. INRA. Paris.
- Finkelstein R.R., Gampala S.S.L., Rock C.D., (2002). Abscisic acid signaling in seeds and seedlings. *The Plant Cell* 14 Suppl : S15–45.
- Flexas, J., Bota, J., Galmes, J., Medrano, H., & Ribas-Carbó, M. (2006). Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. *Physiologia Plantarum*, 127(3), 343-352.
- Forrest, K. L., & Bhawe, M. (2008). The PIP and TIP aquaporins in wheat form a large and diverse family with unique gene structures and functionally important features. *Functional & integrative genomics*, 8(2), 115-133.
- Gate, P., Bouthier, A., Casabianca, H., & Deleens, E. (1993). Caractères physiologiques décrivant la tolérance à la sécheresse des blés cultivés en France : interprétation des corrélations entre le rendement et la composition isotopique des grains. In : Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale. Colloque INRA-ENS AAGROPOLIS, Montpellier (France), à paraître (Colloque INRA n°64).
- Gaussorgues G. 1999. La thermographie infrarouge. Principes, Technologie, Applications, 4ème édition. Paris: Tec & Doc Lavoisier. p. 584.
- Hayoun H., (2013). Etude comparative de l'accumulation des déshydrines et mécanisme de tolérances du stress hydrique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Université Mentouri, Constantine Faculté de biologie Département de Biologie Végétale et Écologie. p :36-37.
- HEMMINGSEN S.M., WOOLFORD C., VAN DER VIES S.M., TILLY K., DENNIS D.T., GEORGOPOULOS C.P., HENDRIX R.W., ELLIS R.J. Homologous plant and bacterial proteins chaperone oligomeric protein assembly. *Nature*, 1988, 333, 330-334.
- Henry, Y., & De Buyser, J. (2001). L'origine des blés. In : Belin. Pour la science (Ed.). De la graine à la plante. Ed. Belin, Paris, pp. 69-72.

- Hikosaka K., Ishikawa K., Borjigidai A., Muller O. & Onoda Y. 2006. Temperature acclimation of photosynthesis: mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rate. *J. Exp. Bot.* 57 : 291-302 p.
- Hopkins, W. G. (2003). *Physiologie végétale*. 2^{ème} édition. De Boeck, Bruscelles: 61-476.
- <https://www.larousse.fr/encyclopedie/images/BI%C3%A9/1000967>
- Hundertmark, M., & Hinch, D. K. (2008). LEA (late embryogenesis abundant) proteins and their encoding genes in *Arabidopsis thaliana*. *BMC genomics*, 9(1), 118.
- Ishida H, Yoshimoto K, Izumi M, Reisen D, Yano Y, Makino A, Ohsumi Y, Hanson M. R. and Mae T, 2008- Mobilization of Rubisco and Stroma-Localized fluorescent Proteins of Chloroplasts to the Vacuole by an ATG Gene-Dependent Autophagic Process. *Plant Physiol.* p148.
- Jones, H. G. (2004). Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of experimental botany*, 55(407), 2427-2436.
- Kara S et Zerguine M., (2016). Dosage des anthocyanes et de la glycine bétaine en conditions de stress hydrique et étude des mécanismes de tolérances chez dix variétés du blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire. Université des Frères Mentouri Constantine1. p : 1-9-19-28-29-34.
- Kiani, S. P. (2007). Analyse génétique des réponses physiologiques du tournesol (*Helianthus annuus* L.) soumis à la sécheresse (Thèse Doct, Institut National Polytechnique de Toulouse). 11-22.
- Kruse, Elisabeth & Uehlein, Norbert & Kaldenhoff, Ralf. (2006). The aquaporins. *Genome biology*. 7. 206. 10.1186/gb-2006-7-2-206.
- Laumont, P., & Erroux, J. (1961). Inventaire des blés durs rencontrés et cultivés en Algérie. *Mémoire de la société d'histoire naturelle de l'Afrique du Nord*, 5 : 94p
- Leinonen K et Jones F., (2004). Effet du stress thermique sur les végétaux. *Agronomie. Infos*. P : 10.
- Leonardi A. M., Marone D., Mazzucotelli E., Neffar F., Rizza F., Di Fonzo, N., et Mastrangelo A. M., (2010). Durum wheat genes up-regulated in the early phases of cold stress are modulated by drought in a developmental and genotype dependent manner. *Plant science*, 172(5), 1005-1016pp
- Lev-Yadun S., Gopher A. & Abbo S. 2000. The cradle of agriculture. *Science*. 288 : 1602- 1603p.
- Liberek, K., Lewandowska, A. and Zietkiewicz, S. (2008). Chaperones in control of protein disaggregation. *The EMBO Journal* 27 (2) : 328-35.
- Longxing H., Zhaolong W., Hongmei D., Bingru H. 2010. Differential accumulation of dehydrins in response to water stress for hybrid and common bermudagrass genotypes differing in drought tolerance. *J. of plant physiology*, 167. P: 103-109.
- Marouf A. et Reynaud J., 2007-*La botanique de A à Z*. 1662 définitions. Ed Dunod : P.286
- Mathur, P., Vadez, V., & Sharma, K. K. (2008). Transgenic approaches for abiotic stress tolerance in plants: retrospect and prospects. *Plant cell reports*, 27(3), 411-424.
- Maurel, C. (2007). Plant aquaporins: novel functions and regulation properties. *Febs Letters*, 581(12), 2227-2236.

- Maurel, C., Santoni, V., Luu, D. T., Wudick, M. M., & Verdoucq, L. (2009). The cellular dynamics of plant aquaporin expression and functions. *Current opinion in plant biology*, 12(6), 690-698.
- McCubbin W., Kay C. 1985 .Hydrodynamic and optical properties of the wheat Em protein. *Can J Biochem*, 63. P: 803 - 810.
- Merret, R. (2010). Contrôle moléculaire de la croissance sous déficit hydrique: analyse cinématique et régulation de l'expression des aquaporines TIP1 dans l'apex de la racine du peuplier (Doctoral dissertation, Nancy 1). 13-17.
- Mir RR, Zaman-Allah M, Sreenivasulu N, Trethowan R, Varshney RK. 2012. Integrated genomics, physiology and breeding approaches for improving drought tolerance in crops. *Theoretical and Applied Genetics*, 125(4), 625–645.
- Mouellef A., 2010 :Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Mém. Magister. Univ. Mantouri. Constantine. 10.29p.
- Najdjm, B., El jaafari, S., jlibène, M., Jacquemin, J. M. (2008)., Application des marqueurs moléculaires dans l'amélioration du blé tendre pour la résistance aux maladies et aux insectes. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 7: 17- 35
- Oukarroum A. (2007). Vitalité des plantes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en conditions de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne. Thèse doctorat. Université De Genève
- Passioura J., (2004). Increasing crop productivity when water is scarce: From breeding to field management In: Proceedings of the 4th International Crop Science Congress “New directions for a diverse planet” Brisbane, Australia. 12pages.
- Paul M., Planchon C. et Ecochard R., (1979). Etude des relations entre le développement foliaire, le cycle de développement à la productivité chez le soja. *Ann Amélio. Plantes*. 29 (5) : 479-492.
- Plessis A., (2009). Analysis of *Arabidopsis thaliana* mutants affected in water deficit tolerance. Thèse Doct.
- Queitsch, C., Hong, S.-W., Vierling, E. and Lindquist, S. (2000), Heat Shock Protein 101 Plays a Crucial Role in Thermotolerance in *Arabidopsis*. *The Plant Cell* (2), Vol. 12, 479–492.
- Ramanjulu, S., & Bartels, D. (2002). Drought-and desiccation-induced modulation of gene expression in plants. *Plant, cell & environment*, 25(2), 141-151.
- Reddy AR., Chaitanya KV. and Vivekanandan M., 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *J Plant Physiol* 161:1189- 1202.
- Reyes, J. L., Campos, F., Wei, H. U. I., Arora, R., Yang, Y., Karlson, D. T., & Covarrubias, A. A. (2008). Functional dissection of hydrophilins during *in vitro* freeze protection. *Plant, cell & environment*, 31(12), 1781-1790.

- Richards R. A., Rebtzke G. J., Van Herwaarden A. F., Duggan B. L., Condon A.,(1997). Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding. *Dryland Agriculture*, 36: 254-66pp.
- Richter, K., Haslbeck, M. and Buchner, J. (2010), *The Heat Shock Response: Life on the Verge of Death*. *Molecular Cell* 40, Elsevier Inc. : 253-66.
- Sandhu, M.S., Sidique, S.F. and Riaz, S. (2011). Entrepreneurship barriers and entrepreneurial inclination among Malaysian postgraduate students. *International Journal of Entrepreneurial Behaviour and Research* 17 (4), 428-49.
- Santos, A. B. D., & Mazzafera, P. (2013). Aquaporins and the control of the water status in coffee plants. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 25(2), 79-93.
- SCHULZE E. BECK E et HOHENSTEIN K. M. (2005). *Plant ecology*. Springer Berlin : 117- 140.
- Scofield T., Evans J., Cook M.G. & Wardlaw I.F. 1988. Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Aust. J. Plant Physiol.* 4: 785 - 797 p.
- Shiau, A.K., Harris, S.F., Southworth, D.R., Agard, D.A. (2006) *Cell* 127: 329-340
- Siakhène N. 1984. Effet du stress hydrique Sur quelques espèces de luzerne Annuelle. *Mémoire ing Agr. INA. El Harrach* : 90 p.
- SIGLER P.B., XU Z., RYE H.S., BURSTON S.G., FENTON W.A., HORWICH A.L. Structure and function in GroEL-mediated protein folding. *Annu. Rev. Biochem.*, 1998, 67, 581-608.
- Smart L.B., Moskal W.A., Cameron K.D. & Bennett A.B. 2001. MIP Genes are downregulated under drought stress in *Nicotiana glauca*. *Plant Cell Physiol.* 42:686-69.
- Tanja R.,(2017). Les effets de la température de l'air sur les végétaux http://www.cannagardening.ca/frca/les_effets_de_la_temperature_de_lair_sur_les_vegetaux
- Triboï E., (1990). Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre. *Agronomie*, 10 : 191-200.
- Tuteja N.,(2005). Prokaryotic and eukaryotic: Essential molecular motor proteins for cellular machinery. *Eur. J. Biochem.* 271, 1835-1848pp.
- Tyerman, S. D., Bohnert, H. J., Maurel, C., Steudle, E., & Smith, J. A. C. (1999). Plant aquaporins: their molecular biology, biophysics and significance for plant water relations. *Journal of Experimental Botany*, 50(Special Issue), 1055-1071.
- Virlovet, L. (2011). Identification et caractérisation de gènes impliqués dans la variation de caractères quantitatifs affectés par la sécheresse chez le maïs (Doctoral dissertation, Université Paris Sud-Paris XI). 1-14.
- Wang W., Brak T., Vinocur B., Shoseyov O., Altman A. 2003. Abiotic resistance and chaperones : possible physiological role of SP1, a stable and stabilising protein from *Populus*. In: Vasil IK (ed) *plant biotechnology 2000 and beyond*. Kluwer, Dordrecht. P 439-443.

- Wang W., Vinocur B., Shoseyov O., Altman A., (2004). Role of plant heat-shock proteins and molecular chaperones in the abiotic stress response. *Trends Plant Sci* 9: 244-252
- Wardlaw I.F., Dawson I.A., Munibi P., Fewster R., (1989). The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth. ISurvey procedures and general response patterns. *Aust. J. Agric. Res.* 40: 1-13.
- www.wheatgenome.org
- Xia, D., Esser, L., Singh, S.K., Guo, F., Maurizi, M.R. (2004) *J Struct Biol* 146: 166-179
- Xu, D., X. Duan, B. Wang, D. Hong, T.H.D. Ho, R. Wu. 1996. Expression of a Late Embryogenesis Abundant Protein Gene, HVA1, from Barley Confers Tolerance to Water Deficit and Salt Stress in Transgenic Rice. *Plant Physiol.*, 110 :249-257.
- Yamada S., Komori T., Myers P.N., Kuwata S., Kubo T. & Imaseki H. 1997. Expression of plasma membrane water channel genes under water stress in *Nicotiana excelsior*. *Plant Cell Physiol.* 38 : 1226 -1231 p.
- Yokota, A., Takahara, K., & Akashi, K. (2006). *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*. Springer, 15–39
- Zahn, R., Buckle, A.M., Perrett, S., Johnson, C.M., Corrales, F.J., Golbik, R., Fersht, A.R. (1996) *Proc Natl Acad Sci U S A* 93: 15024-15029
- Zerrad, W., Maataoui, B. S., Hilali, S., El Antri, S., & Hmyene, A. (2008). Etude comparative des mecanismes biochimiques de resistance au stress hydrique de deux varietes de ble dur. *Leb. Sci. J*, 9, 27-36.
- Zhang S., ZS. Xu, P. Li, L. Yang, Y. Wei, M. Chen, L. Li, G. Zhang, Y. Ma.,(1999). Overexpression of TaHSF3 in transgenic *Arabidopsis* enhances tolerance to extreme temperatures. *Plant MolecularBiology Reporter.*, 31: 688–697pp.
- Zhu J.K., (2002). Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annual Review of Plant Biology* 53 : 247–73.

Annexes

Annexe.01

Solutions de l'extraction des protéines totales

○ **Solution de précipitation** (placer au froid) (A)

TCA (100%)	10 ml (10g TCA/100ml acetone) →	10%
β-mercaptoéthanol	70 µl →	0.07%
Acetone qsp	100ml	

○ **Solution de rinçage** (placer au froid) (B)

β -mercaptoéthanol	70 µl →	0.07%
Acétone qsp	100ml	

○ **Laemmli** (Tampon de dénaturation)

Tris-HCL 6,8	12.5 ml
SDS	2 g
Glycérol	10 ml
β -mercaptoéthanol	2 ml
Bleu de Bromophénol	0.0025 g
Eau qsp	100 ml

Solution de 20 ml de SDS à 10%:

- ✓ Peser 2 g de SDS.
- ✓ Ajouter 18 ml d'eau distillée et chauffer à 68° C.
- ✓ Ajuster le pH à 7.2 avec du HCl.
- ✓ Compléter le volume à 20 ml.
- ✓ Stocker à température ambiante.

Annexe.02

Solutions et tampons utilisés pour SDS-PAGE

- **Solution mère d'acry- bis acrylamide à 40%** (à préparer avec gants et masque)

Acrylamide	35 g
Eau distillée qsp	100 ml

- **Solution stock de SDS à 10%**

Sodium Dodécyl Sulfate	10 g
Eau distillée qsp	100 ml

- **Solution d'APS (Ammonium Persulfate) à 1%** : à préparer extemporanément

APS	0.1 g
Eau distillée qsp	10 ml

- **Tampon Tris-HCl pH 8.8** (à préparer sous la hotte, avec gants et masque)

Tris (hydroxyméthyl aminomethan)	60.57 g
Eau distillée	400 ml
Ajuster à pH 8.8 avec du HCl fumant	8 à 10 ml
Eau distillée qsp	500 ml

- **Tampon Tris HCl pH 6.8** (à préparer sous la hotte, avec gants et masque)

Tris (hydroxyméthyl aminomethan)	30.285 g
Eau distillée	200 ml
Ajuster à pH 6.8 avec du HCl fumant	19.5 ml
Eau distillée qsp	250 ml

- **Tampon d'électrophorèse**

Glycine	70.55 g
Tris (hydroxyméthyl amino Ethan)	15 g
SDS	5 g
Eau distillée qsp	5000 ml

- **Solution de coloration** (pour deux gels)

TCA 60%	100 ml (60gTCA/100ml Eau distillée)
Solution mère de Bleu de Coomassie R-250	25 ml
Eau distillée qsp	500 ml

- **Solution mère de bleu de Coomassie R250**

Bleu de Coomassie R250	10 g
Ethanol 95° qsp	1000 ml

L'éthanol doit être mis en agitation dans l'éprouvette, avec un barreau aimanté. Le bleu de Coomassie est ensuite ajouté (sinon le bleu prend en masse au fond du contenant). Laisser en agitation au moins deux heures, puis filtrer la solution.

- **Composition du Kit (FPM)**

Protéine	Poids moléculaire (KDa)
α -Lactalbumine	14,4
Inhibiteur de la trypsine	20,1
Carbonique anhydrase	30
Ovalbumine	45
Albumine sérique bovine	66
Phosphorylase	B

Annexe.03

Préparation des gels

(Quantités pour une cuve BIO-RADE de deux gels)

○ Gel de séparation (running gel) à 15%

Acry-bis acrylamide à 40%	6ml
Eau distillée	4,56 ml
Tris – HCl pH 8.8	4 ml
SDS à 10%	160 ml
APS à 1%	1,28 ml
Temed	16 µl

○ Gel de concentration (stacking gel) à 4%

Acry- Bis acrylamide à 35%	500 µl
Eau distillée	3,9 ml
Tris – HCl pH 6.8	620µl
SDS à 10%	50µl
APS à 1%	320µl
Temed	12µl

Année universitaire : 2021-2022

Présenté par : Djilani Omar El Farouk
Zaimeche Kheir Eddine

Intitulé : Aspects morpho-physiologique et moléculaire de la tolérance de deux variétés de blé dur aux stress hydrique et thermique

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Biotechnologie et génomique végétale

Résumé

Ce travail a comme objectif d'étudier la réponse de deux variétés de blé dur Bousselem et Simeto face aux stress abiotiques. On a effectué une série de tests sur les deux variétés pour étudier différents paramètres morpho-physiologiques et moléculaires. Pour cela, on a exposé nos deux variétés à deux stress différents, le premier par arrêt d'irrigation (pendant 7 jours, et 15 jours) pour provoquer un déficit hydrique. Le deuxième stress appliqué l'exposition des plantes aux températures élevées pour provoquer deux niveaux de stress thermique (35 et 45°C). Les résultats obtenus montrent que le stress hydrique et le stress thermique ont entraîné une réduction de la surface foliaire, une diminution de la teneur relative en eau, et du taux de la chlorophylle totale. De même, une augmentation de l'intégrité cellulaire, et de la température foliaire. D'autre part l'analyse électrophorétique par SDS-PAGE des protéines totales foliaires nous montre la présence de quelques bandes chez les témoins, et aussi chez les stressées, d'autres bandes sont apparues alors que d'autres sont absentes. Nous avons pu conclure des résultats qu'on a obtenu que les deux variétés ont les mêmes mécanismes de tolérance contre les différents stress abiotiques appliqués mais par degrés différents, et que la variété locale Bousselem semble la plus tolérante aux stress hydrique et thermique testés dans cette étude.

Mots-clés : Blé dur, stress hydrique, thermique, tolérance, protéines.

Laboratoires de recherche : Génétique Biochimie et Biotechnologie Végétale (Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Encadreur : Melle MOUELLEF A. (Maître de conférences B- Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Examineur 1 : Mme BOUBA R. (Professeur - Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Examineur 2 : Mme KHENAOUIA. (Maître des conférences B- Université Frères Mentouri Constantine 1).