

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE SAAD DAHLAB - BLIDA 1



FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

Département de Biologie

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master dans le domaine SNV

Filière : Sciences Biologiques

Option : Biodiversité et physiologie végétale.

Thème :

*Etude de la variabilité de réponses physiologiques et biochimiques de quelques lignées et variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous stress hydrique*

Présenté par :

Melle MANSOURI CHERINE NEDJMA & Melle MEGDOUD HABIBA

DATE DE SOUTENANCE : Juillet 2022

Devant le jury :

Me. Amara N	MCA/Biologie	Blida 1	Présidente
Me. Belhis L	MAA/Biologie	Blida 1	Examinatrice
Mr. ROUIBI A	PRF/Biologie	Blida 1	Encadreur
Mr. BACHIRI H	Maitre de recherche B	INRAA	Co-Encadreur

PROMOTION 2021 / 2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
وَمَا تَوْفِيقِي إِلَّا بِاللَّهِ عَلَيْهِ تَوَكَّلْتُ وَإِلَيْهِ أُنِيبُ
صَدَقَ اللَّهُ الْعَظِيمُ

Remerciement

Tout d'abord, louange à « ALLAH » qui nous a donné le courage, nous a guidé sur le droit chemin tout au long de ce travail et nous a inspiré les bons pas et les justes réflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait pas abouti.

Avant de présenter ce travail, je tiens à remercier tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à sa réalisation :

Mes remerciements vont tout d'abord à Monsieur Rouibi A professeur à l'université de Blida I pour avoir accepté de diriger ce travail. Qu'il trouve ici, l'expression de notre profonde reconnaissance, immense gratitude et notre grand respect, pour tous ses efforts, son savoir, ses idées, sa grande disponibilité, sa confiance et ses encouragements.

À Madame Amara N, Maitre de conférences A à l'université Blida I, qui nous a fait l'honneur de présider ce jury. À Madame Belhis L, Maitre assistante A à l'université de Blida aussi, pour l'honneur que vous nous avez fait d'accepter de juger ce travail.

Nos sincères remerciements vont à Monsieur BACHIRI Hamid Maitre de recherches B à l'INRAA, qui a fait preuve d'une grande patience et qui a été d'une grande aide dans la réalisation de ce travail, on lui ait très reconnaissantes d'avoir consacré son temps malgré ses multiples charges, pour ses conseils, ses orientations ainsi que sa gentillesse, ses qualités humaines, et pour nous avoir honoré en acceptant de faire partie de ce jury.

À Madame Ramla D directrice de l'Institut Nationale Agronomique d'Alger de nous avoir permis d'installer notre essai au sein de cette institution expérimentale

Dédicaces

Je dédie ce travail à ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui :

A l'homme, mon précieux offre de dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher papa Youssef et à ma très chère maman Zahia, quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mes frères, Rahim et sa femme Houda, Zakaria et sa femme Manel et Abdelhadi qui ont toujours étaient là pour moi, ma chère nièce Sofia qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.

A mes très chère copines Manar, Lydia, fella, Zahida et radia.

Sans oublier ma chère amie et binôme Cherine N Mansouri pour son soutien moral tout au long de ce projet.

Mlle Megdoud Habiba

Dédicaces

C'est grâce à Allah que j'ai eu le courage et la force d'accomplir ce modeste travail.

Je dédie ce travail à ceux que je ne pourrais jamais remercier assez, à mes chers parents qui ont semé en moi le respect et l'amour des études ;

Je tiens à leurs exprimer ma profonde gratitude et tous mes respects pour toutes leur affection et, soutient.

A mes sœurs Kaouther et Rania et mes frères Mohammed et Walid

A toute ma famille

A ma chère amie et binôme Habiba

A mes chers collègues de la promotion 2022

A tous ceux qui m'ont encouragé de près ou de loin

Mlle Cherine Nedjma Mansouri

Résumé :

La présente étude a été conduite au niveau de l'Institut de Recherche Agronomique (INRAA), Baraki-Alger, avec objectif une analyse de comportement et la variabilité de la réponse morpho-physiologique chez la variété (Boussalem) (*Triticum durum* Desf) : et neuf lignées de blé dur en l'occurrence V3, V7, V10, V16, V17, V15, V18, V19 et V23 sous l'effet de stress hydrique. Cette étude comparative touche les différents paramètres morphologiques (hauteur de la plante et la surface foliaire), physiologiques (teneur relative en eau et teneur en chlorophylle) et biochimiques (teneur en protéines et teneur en Malonyl dialdéhyde) sous arrêt d'irrigation complet pendant 20 jours, dans un dispositif en blocs randomisés avec trois répétitions.

Les résultats obtenus montrent que le stress hydrique a entraîné une réduction de surface foliaire, la hauteur de la plante, la teneur relative en eau, la teneur de la chlorophylle totale, le taux des protéines foliaire solubles et augmentation de la teneur en Malonyldialdéhyde (MDA) qui représente le produit final de l'oxydation des lipides membranaire.

Les résultats ont montré que le stress hydrique provoque les mêmes mécanismes de la réponse chez les dix variétés mais à des degrés différents.

Mots clés : Stress hydrique, tolérance, blé dur, morphologie, physiologie, biochimie.

ملخص

أجريت هذه الدراسة على مستوى معهد البحوث الزراعية (INRAA) ، Baraki-Alger ، بهدف تحليل سلوك و التغيرات الفيزيولوجية لصنف من القمح الصلب (Triticum durum ,boussalem) : (Desf) و تسع عشائر من القمح الصلب V3 و V7 و V10 و V16 و V17 و V15 و V18 و V19 و V23.

تحت تأثير الجهد المائي ، هذه الدراسة المقارنة تمس مختلف المعايير الظاهرية (طول النبتة و المساحة الورقية) ، الوظيفية (TRE و محتوى Chlorophylle (والأيضية) محتوى البروتينات و محتوى MDA تحت تأثير الجهد المائي (وقف السقي لمدة ٢٠ يوم)

النتائج المتحصل عليها تثبت أن الجهد المائي يؤثر على جميع المعايير المدروسة ؛ إنخفاض المساحة الورقية، إنخفاض طول النبات، المحتوى النسبي للماء، محتوى الكلوروفيل، محتوى البروتينات الورقية و زيادة محتوى . الذي يمثل الناتج النهائي لأكسدة الدهون الغشائية MDA,

هذه النتائج أثبتت أن الجهد المائي يؤثر بنفس الآليات على جميع النباتات المدروسة بدرجات متفاوتة.

الكلمات المفتاحية: الإجهاد المائي، القمح الصلب، المعايير الظاهرية، الوظيفية والأيضية.

Abstract:

This study was conducted at the level of the Institute of Agronomic Research (INRAA), Baraki-Alger, with the objective of analyzing the behavior and variability of the response in the variety (Boussalem) (*Triticum durum* Desf):and nine durum wheat lines V3, V7, V10, V16, V17, V15, V18, V19 and V23 under water stress.

This comparative study affects the different morphological parameters (plant height and leaf surface), physiological parameters (relative water content and chlorophyll content) and biochemical parameters (protein content and Malonyl dialdehyde content) under complete irrigation shutdown for 20 days, in a randomized block device with three repeats.

Results show that water stress resulted in reduced leaf area, plant height, relative moisture content, total chlorophyll content, soluble leaf protein levels, and increased Malonyl dialdehyde (MDA) content. which represents the final product of membrane lipid oxidation.

The results showed that water stress causes the same mechanisms of response in all ten varieties but different degrees.

Keywords: Water stress, tolerance, durum wheat, morphology, physiology, biochemistry.

SOMMAIRE

Introduction	0 1
---------------------------	------------

PARTIE I : Revue bibliographique

1 Blé dur	
1.1 Histoire et répartition du blé dur	03
1.2 Origine génétique blé dur	05
1.3 Classification botanique	07
1.4 Composants chimiques du blé dur	08
2 Le cycle biologique du blé	08
2.1 Période végétative	08
2.2 Période reproductive	08
2.3 Période remplissage et maturité du grain.....	09
2.4 Situation de la céréaliculture en Algérie.....	09
3 Le stress hydrique.....	11
3.1 Définition et concept du stress hydrique	11
3.2 Les stratégies adaptatives au stress	11
3.3 Esquive.....	11
3.4 Évitement	12
3.5 La tolérance	12
4 Stress oxydatif	
4.1 Définition.....	13
4.2 Espèces réactives d'oxygène.....	13
4.3 Dommages oxydatifs	14
4.4 Le système antioxydant	14
5 Réponses des plantes au stress hydrique.....	15
5.1 Réponse morphologique au stress.....	15
5.2 Réponse physiologique au stress.....	15
5.3 Teneur relative en eau (TRE).....	16
5.4 Teneur en chlorophylle.....	16
5.5 Réponse biochimique.....	17
5.6 Teneur en protéines totaux	17
5.7 Teneur en malondialdéhyde (MDA).....	17

PARTIE II : Matériel et méthodes

1 Matériel végétal	19
2 Préparation du substrat et semis.....	19
3 Dispositif expérimental.....	20
4 Application du stress hydrique.....	20

5 Echantillonnage	21
6 Les caractères morphologiques.....	21
6.1 La surface foliaire	21
6.2 La hauteur de la plante	22
7 Les caractères physiologiques	22
7.1 Teneur relative en eau	22
7.2 Mesure du taux de chlorophylle totale	22
8 Les caractères biochimiques	23
8.1 Extraction et dosage des protéines totales.....	23
8.1.1 Préparation du réactif de Bradford	24
8.1.2 Préparation de la gamme d'étalonnage.....	24
8.1.3 Tracé la courbe étalon.....	25
8.2 Mesure du malondialdéhyde (Peroxydation des lipides)	27
<i>PARTIE III : Résultats et discussions</i>	
1 Résultats du stress hydrique sur la surface foliaire en (cm ²).....	28
2 Effet de stress sur la hauteur moyenne de la plante	29
3 Effet du stress sur la teneur relative en eau	30
4 Effet du stress sur les variations du taux de la chlorophylle totale.....	32
5 Effets des stress hydrique sur la teneur en Malonyldialdéhyde.....	34
6 Effet du stress sur la teneur en protéines totaux	36
Etudes statistique.....	39
CONCLUSION	40
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	41
ANNEXE.....	47

Liste des tableaux et des figures

Tableau 01 : Classification botanique du blé dur.	P07
Tableau 02 : Principales espèces réactives oxygénées radicalaires et non radicalaires.	P14
Tableau 03 : Tableau des concentrations croissantes de BSA.	P24
Figure 01 : Origine génétique du blé dur.	P06
Figure 02 : Blé dur.	P07
Figure 03 : Cycle de développement du blé.	P09
Figure 04 : Entrée de l'institut de la recherche agronomique d'Alger.	P19
Figure 05 : Le dispositif expérimental en blocs aléatoires complets.	P21
Figure 06 : Gamme étalon de la BSA.	P25
Figure 07 : Effet du stress sur la surface foliaire.	P28
Figure 08 : Effet de stress sur la hauteur moyenne de la plante.	P29
Figure 09 : Effet du stress sur la teneur relative en eau.	P30
Figure 10 : Effet du stress sur la teneur en chlorophylle.	P32
Figure 11 : Effet du stress sur la teneur en Malonyldialdehyde.	P34
Figure 12 : Effet du stress sur la teneur en protéines.	P36

LISTE DES ABREVIATION :

Abréviation	Explication
%	Pourcentage
ABA	Acide abscissique
ADN	Acide DésoxyriboNucléique
ANOVA	Analyse of variance
ARN	Acide ribonucléique
Avant J.C	Avant Jésus christ
BSA	Albumine de Sérum Bovin
C	Concentration du MDA en mmol
C °	Degrés Celsius
Cm	Centimètres
Cm ²	Centimètres carrés
CO ₂	Dioxyde de carbone
DO	Densité optique
E	Epaisseur de la solution
ERO	Espèces réactives d'oxygène
FAO	Food and Agriculture Organisation
FES	Friedrich-Ebert-Stiftung
Fig	Figure
Ha	Hectare
INRA	Institut national de la recherche agronomique
INRAA	Institut national de la recherche agronomique d'Alger
Kg	Kilogramme
L	Largeur
l	Longeur
M	Mole
MADR	Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural
MDA	Malondialdihyde
mg/g MVF	Milligramme sur gramme de matière végétale fraiche
Min	Minute
Mmol	Millimole
PF	Poids frais
PS	Poids sec
PT	Poids en pleine turgescence
Q/ha	Quintaux par hectare
ROS	Espèces réactives d'oxygènes
SAU	Surface agronomique utile
Sf	Surface foliaire
TCA	Acide trichloracétique
Tr	

TRE	Tour
URSS	Teneur relative en eau
Var	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
μL	Variété
	Microlitre

INTRODUCTION

En Algérie, les céréales sont les principales cultures, cultivées sur une superficie annuelle 3 449 458 hectares (toutes céréales confondues) (MADR, 2018).

Les produits céréaliers occupent le premier rang (39,22 %) suivis des produits laitiers (20,6%), le sucre et sucreries (10%) et les huiles et corps gras (10%). Les céréales assurent 59 % des apports en calories de la ration et 70% des protéines (FES 2021)

Le blé dur est le variant de plus cultivé en Algérie, Le rendement national de cette culture est le plus faible du bassin méditerranéen avec seulement 19,07 quintaux par hectare (FAO, 2018). Le pays figure actuellement parmi les premiers importateurs mondiaux de blé dur en s'accaparant de près de 50 % du marché mondial (ATLAS BIG 2018). Cette situation risque de se prolonger plusieurs années, faute de rendements insuffisants et des besoins de consommation sans cesse croissants devant une forte évolution démographique.

Parmi les alternatives offertes pour satisfaire cette demande, figure la sélection de variétés performantes et adaptées.

Les variétés nouvelles sont le plus souvent sélectionnées sur la base de leur niveau de rendement sans tenir compte des caractères adaptatifs qui sont des régulateurs de la production en milieux variables. Ces variétés, en milieux favorables ou sous irrigation, elles arrivent à exprimer leur potentiel de rendement. Sous climat semi-aride, elles se montrent plus variables et moins productives que les cultivars locaux.

De ce fait, le rendement devient un critère de sélection complexe et peu reproductible. D'où il est nécessaire de tester le matériel végétal à travers un éventail de sites pendant plusieurs saisons, pour obtenir des résultats relativement précis (Kadi et al., 2010). L'aspect adaptation doit donc être pris en compte dans le processus de sélection en milieu variable), notent que l'utilisation d'un matériel végétal possédant la tolérance à la contrainte hydrique est la seule voie qui permet un maximum de production sous de telles conditions climatiques.

L'étude de la variabilité génétique chez des populations en ségrégation et de la réponse à la sélection sont des informations utiles pour une éventuelle utilisation en sélection. La plupart des travaux effectués sur le blé dur dans le cadre de l'amélioration génétique de la tolérance au stress hydrique, se sont donnés pendant longtemps pour objectif primordial l'augmentation de la productivité, une approche basée sur les performances agronomiques. Actuellement, les programmes d'amélioration du blé s'intéressent de plus à l'amélioration génétique de la tolérance au stress hydrique. Cette amélioration

exige la caractérisation et l'identification des caractères morpho physiologiques et biochimiques liés au rendement en condition de stress hydrique.

Pour répondre à cette préoccupation, ce travail a pour objectif de caractériser la variété de blé dur Boussalem et neuf lignées de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sur la base des caractères morpho-physiologiques et biochimiques sous conditions de stress. Notre mémoire est présenté en trois parties :

La partie I, est une synthèse bibliographique sur le blé dur, le stress hydrique, les mécanismes morpho-physiologiques et biochimiques liés à la tolérance des plantes au stress hydrique.

La seconde partie, porte sur le matériel et les méthodes utilisées.

La troisième partie, est réservée à la discussions et l'interprétation des résultats.

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

Partie 1 :
Revue bibliographique

1. Historique du blé :

Depuis l'avènement de l'agriculture, le blé est à la base de l'alimentation humaine (Ruel, 2006). Le blé est l'une des principales ressources alimentaires de l'humanité. La saga du blé accompagne celle de l'homme et de l'agriculture ; sa culture précède l'histoire et caractérise l'agriculture néolithique, née en Europe il y a 8000 ans. La plus ancienne culture semble être le blé dur dans le croissant fertile de la Mésopotamie (Feillet, 2000). Le blé a d'abord poussé en dehors de toute intervention humaine, puis a été soumis à la pression sélective des premiers agriculteurs (Henry et de Buyser, 2001). Le blé est apparu entre 5000 et 6000 ans avant Jésus-Christ dans le croissant fertile puis s'est dispersé à partir de la Grèce en Europe (Doussinault et al., 1992). C'est à partir de cette zone que les blés ont été diffusés vers l'Afrique, l'Asie et l'Europe.

Selon Feldman, (2001) la culture du blé s'est diffusée vers la Nord – Ouest par les plaines côtières du bassin méditerranéen et arrivée jusqu'au Balkans puis en suivant la vallée du Danube (Allemagne) pour se fixer aussi dans la vallée du Rhin (France) entre 5000 et 6000 avant J.C. Les restes archéologiques montrent que le blé a atteint l'Ouest de l'Europe 5000 avant J.C environ. Dans le même temps, il est introduit en Asie et en Afrique. Son introduction en Amérique, et plus encore en Australie, n'est que très récente. L'évolution du blé s'est donc produite dans de nombreux écosystèmes, de manière relativement indépendante jusqu'au XIX siècle (Bonjean, 2001). Selon Hamed, (1979) le centre d'origine du blé est le Tigre et l'Euphrate (l'actuel Irak), puis l'espèce s'est étendue en Egypte, en Chine, en Europe et en Amérique, en (1934), Vavilov a fait intervenir, pour la première fois dans la classification, l'origine géographique en distinguant nettement deux espèces :

1-La sous espèce Europeum Var, se trouve dans les Balkans et la Russie.

2-La sous espèce Mediterraneum Var, rencontrée dans le bassin méditerranéen.

L'espèce (*Triticum durum* Desf.), s'est différenciée dans trois centres secondaires différents qui sont :

PARTIE I –REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

- Le bassin occidental de la Méditerranée.
- Le Sud de la Russie.
- Le proche Orient.

Chaque centre secondaire donna naissance à des groupes de variétés botaniques aux caractéristiques, phréologiques, morphologiques et physiologiques particulières (Monneveux, 1991).

Il est généralement admis que la culture du blé dur a commencé et s'est développée en Algérie après la conquête arabe. La plupart des auteurs s'accordent à dire que la céréaliculture en Algérie, à partir de cette date et jusqu'à la colonisation, était largement dominée par le blé dur (Laumont et Erroux, 1961). Le blé dur (*Triticum turgidum* var. *durum*) est l'espèce la plus cultivée dans le bassin méditerranéen de l'Afrique du Nord (Bonjean et al., 2016)

1.2. Origine génétique du blé dur :

Le blé appartient à la famille des Gramineae, qui compte plus de 10 000 espèces différentes (Mac Key, 2005). Plusieurs espèces avec des ploïdies différentes sont regroupées dans le genre *Triticum*. Il s'agit d'un exemple classique d'allopolyploïdie issue de l'hybridation entre espèces dont les génomes homologues appartiennent à la même famille (Levy et Feldman, 2002).

Selon Feillet (2000), ces espèces présentent un degré de polyploïdie (blé diploïde) Génome AA, blé tétraploïde : génomes AA et BB, blé hexaploïde : génomes AA, BB et DD) et nombre chromosomique (classé par 14,28 Ou 42). La nature ploïdique du génome du blé peut également avoir contribué à leur domestication réussie (Dubcovsky et Dvorak, 2007).

Les ancêtres génétiques du blé sont complexes et mal connus. Les deux espèces des céréales les plus cultivées sont :

Le blé dur (*Triticum durum*) : AABB (2 n = 4 x = 28) Tétraploïde ; 9

Le blé tendre (*Triticum aestivum*) : AABB DD (2 n = 6 x = 42) Hexaploïde.

PARTIE I –REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

La filiation génétique des blés est complexe et incomplètement élucidée. Le croisement naturel *Triticum monococcum* (génome A) X *Aegilops* (*bicornis*, *speltoides*, *longissima* ou *searsii*) (génome B) a permis l'apparition d'un blé dur sauvage de type AABB (*Triticum turgidum* sp. *dicoccoïdes*), qui a ensuite progressivement évolué vers *Triticum turgidum* sp. *Dicoccum*, puis vers *Triticum durum* [blé dur cultivé] (Figure 01).

Les blés tendres cultivés (AABBDD) seraient issus d'un croisement, également naturel, entre *Triticum turgidum* ssp. *dicoccum* (AABB) et *Aegilops squarrosa* (DD) (Figure 01) (Feillet, 2000; Henry et De Buyser, 2001).

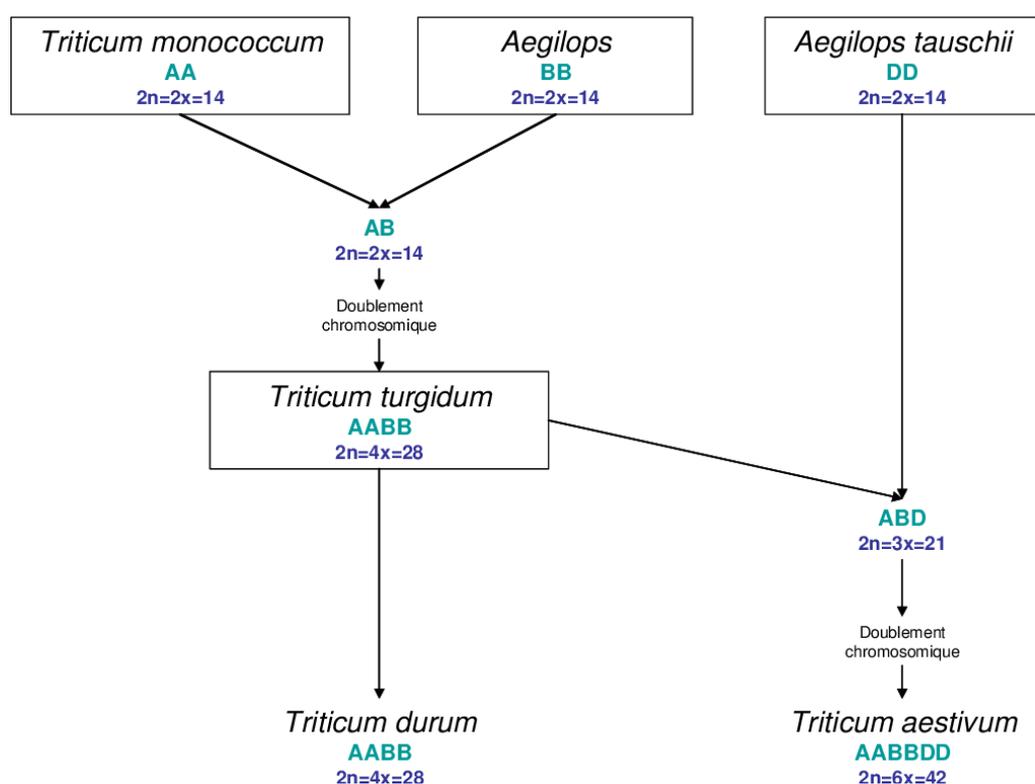


Figure 01 : Origine génétique du blé dur. (Chapman, 2009).

1.3 Classification botanique

Le blé dur (*Triticum durum* Desf) est une plante annuelle de la classe des monocotylédones de la famille des poacea, de la tribu des tryticés et du genre tiriticum en termes de production commerciale et d'alimentation humaine cette espèce et la deuxième plus importante du genre tiriticum après le blé tendre, leur famille comprend 600 genres et plus 5000 espèces (Feillet 2000)



Figure 02 : Blé dur (@Terre-net Média)

Tableau 01: Classification botanique du blé dur (*Triticum durum* Desf) (Slama et al. (1995) Cité in Derbal, 2009).

Embranchement	Spermaphytes
Sous Embranchement	Angiospermes
Classe	Monocotylédones
Super ordre	Commilini-florales
Ordre	Poales
Famille	Graminacées
Genre	<i>Triticum</i> sp
Espèce	<i>Triticum durum</i> Desf.

1.3.1 Composants chimiques du blé dur :

Le cotylédon du blé représente 82 % à 85 % du grain. Il accumule toutes les substances nutritives nécessaires qui sont les glucides, les protéines, les lipides, les substances minérales et les vitamines (Cretois, 1985). Pendant la maturité de la graine les substances de réserves sont accumulées soit dans le cotylédon, soit dans l'enveloppe. Ces substances sont principalement des métabolites qui assurent la nutrition de la plantule lors de la germination.

Les enzymes dont les principales sont l' α et la β amylases, des protéases ainsi que des lipases et des lipoxygénases (Carlsen et al, 2004)

1.2. Le cycle biologique du blé

Le cycle biologique du blé est une succession de périodes subdivisées en phases et en stades.

1.2.1. Période végétative :

Elle débute par la germination qui correspond à une activation métabolique de l'embryon décelable par des échanges respiratoires de la graine. C'est un processus préparatoire à l'élongation de la radicule et de la coléoptile (Boyeldieu, 1999). La levée est définie par l'apparition de la première feuille qui traverse la coléoptile. Le stade début tallage est repéré dès que la plante possède trois à quatre feuilles et une tige sur le maître brin à l'aisselle de la feuille la plus âgée (Gate, 1995).

Cependant, cela suggère que les talles ne s'arrêtent à aucun stade du développement du blé, mais sont plutôt contrôlées par une série de facteurs génétiques et environnementaux (Acevedo et al., 2002).

1.2.2. Période reproductrice :

La période reproductrice se caractérise par la formation et la croissance de l'épi. Elle s'étend du stade épi 1Cm, montaison, au stade de la floraison. La montaison débute à la fin du tallage, elle se distingue par l'allongement des entre-nœuds et la différenciation des pièces florales (Clement Grandcourt et Prats, 1970).

Le stade de l'épiaison – floraison se réalise au stade méiose pollinique, la gaine de la dernière feuille s'écarte progressivement suite à l'allongement des derniers entre-nœuds de la tige, la gaine s'éclate et le sommet de l'épi sort de la dernière graine (Gate, 1995).

1.2.3. Période remplissage et maturité du grain :

A ce stade, l'élongation du dernier entre-nœud assure la croissance en hauteur de l'épave au-dessus de la dernière feuille. Le stade de gonflement du grain est marqué par une photosynthèse intense pour l'élaboration des substances de réserve, l'amidon qui migre vers l'albumen du grain qui grossit tandis que l'embryon se forme. Cette migration nécessite une circulation d'eau, il peut y avoir échaudage en cas de stress hydrique (Moule, 1998). Le grain subit trois stades ; du grain laiteux au pâteux au grain dur. Entre les stades laiteux et pâteux la quantité d'eau contenue dans le grain est stable, c'est le palier hydrique (Robert et al.,1993).

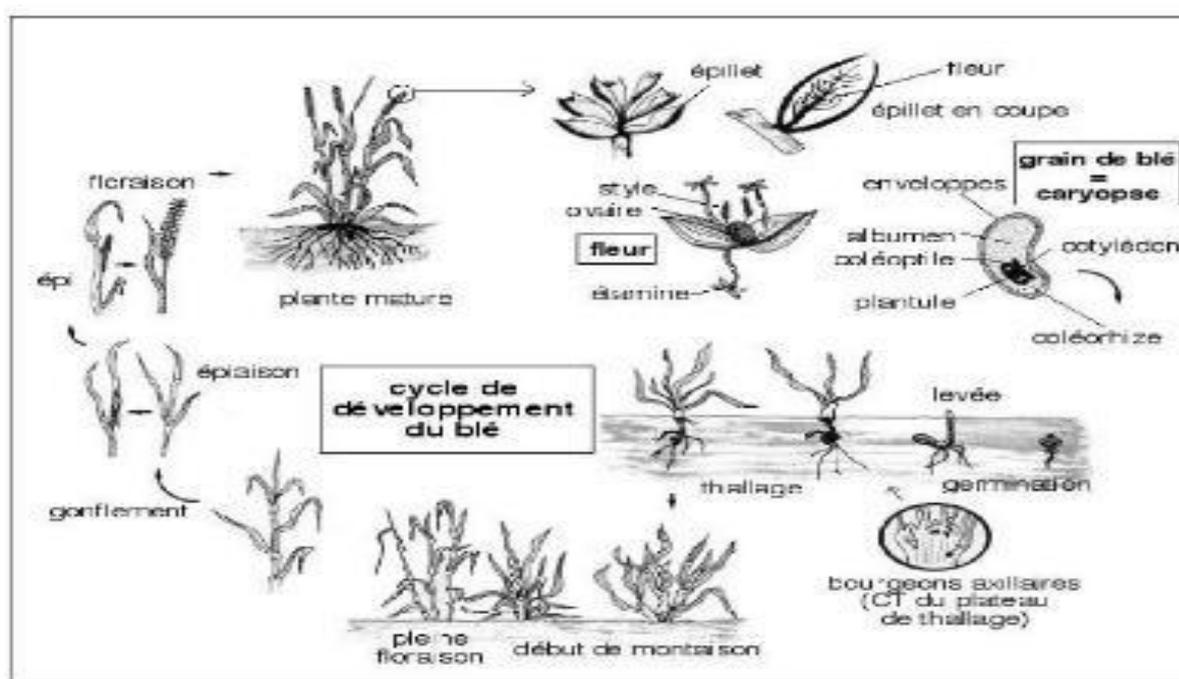


Figure 03. Cycle de développement du blé (Henry et De Buyser, 2000).

1.2.4 Situation de la céréaliculture en Algérie :

La superficie totale de l'Algérie est de 238 174 100 hectares, dont les quatre cinquièmes de la superficie sont le Sahara. La surface agricole utile est de 7,14 millions d'hectares, Les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale (MADR, 2018).

PARTIE I –REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Durant les périodes 2000-2009 et 2010-2017, la superficie des céréales occupait en moyenne annuelle 40 % de la SAU, (superficie agricole utile). On évalue à 3 200 930 ha la superficie ensemencée en céréales durant la décennie 2000-2009, sur laquelle le blé dur et l'orge s'octroient la part du lion avec plus 74 % de la sole céréalière totale.

Durant la période 2010-2017, cette superficie a atteint les 3 385 560 ha, soit une timide progression de +6 % par rapport à la période précédente (2000-2009).

La production céréalière au cours de la période 2010-2017 est estimée à un peu plus de 4,1 millions de tonnes en moyenne, soit un accroissement de 26 % par rapport à la décennie 2000-2009, où la production enregistrée affichait près de 3,3 millions de tonnes. Cette production est essentiellement constituée de blé dur et d'orge ; ils représentent respectivement 51 % et 29 % en moyenne de l'ensemble des productions céréalières entre 2010 et 2017. La production du blé dur, est très fluctuante, elle varie de 4,8 millions de quintaux à 24,1 millions de quintaux avec une moyenne de 15,3 millions de quintaux, et un rendement de 8,8q/ha en 1998 à 17,9 q/ha en 2017, avec un rendement moyen de 13,7 q/ha pour la période 1997/98 – 2011/2017

La production totale des céréales a varié de 9,3 millions de quintaux à 52,5 millions de quintaux, avec une moyenne de 33,4 millions de quintaux. Actuellement l'Algérie se classe au premier rang mondial pour la consommation de blé avec une moyenne dépassant largement les 200kg/ha/an, comparativement à l'Egypte dont la moyenne est de 131 kg/ha/an et la France dont la moyenne est de 98 kg/ha/an (FAO, 2005). La croissance démographique, le changement de modèle de consommation et le soutien des prix des produits de base, ont fait que le volume des céréales consommées a augmenté de 427%, entre 1961 et 2003, passant de 1,2 millions de tonnes à 6,4 millions de tonnes. (FAO 2018)

Le stress :

Le stress est l'ensemble des conditions qui provoquent des changements des processus physiologique résultant éventuellement en dégâts, dommage blessures, inhibition de la croissance ou de développement (Hopkings, 2003).

1.3. Le stress hydrique

1.3.1 Définition et concept du stress hydrique

Selon Girardin (1999) cité par Pindard (2000), il y a stress chez les plantes lorsque l'état hydrique perturbe le métabolisme. Cela implique qu'il y a un impact direct plus ou moins rapide sur les organes et leur développement. La première manifestation du stress hydrique chez les plantes est le flétrissement, mais les recherches ont montré que le flétrissement des feuilles ne peut pas être utilisé pour détecter le stress car les fonctions métaboliques sont affectées chez les plantes stressées avant que le stress ne puisse être observé. En fait, en cas de sécheresse prolongée, de nombreuses plantes se déshydratent et meurent. Le stress hydrique dans les plantes réduit le potentiel hydrique et la turgescence des cellules végétales, ce qui augmente les concentrations des solutés dans les compartiments internes. En conséquence, l'élargissement cellulaire diminue conduisant à l'inhibition de la croissance et l'échec de reproduction.

La sécheresse, provoquée par un déficit prolongé des précipitations, se traduit au niveau de la végétation par un stress hydrique induit par la baisse des réserves utiles en eau du sol. Ce stress impacte fortement la croissance, la reproduction, et la survie des plantes (Chaves et al., 2002) et est considéré comme le principal facteur climatique associé à la mortalité des plantes (Allen et al., 2010). La réponse des plantes à la déshydratation diffère en fonction des mécanismes adaptatifs exprimés par les plantes, mais également de l'intensité du stress hydrique

1.3.2 Les stratégies adaptatives au stress

L'adaptation est définie comme la capacité d'une plante à croître et à produire des rendements satisfaisants dans des zones à des déficits hydriques périodiques (Turner 1979). Le mécanisme de résistance à la sécheresse est l'esquive, l'évitement et la tolérance.

1.3.3 – L'esquive :

Ou bien l'échappement « drought escape », l'esquive consiste en un ensemble de mécanismes que les plantes utilisent pour garder le potentiel hydrique de ses tissus à un niveau assez élevé durant les périodes de déficit hydrique afin d'éviter leur déshydratation. Cette stratégie se retrouve, en particulier, chez les espèces annuelles (May & Milthorpe, 1962), elle est faite dans le contexte agricole en cherchant à faire coïncider le développement de la culture ou du moins les phases les plus sensibles avec les périodes où le stress est moins intense.

1.3.4 – L'évitement :

Connu aussi sous le nom : du maintien de tissus végétaux à un potentiel hydrique élevé ; Consiste en un certain nombre de mécanismes permettant à la plante d'effectuer son cycle complet de développement en dehors des périodes de stress hydrique important

Il est peut-être obtenu par la limitation de la transpiration par la fermeture des stomates ou par le phénomène d'enroulement foliaire. Cet état permet à la plante de continuer ses activités métaboliques sans être fortement perturbée par le milieu extérieur qui peut être très stressant

1.3.5 – La tolérance :

Ou maintien des tissus végétaux à un potentiel hydrique bas : La tolérance d'une plante s'exprime par sa capacité à résister à l'abaissement du potentiel hydrique.

Selon Ledoigt et Coudret (1992), la tolérance implique des changements du métabolisme cellulaire caractérisé par l'accumulation de certains produits qui peuvent être synthétisés rapidement sous l'effet des stress. Elle est liée à une aptitude plus ou moins importante du génotype à maintenir l'intégrité de ses structures (membranes) et de ses fonctions (photosynthèse) (Bensemane, 2004) ; l'élévation de la viscosité du cytoplasme des cellules, la protection des enzymes et des membranes par certains osmo-protecteurs et antioxydants, et la modification de la composition phospholipidiques des membranes cellulaire.

1.4 Le stress oxydatif :

1.4.1 Définition

Le stress oxydant se définit par un déséquilibre entre la production d'espèces radicalaires ou (réactives de l'oxygène ERO) et les capacités du corps à réparer les dommages oxydatifs [Boyd et al., 2003]. Divers stress abiotiques entraînent à la surproduction des espèces réactives de l'oxygène, chez les plantes, qui sont hautement réactifs et toxiques et par conséquent causent des dommages aux protéines, lipides, glucides et de l'ADN ce qui résulte un Stress nommé « Oxydatif » ou Stress « Oxydant ».

Conduisant à des dégâts structuraux et fonctionnels. En général le stress oxydatif est le résultat cellulaire d'un stress environnemental non oxydatif. Il est reconnu que le stress oxydatif représente aussi l'une des principales causes de la baisse de reproduction en agriculture (Foyer et Noctor, 2005)

1.4.2 Espèces réactives d'oxygène :

Les espèces réactives de l'oxygène, en anglais : reactive oxygen species ou ROS, sont produites normalement lors du métabolisme cellulaire mais leur production est augmentée de façon drastique quand les plantes sont exposées à des stress tels que l'exposition à une forte lumière, des températures basses ou la sécheresse. La production des ROS est un phénomène physiologique naturel lié à la vie aérobie.

PARTIE I –REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Leur concentration peut cependant croître significativement en période de stress, sous l'effet de la chaleur, notamment dans le contexte du dérèglement climatique. (Pitwschke A., et Al 2006)

Tableau 02 : principales espèces réactives oxygénées radicalaires et non radicalaires (Antwerpen, 2006).

Radicalaires	Non radicalaires
OH Radical hydroxyle	H₂O₂ Peroxyde d'hydrogène
RO Radical alkoxyl	ROOH Peroxyde organique
ROO Radical peroxy	HOCL Acide hypochloreux
O₂ Anion superoxyde	¹O₂ Oxygène singulet
NO Radical oxynitrique	ONOO Peroxynitrite

1.4.3 Les dommages Oxydatifs

L'exposition des plantes à certains stress environnementaux peuvent causer de graves dommages à des composants importants de la cellule (Perez et al., 2000). Ils provoquent la peroxydation des lipides, la dégradation des protéines et l'inactivation d'enzymes (Sairam et Al... 2005). Divers Organites y compris les chloroplastes, les mitochondries et peroxysomes sont les sièges, ainsi que la première cible des espèces réactives de l'oxygène produites (Farooq et al...2009).

1.4.4 Le système antioxydant :

Les antioxydants sont des substances capables de neutraliser ou de réduire les dommages causés par les espèces réactives d'oxygène dans l'organisme et permettent de maintenir au niveau de la cellule des concentrations non cytotoxiques des ROS (Vansant, 2004).

Les principaux mécanismes impliqués dans la prévention de l'activité des anti-oxydants sont :

- De transformer les ROS en espèces moins toxiques
- D'empêcher l'interaction entre espèces chimiques
- De prévenir ou réparer les lésions induites par les ROS

Ces systèmes peuvent être soit enzymatiques, soit moléculaires. Ils peuvent être d'origines endogènes ou exogènes et peuvent être des composés naturels ou synthétiques.

1.5 Réponses des plantes au stress hydrique

Pour contrer le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu. La résistance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître. Selon Passioura (2004), la résistance globale d'une plante vis-à-vis du déficit hydrique est la résultante de nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques et biochimiques. Ces dernières interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de la productivité (Passioura, 2004).

1.5.1 Réponse morphologique au stress

L'adaptation peut prendre forme, suite à des modifications d'ordre morphologiques pour améliorer l'absorption de l'eau, et/ou diminuer la transpiration et la compétition entre organes pour les photo-assimilats. Ainsi certaines variétés réduisent la surface foliaire et le nombre de tiges, pour ajuster leur consommation en eau. Elles sont dites plantes économes. D'autres possèdent la capacité d'enrouler le limbe foliaire pour minimiser la transpiration et réduire l'effet du stress lumineux. D'autres variétés investissent dans le développement d'un système racinaire profond, pour avoir accès à des horizons plus humides, et ainsi elles s'assurent une meilleure alimentation hydrique. Ces plantes sont dites dépendantes en eau (Slafer et al., 2005).

1.5.2 Réponse physiologique au stress :

Lorsque l'évapotranspiration potentielle, déterminée par les caractéristiques de l'atmosphère, devient supérieure à ses possibilités d'alimentation en eau, la plante réagit en fermant ses stomates pour éviter de se dessécher (INRA, 2000). La baisse du potentiel hydrique de la plante se traduit principalement par une diminution de la pression de turgescence.

Ensuite à une perte de fonctions vitales et donc un déficit hydrique provoque la fermeture des stomates, ralentissant la photosynthèse en même temps que la transpiration. (Benkolli et Bouzeghaia, 2016).

1.5.3 La teneur relative en eau (TRE)

C'est l'une des principales grandeurs qui indique le niveau hydrique de la plante ou encore la TRE. La teneur relative en eau de la feuille est liée à la capacité de la plante à maintenir un niveau d'hydratation optimal qui soit à même de garantir la continuité de l'activité métabolique, par contre la baisse du potentiel hydrique des plantes induit une importante perte de turgescence au niveau des feuilles. Le maintien d'un potentiel hydrique élevé est lié à l'aptitude à extraire l'eau du sol et à la capacité à limiter les pertes d'eau par transpiration. Il caractérise une stratégie d'esquive à la déshydratation. Ces résultats ont été confirmés par nombreux travaux et essentiellement ceux de (Clark et al.,)

La (TRE) au niveau de la plante peut varier entre 68% et 84% dans les bonnes conditions hydriques, et de 45% à 63% en présence d'un déficit hydrique

1.5.4 La teneur en Chlorophylle :

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, Le rapport chlorophylle (a/b) est un bon indicateur du seuil de tolérance au stress hydrique (Guettouche, 1990 in Mouellef, 2010). Tahri et al., (1997) montrent que l'augmentation de la teneur en proline foliaire sous l'effet du stress est suivie par un abaissement dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles a et b).

PARTIE I –REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1.5.5 Réponses Biochimique au stress :

1.5.5.1. Teneur en protéines totaux

La teneur en protéines moyenne chez le blé dur s'établit à 13,2 %. Les protéines de stress jouent un rôle dans l'adaptation de la plante et de ce fait de nombreux chercheurs abordent la résistance au stress par la caractérisation et l'étude de ces molécules (Campalans et al., 1999). Les conditions de sécheresse entraînent des changements quantitatifs et qualitatifs dans les protéines végétales. En général, les protéines dans la plante diminuent pendant le déficit hydrique en raison de diminution de la synthèse.

1.5.5.2 Le malonyldialdéhyde (MDA)

Le MDA est l'un des produits terminaux formés lors de la décomposition (oxydation) des acides aminés gras polyinsaturés. Les taux élevés de MDA marquent un stress oxydatif portant notamment sur l'oxydation des lipides (Chebab et al, 2009). Le malondialdéhyde joue un rôle d'indicateur de stress par conséquent il peut être utilisé comme bio marqueur du stress oxydatif (funes et al, 2006).

La peroxydation des lipides induit une modification de la fluidité, de la perméabilité et de l'excitabilité des membranes (Pamplona et al, 2000).

Partie 2 :
Matériel et méthodes

PARTIE 2 : Matériel et méthodes

2.1 Matériel végétal

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de stress hydrique et la variabilité morpho-physiologique de la réponse chez dix variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf). L'expérimentation est inscrite dans le cadre d'un projet national qui vise l'amélioration de certaines variétés de blé locale (Bousselam) et importés (lignées avancées en génération d'origine Mexicaines). L'expérimentation mise en place au cours de la saison 2021 /2022 en mois de décembre. L'essai a été réalisé au niveau de l'Institut Nationale de la recherche agronomique d'Alger (INRAA) à Baraki-Alger.



Figure 04 : Entrée de l'institut de la recherche agronomique d'Alger.

(Source personnelle)

2.3 Préparation du substrat et semis :

Les graines utilisées pour la germination ont été préalablement désinfectées à l'eau de javel (5 %) pendant 5 mn puis bien rincées à l'eau distillée.

PARTIE 2 : Matériel et méthodes

Elles sont ensuite déposées sur deux couches de papier filtre humide, dans des boîtes de pétri en verre de 19 cm de diamètre. Les graines sont disposées à une température ambiante et à l'obscurité. Le papier filtre a été imbibé la première fois par 15 ml d'eau distillée, puis des quantités journalières d'environ 5 ml pour maintenir l'humidité ont été apportées pour permettre aux graines de germer. Après quatre jours de germination, les plantules formées portent deux feuilles cotylédonaires. Ces plantules sont repiquées dans des pots de 20 cm de diamètre et 18 cm de hauteur, à raison de Trois plantules par pot. Chaque pot a été perforé à la base et remplis par 4 Kg de mélange de substrat (1/3 de sable, 1/3 de sol de la station et 1/3 de terreau). Placé dans une serre semi contrôlé, sous une température de 15/25°C ' (Jour, Nuit) et d'humidité relative 60-80 % et a une luminosité naturelle. Ils sont irrigués 3 fois par semaine, régulièrement.

2.4 Dispositif expérimental :

L'expérimentation a été réaliser selon un dispositif expérimental bloc aléatoire complet selon la nova à deux facteurs ; le facteur principal est le traitement hydrique et comme facteur secondaire les génotypes, avec trois répétitions de chaque combinaison factorielle.

2.5 Application du stress hydrique

Le semis a été réalisé le 17 Janvier 2022, Après 04 mois de semis, et que nos plantes sont arrivées au stade d'épiaison, nous avons appliqué un stress en arrêtant l'irrigation pendant 20jours. Il se répartit en Trois blocs (1, 2 et 3) avec trois répétitions pour chaque niveau

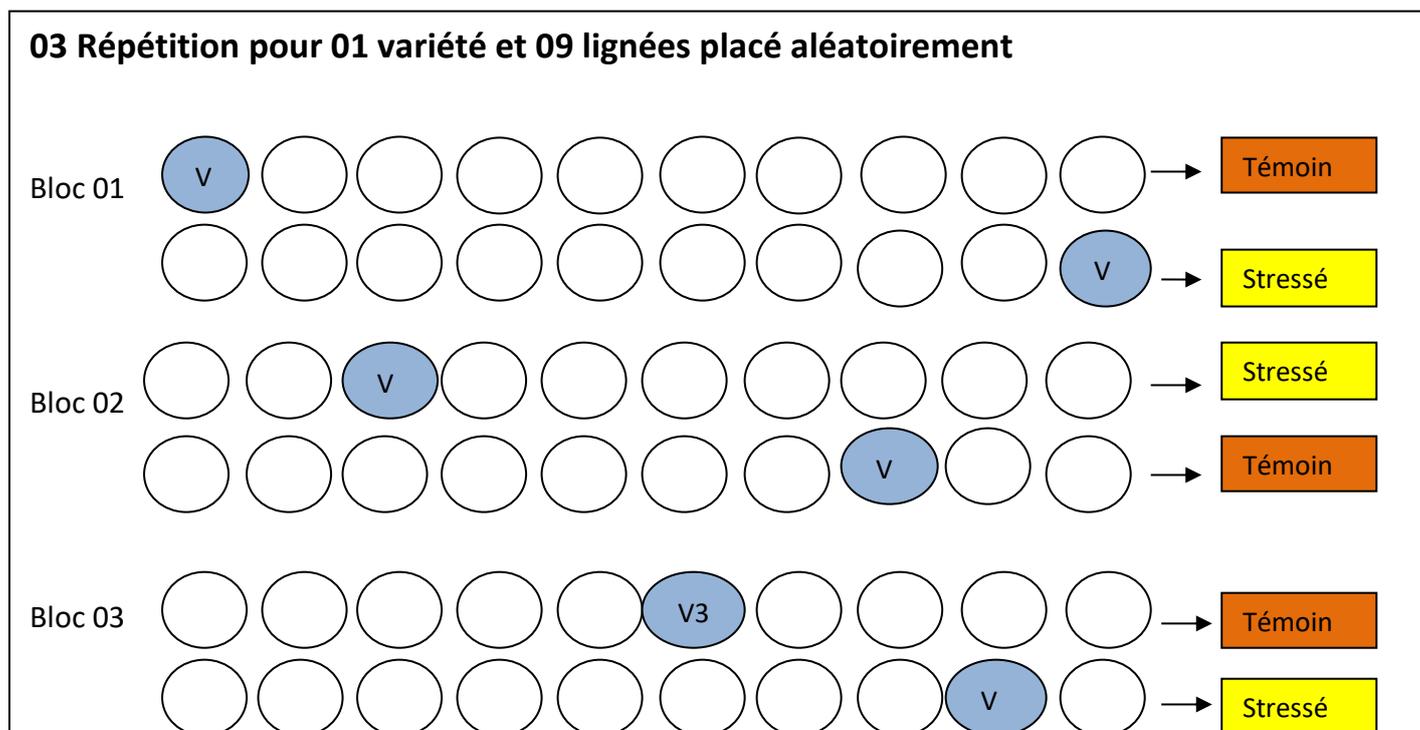


Figure 05 : Le dispositif expérimental en blocs aléatoires complets

2.6 Echantillonnage

Pour les différentes mesures, des prélèvements ont été réalisés sur des feuilles, plus précisément la feuille étendard.

2.7 Les caractères morphologiques

2.7.1 La surface foliaire (SF, cm²) :

La surface foliaire de la feuille étendard exprimée en cm² est définie comme le produit de la longueur totale (L, cm) par la largeur moyenne (I, cm) des feuilles par 0,7149, d'après Spagnoletti-Zeuli et Qualset, (1990).

$$SF \text{ (cm}^2\text{)} = L \times I \times 0.7149$$

2.7.2 La hauteur de la plante (Cm) :

Des échantillons de plantes pour chaque génotype, ont été mesurés aux stades épiaison et maturité à partir du ras du sol jusqu'aux sommets des barbes de l'épi avec une règle ou bien un mètre ruban.

2.8 Les paramètres physiologiques

2.8.1 La teneur relative en eau

La teneur relative en eau est mesurée selon la méthode décrite par Barrs. Elle représente l'état de turgescences des cellules. Le limbe de la feuille est sectionné à sa base et immédiatement pesé, ce qui représente le poids frais initial (Pf). La partie sectionnée est trempée dans un tube à essai contenant de l'eau distillée. L'ensemble est maintenu à l'obscurité et à une température de 4°C pendant 24 heures. Les limbes sont récupérés et délicatement essuyés en surface avec du papier et pesés à nouveau, ce qui donne le poids en pleine turgescence (Pt). Le poids sec (PS) de la matière végétale séchée de chaque limbe est obtenu par passage à l'étuve à une température de 80°C pendant 24 heures. La teneur relative en eau est calculée par la formule proposée par Weatherley et Barrs (1968)

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

PF = poids frais ; PS = poids sec ; PT = poids en pleine turgescence.

2.8.2 Mesure du taux de chlorophylle par SPAD (MINOLTA 502)

SPAD-502 peut mesurer la teneur relative en chlorophylle, non destructrice pour les feuilles. Les données mesurées seront affichées dans le graphique des tendances. Il peut être utilisé pour améliorer le taux d'utilisation des engrais azotés.

PARTIE 2 : Matériel et méthodes

Le ‘‘ChlorophyllMeter SPAD-502’’ est un instrument qui mesure la teneur en chlorophylle (facteur important pour la compréhension de la croissance et conditions nutritives des plantes) appliqué directement sur les feuilles des plantes il indique les teneurs en chlorophylles en unités SPAD. Les mesures sont instantanées sur la plante sans avoir à couper des feuilles, simplement en projetant de la lumière à travers la feuille mesurée.

Il peut s’appliquer sur des produits comme le riz, le blé, le coton, les fruits et autres légumes aussi bien que sur les plantes ornementales.

Il suffit de fermer la pince vide sur elle-même pour équilibrer l’appareil par la suite trois prises de mesure sont effectuées au niveau de la feuille étendard des trois plantules de chaque pot pour pouvoir prendre la moyenne. Les mesures se font en fermant la tête de mesure au milieu la feuille sans la coupée ou l’endommagée.

La mémoire de l’instrument peut stocker jusqu’a 30 mesures et les visualiser sur une courbe de tendance. Les valeurs anormales, les variations soudaines dans les mesures sont alors visibles en un clin d’œil

2.9 Les paramètres biochimiques

2.9.1 Extraction et dosage des protéines totales

Des feuilles fraîches (100 mg) sont broyées dans 1.5 ml de tampon d’extraction (Tris-Hcl 0.1M, 10 % de saccharose, 0.05 % de β -mercaptoéthanol (pH = 8.1). L’extrait est ensuite centrifugé pendant 6 mn à 12 000 tr par Min à 4° C. Le surnageant est alors prélevé. Les protéines sont dosées sur une aliquote d’extrait.

2.9.2 Dosage des protéines solubles totales

Le dosage a été réalisé selon la méthode de Bradford, 1976. À 100 μ l de surnageant sont rajoutés 3 ml de réactif de Bradford (bleu de Coomassie G250). Après incubation pendant 5 min, la densité optique (D.O) est lue au spectrophotomètre à la longueur d’onde $\lambda = 595$ nm. Pour éviter la dénaturation des protéines, toutes les opérations sont menées à 4° C.

Préparation du réactif de Bradford

Le réactif Bradford (1976) est composé de :

- 100mg de Bleu de Coomassie G250.
- 50 ml d'éthanol à95%.
- 100ml d'acide phosphorique à85%.

On ajuste à 1000ml avec l'eau distillée.

Préparation de la gamme et courbe d'étalonnage

La courbe est réalisée à l'aide de concentrations croissantes d'Albumine de Sérum Bovin (BSA) obtenues à partir d'une solution mère de 1 mg.ml⁻¹

BSA mg/ml	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Volume de solution fille (ml)	1	2	3	4	5
Eau distillé (ml)	4	3	2	1	0
Reactif de BRADFORD (ml)	3	3	3	3	3
DO	0,26	0,33	0,44	0,68	0,82

Tableau n° 03 : concentrations croissantes d'Albumine de Sérum Bovin (BSA) obtenues à partir d'une solution mère de 1 mg.ml⁻¹

2.9.3 Tracé de la gamme étalon

Régler le photomètre sur 594nm

La lecture de l'absorbance de chaque tube se fera contre le Blanc (tube ne contenant pas de protéine), il faut donc d'abord positionner le zero avec le tube n°1

Pour chaque tube de la gamme reporter dans un tableau l'absorbance indiquée par le photomètre :

N° Tube	Abs à 594nm
2	
3	
4	
5	

PARTIE 2 : Matériel et méthodes

Tracer la courbe étalon [*Proteine*]=*f*(*Abs*)

Tracer la droite d'approximation linéaire (passant par l'origine) qui approche au mieux les points de la gamme (W. F. Harrington,1956)

En théorie suivant la règle des moindres carrés cette droite de la forme $y=ax$ est déterminée par le seul coefficient a qui est donnée par l'équation

$$a = \frac{\sum x \cdot y}{\sum x^2}$$

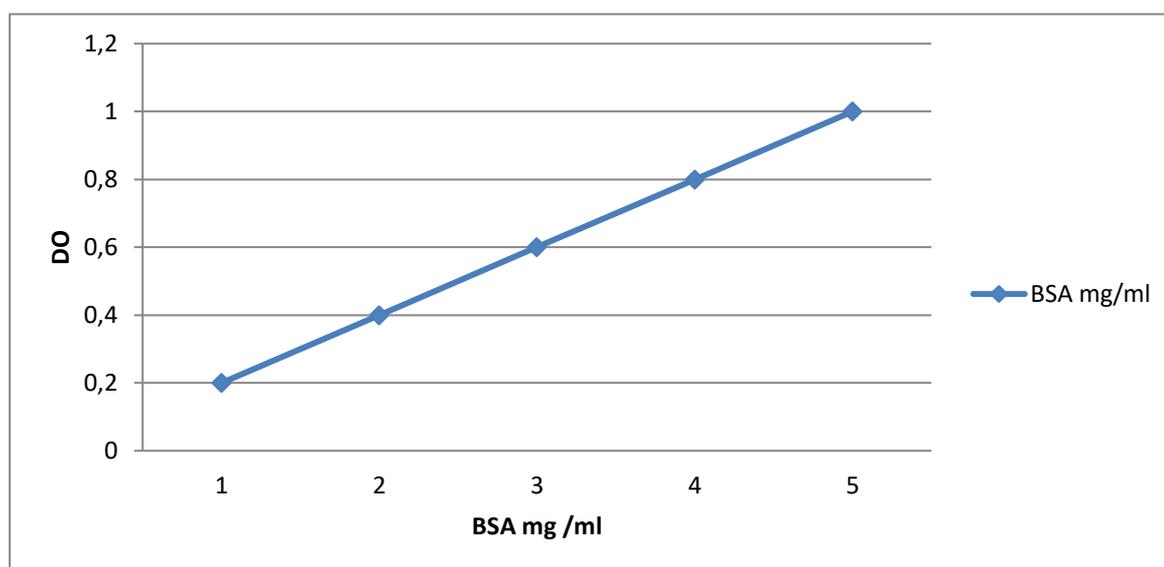


Figure 06 : Courbe étalon de la BSA

2.9.2- Mesure du Malonyldialdéhyde

Le dosage du malonyldialdéhyde (MDA), ou substance réagissant à l'acide thiobarbiturique (TBARS), est souvent pris en considération pour évaluer le degré de peroxydation lipidique au membranaires. Le MDA est l'un des produits terminaux de la décomposition des acides gras polyinsaturés sous l'effet des radicaux libres lors d'un stress oxydant. L'analyse quantitative du MDA est déterminée par spectrophotométrie. Les taux élevés des MDA soulignent la présence d'un stress oxydatif et par suite des dommages oxydatifs élevés.

PARTIE 2 : Matériel et méthodes

Une masse de 100 mg de feuilles fraîches est broyée dans 1 ml d'acide trichloracétique (TCA) à 1 %, puis centrifugée à 1200 tr.mn⁻¹ durant 15 min. 500 µL de surnageant est récupéré, 1 ml d'acide thiobarbiturique (TBA) à 0.5 % est rajouté. Le mélange est mis à incuber pendant 30 minutes au bain-marie à 95° C. Après refroidissement, la lecture de la densité optique est effectuée à 532 et à 600 nm. La lecture de la DO à 600 nm sert à déduire l'absorption due à d'autres substances autres que le complexe MDA-(TBA). (Funes V Alhama J., et Al)

- **Calcul de la teneur du MDA**

Le contenu en MDA est calculé en utilisant le coefficient d'extinction molaire du MDA ($\epsilon = 155 \text{ mmol. L}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) selon la loi de **Beer-Lambert** :

$$DO = \epsilon \cdot C \cdot e$$

E = distance parcourue par la lumière = épaisseur de la solution = 1 cm

C = concentration du MDA en mmol. L⁻¹

D'où $C = DO / \epsilon \cdot e$

DO dû à l'absorption par le MDA = DO₅₃₂ - DO₆₀₀

Partie 3 :

Résultats et discussion

3.1 Effet du stress sur la surface foliaire :

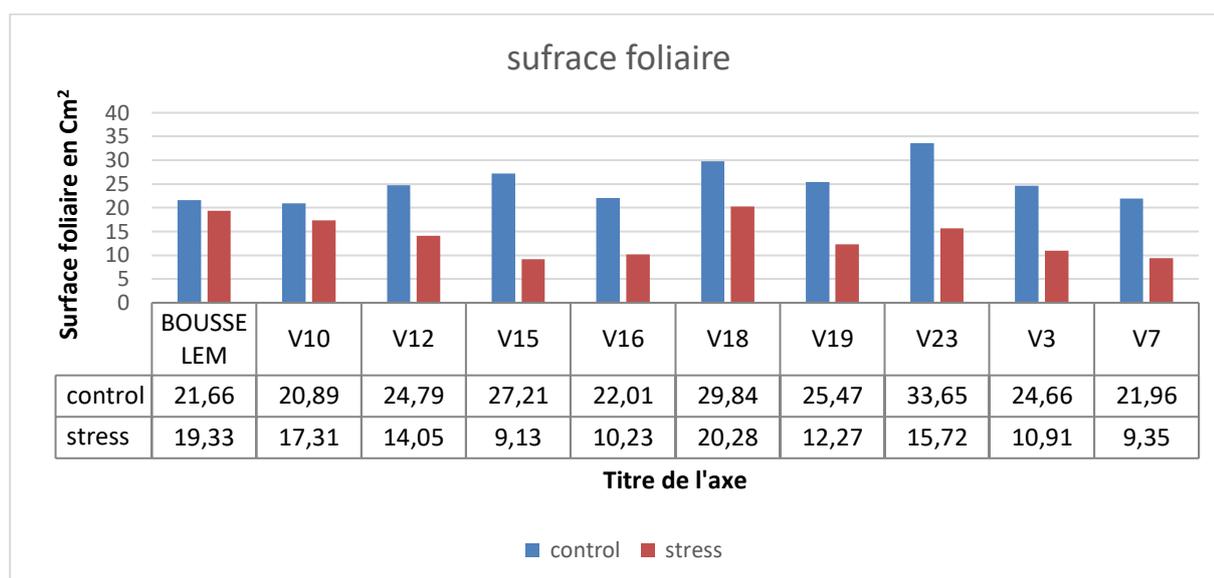


Figure 07. Effet du stress sur la surface foliaire cm2

Les résultats de la **figure 07** qui traduisent l'effet du stress hydrique sur la surface foliaire montrent que la surface foliaire chez les variétés stressées subit une diminution comparativement aux variétés témoins. Cette diminution varie d'une lignée à une autre. La surface foliaire la plus élevée chez les variétés témoins a été enregistrée chez la lignée V23 suivie par la lignée V18 et V15, V12 et V3. Cependant la variété V10 a été caractérisée par la surface foliaire la plus faible. En revanche, la surface foliaire la plus faible chez les variétés stressées a été enregistrée chez les variétés V15, V7, V16 et V3. Cependant la surface foliaire la plus élevée a été enregistrée chez les variétés V18 suivie par la variété Boussalem, la variété V10 et V23.

L'analyse par ANOVA a montré que des différences significatives entre les lignées et le régime hydrique ont été observées. Cependant des différences hautement significatives entre le régime hydrique et la surface foliaire ont été observées.

La surface foliaire est un déterminisme important de la transpiration. Une des premières réactions des plantes au déficit hydrique est de réduire la surface foliaire (Lebon et *al.*, 2004).

Partie 3 : Résultats et discussion

Le développement végétatif sous conditions limitantes d'alimentation hydrique est fortement perturbé (Ferryra et *al.*, 2004), on note principalement une diminution importante de la taille et de la surface foliaire. Cette diminution est une des réponses des végétaux à la déshydratation, elle contribue à la conservation des ressources en eau, ce qui permet la survie de la plante (Lebon et *al.*, 2004).

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

3.2 Effet de stress sur la hauteur moyenne de la plante

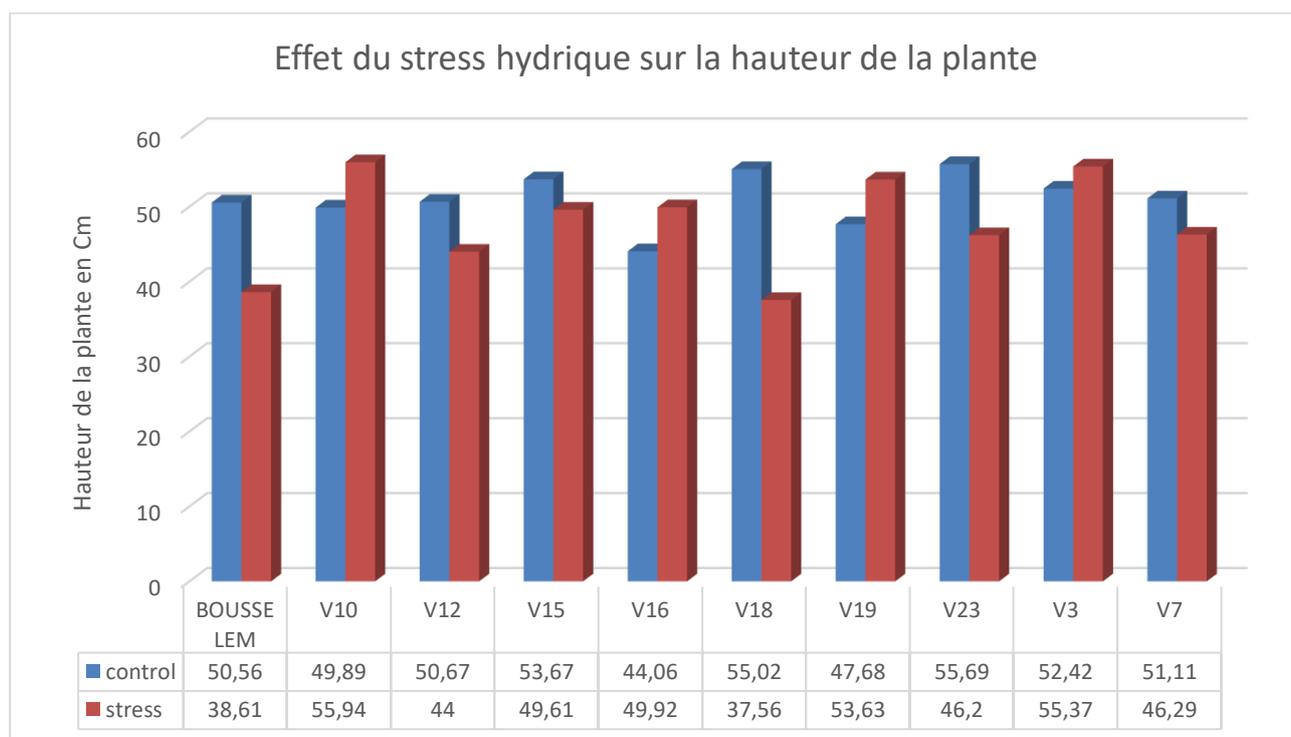


Figure 08 : Effet de stress sur la hauteur moyenne de la plante

Partie 3 : Résultats et discussion

Les réponses physiologiques des plantes vis-à-vis du stress hydrique varient d'une plante à une autre. La mesure de la longueur de la plante sous stress est un paramètre primordial qui nous renseigne sur l'effet de ce dernier sur la croissance et la multiplication cellulaire.

La figure 08 qui traduit l'effet de stress hydrique sur la hauteur de la plante montre que :

La hauteur des plantes stressées dépasse celle des plantes témoin chez les variétés V10, V3, V19 et V16. Cependant chez les variétés Bousselam, V15, V23, V7, V12 et V18 la hauteur des plantes stressées est inférieure à celles des plantes témoins.

Bahloli et al., 2005 soulignent que la hauteur de la plante est considérée comme un critère important dans les zones semi arides pour leur capacité de stocker et produire des sucres pour le remplissage de grain dans les périodes sèches. Cependant Rebetzke et al., (2002) soulignent que l'importance de la hauteur de la plante sous stress est liée à la capacité de croissance du système racinaire en profondeur. De ce fait, une paille haute est souvent associée d'un système racinaire profond ce qui conférerait à la plante une meilleure capacité d'extraction de l'eau du sol.

3.3 Effet du stress sur la teneur relative en eau

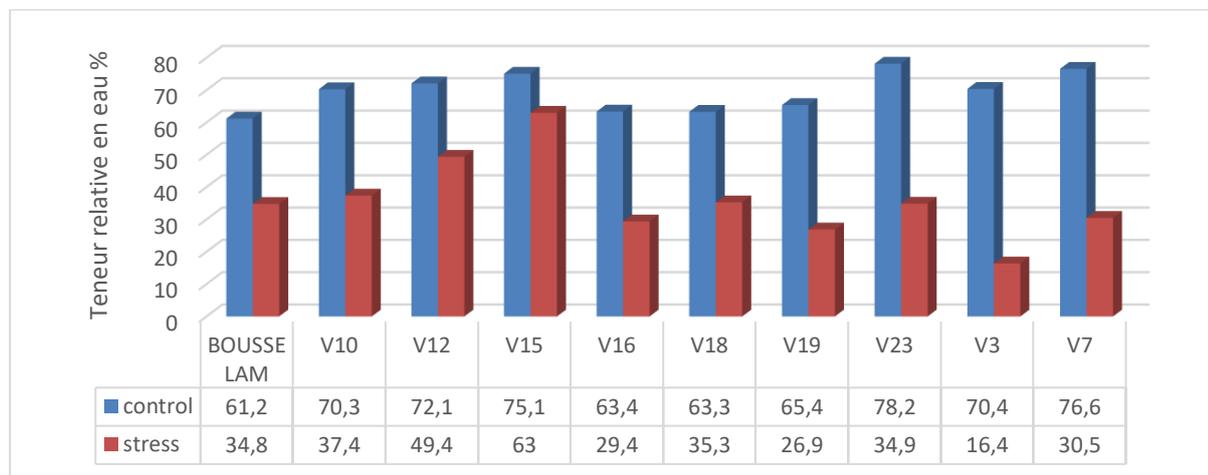


Figure 09 : Effet du stress sur la teneur relative en eau (% / matière sèche) chez la variété Boussaleam et les neuf lignés

Partie 3 : Résultats et discussion

Selon les résultats de la figure 09 qui traduit l'effet du stress sur la teneur relative en eau chez la variété Boussalem et les neuf lignés, on constate que, la TRE chez les lignés témoins dépasse celle des lignés stressées. La TRE la plus élevée chez les variétés témoins a été enregistrée chez la variété V23 (78.2%) et la valeur en teneur en eau la plus faible a été enregistrée chez la variété V18 (63.29%). En revanche la TRE la plus élevées chez la variété stressée a été enregistrée chez la variété V15 (63%), cependant la TRE la plus faible a été enregistrée chez la variété V3 (16.4%).

Selon l'analyse de l'ANOVA, des différences significatives entre le régime hydrique et lignés ont été observés. Cependant des différences hautement entre régime hydrique et TRE ont été observées.

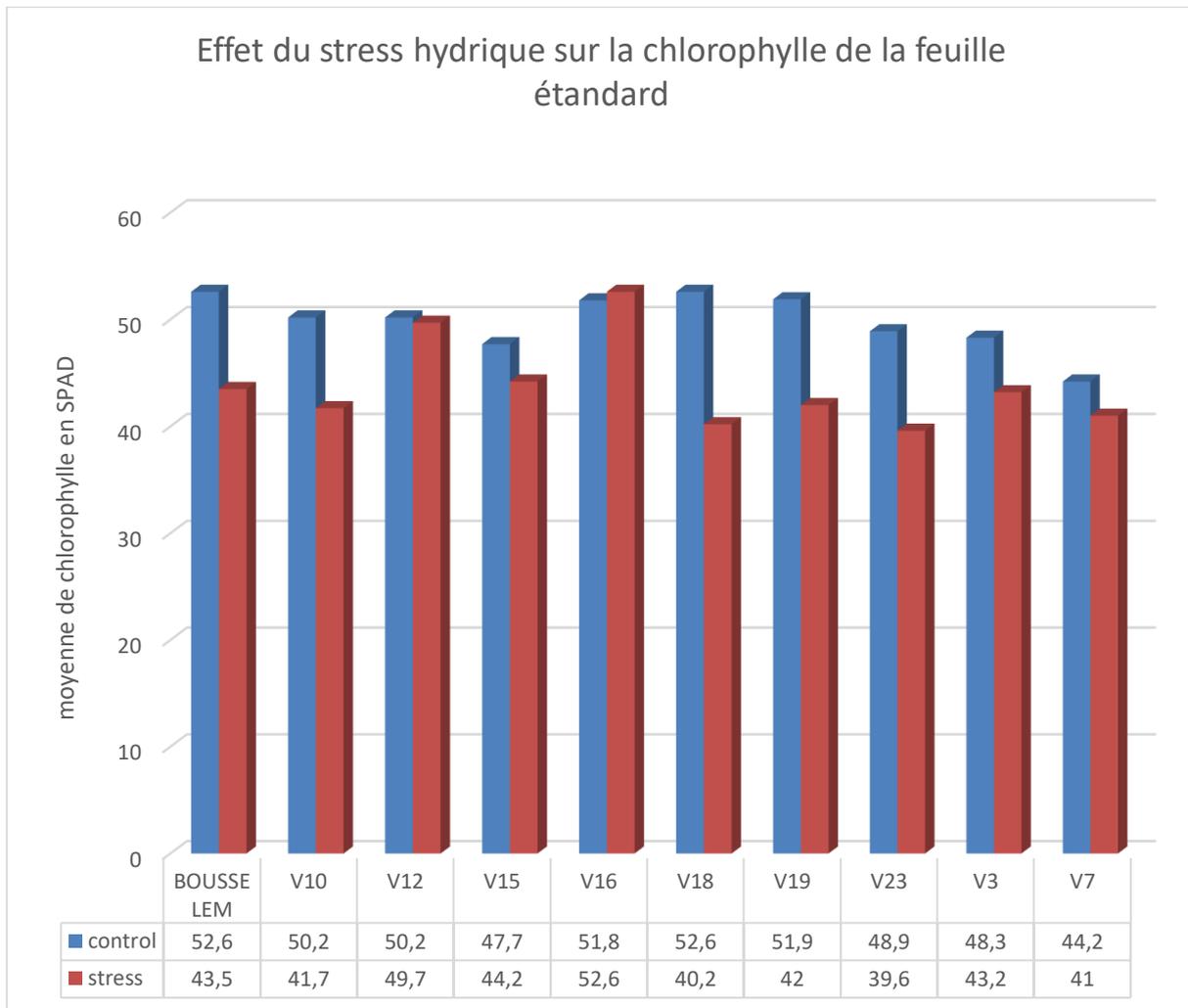
Le manque d'eau est un élément déterminant pour la croissance des plantes, particulièrement en région arides et semi arides. Il induit chez les plantes stressées une diminution du contenu relatif en eau (Albouchi et *al.*, 2000). Clark et Mac-Caig, (1982) attirent l'attention sur l'utilisation de la teneur relative en eau comme indicateur de l'état hydrique de la plante sous stress.

La teneur 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.

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

D'autre part, Nouri, (2002) montrent que les génotypes qui maintiennent une TRE élevée en présence du stress hydrique sont des génotypes tolérants.

3.4 Effet du stress sur les variations du taux de la chlorophylle totale (en unité de SPAD)



**Figure 10 : Effet du stress sur la teneur en chlorophylle totale en unité SPAD
Chez la variété Boussalem et les neuf lignées**

La figure 10 qui traduit l'effet du stress hydrique sur la teneur en chlorophylle en unité SPAD Chez la variété Boussalem et les neuf lignées, montre que la teneur en chlorophylle chez les variétés stressées varie d'une variété à une autre.

Partie 3 : Résultats et discussion

On note que la teneur en chlorophylles totale chez les lignées stressées est inférieure à celui des variétés témoins sauf que là chez la variété V16 ou la teneur en chlorophylle dépasse légèrement celle de la variété témoin (51.8 contre 52.6 unités SPAD).

En effet la teneur en chlorophylle en unité SPAD la plus élevée chez les variétés témoins a été enregistrée chez la variété Boussalem (52.6) et V18 (52,6) suivie par les variétés V19 (51.9), V16 (51.8). La valeur la plus faible a été enregistrée chez la variété V7 (42.2).

En revanche la teneur en chlorophylle la plus élevée chez la variété stressée a été constatée chez la variété V16 (52.6), cependant la valeur la plus faibles a été signalé chez la variété V23 (39.6).

Le taux de la chlorophylle totale diminue corrélativement selon le degré de tolérance au stress hydrique chez les différentes lignées étudiées.

L'analyse par ANOVA montre des différences non significatives entre les lignées et le régime hydrique. Cependant des différences significatives entre le régime hydrique et la teneur en chlorophylles ont été soulignées.

Sous conditions de bonne alimentation hydrique, on note que les valeurs du taux de la chlorophylle totale diffèrent selon les variétés.

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

L'augmentation des teneurs en chlorophylle totale est la conséquence de la réduction de la taille des cellules foliaires sous l'effet d'un stress hydrique qui engendre une plus grande concentration en pigments (Siakhène, 1984). Par contre, la chute des teneurs en chlorophylle est la conséquence de la réduction de l'ouverture des stomates visant à limiter les pertes en eau par évapotranspiration et par augmentation

Partie 3 : Résultats et discussion

de la résistance à l'entrée du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse (Bousba et al., 2009). La quantité de la chlorophylle des feuilles peut être influencée par beaucoup de facteurs tels que l'âge des feuilles, la position des feuilles, et les facteurs environnementaux tels que la lumière, la température et la disponibilité en eau (Hikosaka et al., 2006).

3.5 Effets de stress hydrique sur la teneur en Malonyldialdéhyde (MDA)

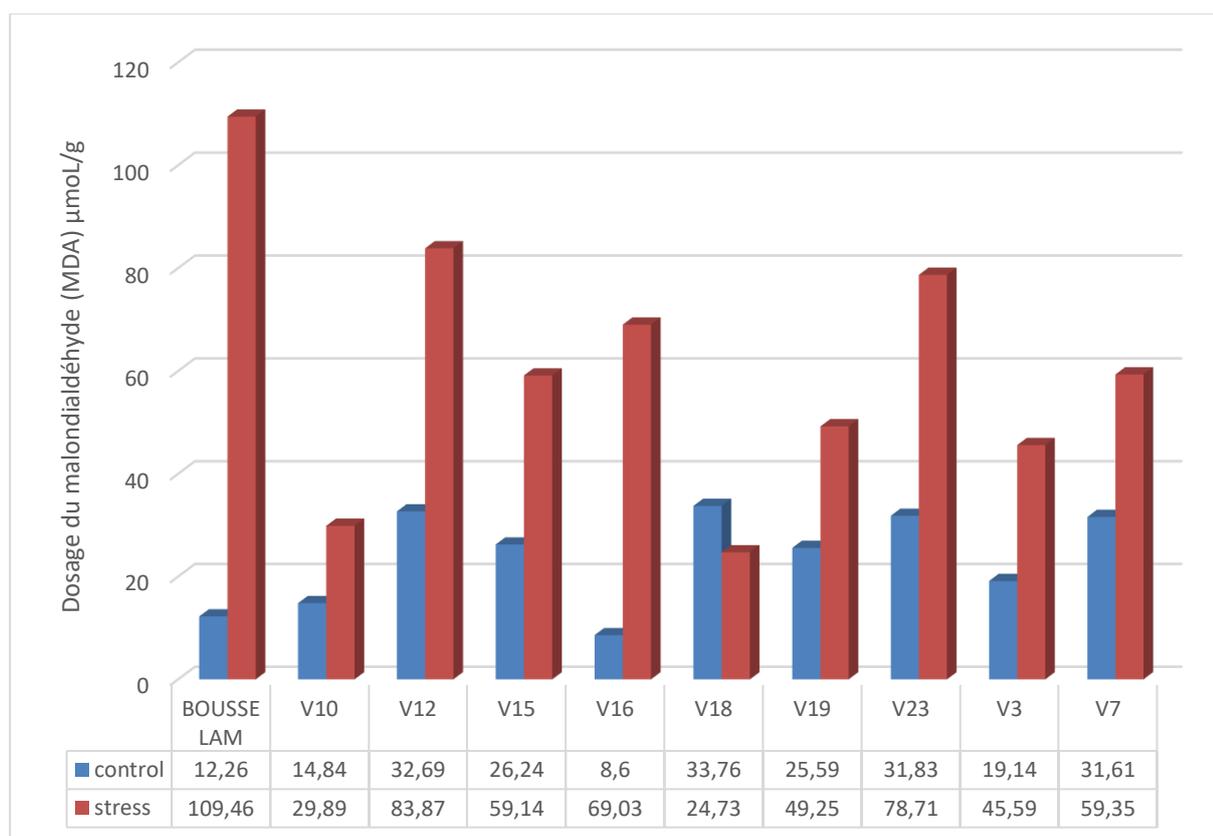


Figure 11 : effet du stress sur la teneur en Malonyldialdéhyde (MDA) chez la variété Boussalem et les neuf lignées de blé dur

Parallèlement à la diminution de la teneur relative en eau des feuilles sous l'effet du stress hydrique, une augmentation de la teneur en Malonyldialdéhyde (MDA) a été enregistrée chez les lignées stressées figure 11.

En conditions de stress hydrique induit par arrêt d'arrosage (Figure12), l'accumulation de la MDA est graduelle et régulière chez les variétés durant toute la durée de l'expérimentation. Cependant, cette augmentation est plus importante chez la variété Boussalem suivis par V12. Ce qui souligne que le degré de stress oxydatif est élevé chez ces dernières.

Les lignées les moins touchés par le stress oxydatif sont la V18 suivit par V10 puis V3 et V19. Ses individus ont subi un degré moindre de stress comparativement aux autres. Elles sont dotées par un système de détoxification performant. Ce caractère est purement génotypique lié à l'espèce.

Le taux de MDA, reste faible et stable chez les plantes témoins durant toute la durée des expérimentations comparativement aux variétés stressées.

L'analyse par ANOVA, montre des différences significatives entre régime hydrique et lignées. Cependant des différences hautement significatives entre régime hydrique et la teneur en MDA ont été signalées. Le déficit hydrique induit un stress oxydatif avec formation de radicaux libres. Le MDA, est l'un des produits finaux de la peroxydation des lipides membranaires (Ohkawa *et al.* 1979 ; Guichardant *et al.* 1994). Cette peroxydation est le symptôme le plus attribué aux dommages oxydatifs ; il est souvent employé comme indicateur du stress oxydatif (Zhang & Kirkham 1994). Le dosage de la MDA est un moyen efficace pour évaluer les dommages du stress oxydatif sur la membrane (Katsuhara *et al.* 2005).

La peroxydation des lipides membranaires serait associée à un défaut de fonctionnement du système de détoxification, qui pourrait mener aux dommages des composants cellulaires principaux (Monk *et al.* 1989 ; Jiang & Huang 2001). Une telle réponse est rapportée sous l'effet du déficit hydrique chez la luzerne (Irigoyen *et al.* 1992), le blé (Zhang & Kirkham 1994) et quelques graminées (Jiang & Huang 2001). Une réduction de la teneur relative en eau des feuilles plus importante ainsi qu'une plus forte peroxydation des lipides membranaires, sont observées chez les plantes lors de stress hydrique et osmotique.

3.6 Effet du stress sur la teneur en protéines totaux chez la variété

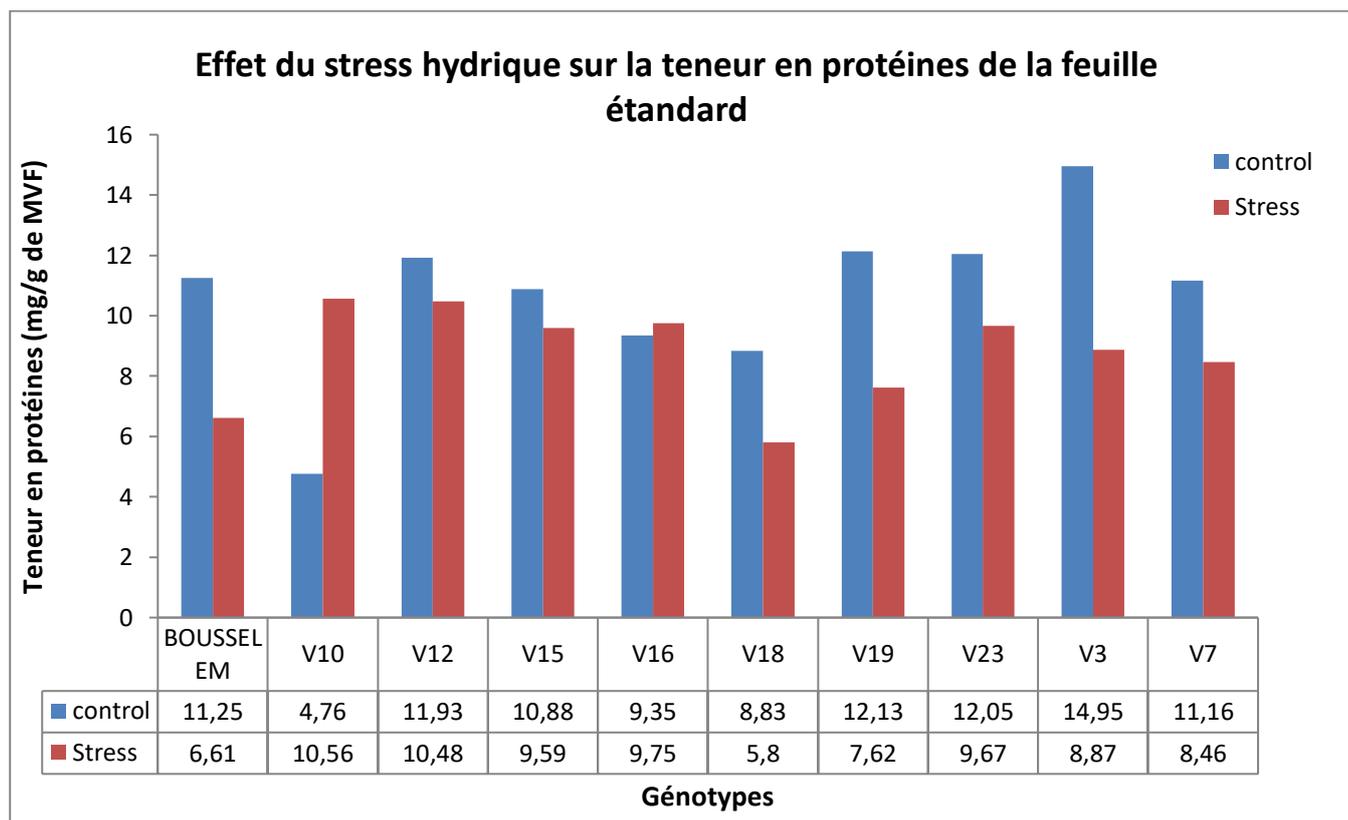


Figure 12 : Effet du stress sur la teneur en protéines totaux chez la variété Boussalem et les neuf lignées

L'accumulation des protéines chez les la variété Boussalem et les neuf lignées de blé dur étudiés, révèlent des variations entre ces individus témoins et les individus stressés.

Il est à signaler que la teneur et le profil des protéines totaux change au cours du stress. En revanche le taux des protéines chez les individus stressés est faible comparativement aux individus témoins sauf chez la lignée V10 et V16 dont la teneur en protéines chez ces dernières est supérieure à celui des témoins.

Le teneur en protéines la plus élevées chez les individus témoins a été signalée chez la lignée V3. Cependant la valeur la plus faible de la teneur en protéine a été enregistrée chez la lignée V10.

En revanche la teneur en protéines la plus élevée chez la lignée stressée a été enregistrée chez la variété V10 (10,56 mg/g MVF) suivie par V12 (10,48 mg/g MVF) et la V16 (9,75mg/g MVF).

Chez les lignées V10 et V16 la teneur en protéines dépasse celle des témoins, on peut considérer que la plante est en phase de résistance avec la synthèse d'un arsenal de composés protéiques qui intervient dans le maintien du potentiel hydrique de la plante.

L'analyse par ANOVA a montrée des différences hautement significatives que ce soit entre lignées et régime hydrique ou entre régime hydrique et teneur en protéines.

En effet la diminution des protéines chez les variétés stressées est corrélée avec le degré de sensibilité de chaque génotype au stress hydrique. Plus la sensibilité du génotype est élevée plus la diminution des protéines est considérable.

L'accumulation des protéines solubles contribue à baisser le potentiel hydrique et préserve la déshydratation de la plante en condition de stress hydrique. Certaines protéines en plus de leur rôle d'osmo-protecteur, jouent aussi un rôle dans le renforcement du système antioxydants et de lutte contre les dommages du stress oxydatif (Ma et al 2006 ; Molinar et al ; 2007).

Ghasempour et *al.*, (2007) in Farshadfar et *al.*, (2008) annoncent qu'au cours d'un stress hydrique les feuilles de blé dur augmentent leurs teneurs en protéines solubles à faible poids moléculaire plus que les protéines à haut poids moléculaire. 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).

En effet, certaines protéines perdent leur configuration native (fonctionnelle) et ont tendance à s'agréger. Ce phénomène est réversible jusqu'à un certain seuil au-delà duquel, il devient irréversible et se généralise dans la cellule qui meurt finalement (Parsell et Lindquist, 1993 ;Gottesman, 1998 ; in Mary, 2003).

D'autre part, une activation d'un certain nombre de protéines de stress a été observée (Georgopoulos *et al.*, 1994 ; Hecker *et al.*, 1996 ; Morimoto, 1998 in Mary, 2003).

Plusieurs recherches, montrent l'existence d'une variabilité dans la teneur en protéines sous l'effet du stress hydrique (**Kumar et Singh., 1991 ; Rai et al., 1983**) La réduction de la teneur en protéines de plantes soumises au stress hydrique est due à l'inhibition de la synthèse des protéines, et à l'accélération du processus de protéolyse ou à un manque en acides aminés (**Dubey & Rani, 1990**).

Selon Zerrad **et al., (2006)** la sécheresse favorise la protéolyse, elle conduit, en conséquence à une diminution de la quantité de protéine de poids moléculaire élevé et à une augmentation de la teneur en protéine soluble et en acide aminé. Ces constatations ont été confirmées par **Gat 1995**), qui a montré que la quantité d'ADN et d'ARN, responsable de la synthèse des protéines, dans les feuilles diminue suite à la condition limitante en eau. En effet en présence d'une contrainte hydrique, la synthèse des protéines est d'une part, inhibée et d'autre part, celle-ci subit une dégradation pour donner lieu à des acides aminés solubles ayant dans certains cas une fonction adaptative telle que « le proline ». Ces acides aminés solubles contribuent à l'augmentation de la teneur en soluté ce qui se traduit par une osmo-régulation plus efficace de la plante.

Etude statistique

L'analyse de la variance (ANOVA) Le test d'analyse de la variance à un critère ou à un facteur de classification consiste à comparer plus de deux moyennes de plusieurs populations à partir des données d'échantillons aléatoires simples et indépendants (Dagnelie, 2006). La réalisation du test se fait soit en comparant la valeur de F_{obs} avec une valeur théorique $F_{1-\alpha}$ extraite à partir de la table F de FISHER pour un niveau de signification $\alpha = 0,05; 0,01$ ou $0,001$ et pour K_1 et K_2 degrés de liberté, soit en comparant la valeur de la probabilité p avec toujours les différentes valeurs de $\alpha = 5\%, 1\%$ ou $0,1\%$. Selon que cette hypothèse d'égalité des moyennes est rejetée au niveau $\alpha = 0,05; 0,01$ ou $0,001$, on dit conventionnellement que l'écart observé est significatif, hautement significatif ou très hautement significatif. On marque généralement ces écarts d'un, deux ou trois astérisques (étoiles) (Dagnelie, 2006). (voir annexe)

CONCLUSION

L'hydratation est un facteur limitant indispensable à la croissance et la productivité des plantes, particulièrement pour le blé qui joue un rôle majeur dans l'alimentation et l'économie du pays. Le travail que nous avons entrepris a permis d'analyser et évaluer l'effet du stress hydrique sur quelques paramètres morpho-physiologique et biochimiques de dix génotypes de blé cultivés au niveau de la station expérimentale de l'INRA de Baraki Alger.

L'étude de comportement et les réponses des génotypes testés vis-à-vis les contraintes hydriques nous permet de comprendre les stratégies et les mécanismes par lesquels ces derniers s'adaptent aux conditions de stress hydrique.

Notre étude a montré que la variété Boussalem et les neufs lignés étudiés sont sensible à l'hostilité de l'environnement abiotique qui limite leur croissance et leur productivité.

Une grande variabilité de la réponse inter-génotypique a été révélée concernant les différents paramètres recherchés. Une diminution importante des variables morphologique : hauteur de la plante et la surface foliaire. En revanche l'examen des résultats des paramètres physiologiques obtenus permet de souligner une diminution variable selon les variétés en ce qui concerne, la teneur relative en eau, endommagement membranaire très important qui se traduit par une synthèse importante du Malonyl dialdéhyde et un abaissement de la teneur en chlorophylle.

Quelques génotypes de blé étudiés ont développé une stratégie basée sur l'accumulation des métabolites (Protéines solubles) comme des osmorégulateurs dans les conditions de déficit hydrique, d'autres une diminution des protéines solubles comme une stratégie différente en favorisant le phénomène de protéolyse.

Références bibliographiques

1. **Acevedo, E., Silva, P., & Silva, H. (2002).** Wheat growth and physiology, In: Curtis, B. C., Rajaram, S., and Macpherson, G. H., Bread wheat. Improvement and Production, Eds. Food and Agriculture Organization, Rome
2. **Albouchi A., Sebei H., Mezni M. Y. & EL Aouni M. H. 2000.** Influence de la durée d'une alimentation hydrique déficiente sur la production de biomasse, la surface transpirante et la densité stomatique d'*Acacia cyanophylla*. *Annales de l'INRGREF*. **4** : 138- 61p.
3. **Allen, C. D., et al . 2010.** A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* **259**: 660– 684
4. **Antwerpen, 2006.** Contribution à l'étude du pouvoir antioxydant de divers agents d'intérêt thérapeutique ; ciblage du système myéloperoxydase, peroxyde d'hydrogène, chlorure. Thèse de doctorat, université libre de Bruxelles.
5. **Atlas BIG 2018** . Production mondiale de blé par pays ,<https://www.atlasbig.com/fr-fr/pays-par-production-de-ble>
6. **Bajji M., Lutts S. & Kinet J-M. 2001.** Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Sci*. **160** : 669 -681p.
7. **Barrs H., 1968.** Determination of water deficit in plant tissues. In: Water Deficit and Plant Growth. **Koslowski T.** Academy Press. New York
8. **Barrs, H.D. and Weatherley, P.E. (1962)** A Re-Examination of the Relative Turgidity Techniques for Estimating Water Deficits in Leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, 15, 413-428.<http://dx.doi.org/10.1071/BI9620413>
9. **Benkolli M. et Bouzeghaia B. 2016.** Etude biochimique de dix variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) Sous l'effet d'un stress oxydatif généré par un stress hydrique. Mémoire. Université. Mentouri. Constantine. P :1-5-23.
10. **Bensemmane L. 2004** : Contribution à l'étude de la cinétique d'accumulation et de répartition de la matière sèche chez le blé dur (*T. durum* Desf.) sous climat méditerranéen. Mémoire magister, Fac. Sci. UFAS 70p.
11. **Bonjean A.P., Angus W.J Ginkel M. & Van. (2016).** The World Wheat Book : A History of Wheat Breeding; Paris: Lav, Vol 3.
12. **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
13. **Bousba R., Ykhlef N. & Djekoun A. 2009.** Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum* Desf). *World Journal of Agricultural Sciences* 5. **5**: 609 -616 p.

14. **Boyd, R., Gintis, H., Bowles, S. & Richerson, P. J. 2003** The evolution of altruistic punishment. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 100, 3531–3535. (doi:10.1073/pnas.0630443100)
15. **Boyeldieu J.1999.**Encyclopédie des techniques agricoles : production végétale-Blé TendreEd : Paris.20-20.
16. **Bradford, M. M.;** *Anal. Biochem.* (1976)
17. **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 PhysiolBiochem* 37: 327– 340
18. **Chaves M.M., Pereira J.S., Maroco J., Rodrigues M.L., Ricardo C.P., Oserio M.L., Carvalho I., Pinheiro C. 2002:** How do plants cope with water stress in field? Photosynthesis and growth. *Ann. Bot.*, 89: 907-916.
19. **Chapman, g.p., 2009.** Grass evolution and domestication. Grass evolution and domestication, xviii + 390 pp.
20. **Chebab S., Belli N.,Leghouchi E., Lahouel M., 2009.**Stress oxydatif induit par deux pesticides ; l'endosulfan et le chlrorpyriphos. *Environnement, risques.*
21. **Clarck& Mac-Caig. 1982.** Excised leaf water relation capability as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. *Can.J .Plant Sci.*62: 571-576 p.
22. **Clark J.M., Norvell W.A., Clark F.R. & Buckley T.W., 2002.** Concentration of cadmium and other elements in the grain of near-isogenic durum lines. *Can. J. Plant Sci./Revue canadienne de phytotechnie*
23. **CLEMENT-GRANDCOURT et PRAT., 1970-** Les céréales. Collection d'enseignement agricole. Bailliers et fils PP360.
24. **CRETOIS A, (1985).** Valeur technologique de quelques variétés de blé. *Bull. Industries des céréales.* P20,26,32.
25. **Carlsen, C.U., and Skibsted, L.H. (2004).** Myoglobin species with enhanced prooxidative activity is formed during mild proteolysis by pepsin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52, 1675-1681.
26. **Dagnelie P., 2006.**Statistique théorique et appliquée. Tomme 2 : inférence à une et deux dimension.Bruxelles-université DE BOECK et LARCIER. pp 625.
27. **Derbal N.2009.**Etude de la variation spatio-temporellede certaines caractéristiques technologiques de quelques variétés de blé dur cultivées en Algérie, Mémoire de Magistère, Option : Biotéchnologievégétale,Deprt.Biologie.Univ.MENTOURI,Constantine:pp 30-45.
28. **Doussinault,G.Kaan, F. Lecomte, C.Monneveux, P. (1992).**Les céréales à paille : présentation générale. In : Gallais A. et Bannerot H. (Eds.), Amélioration des espèces végétales cultivées. Ed. INRA, Paris, pp. 13-21
29. **Dubcovsky, J., & Dvorak, J. (2007).** Genome plasticity a key factor in the success of polyploid wheat under domestication. *Science*, 316 (5833) :1862.
30. **Durand, J. L. (2007).** Les effets du déficit hydrique sur la plante : aspects physiologiques
31. **FAO, 2005.** Utilisation des engrais par culture en Algérie. Service de la gestion des terres et de la nutrition des plantes. Division de la mise en valeur des terres et des eaux. Rome, 2005. 61p
32. **FAO. (2018).** Perspective de récolte et situation alimentaire.

33. **Farooq, M., Siddique, K.H.M., (2015).** Conservation Agriculture : Concepts, Brief History, and Impacts on Agricultural Systems. In : Conservation Agriculture (M. Farooq, K.H.M. Siddique, eds.), Springer International Publishing, Switzerland, pp 3–17.
34. **FES : Friedrich-Ebert-Stiftung ,** le modèle alimentaire en Algérie état des lieux et perspectives évolutions
35. **Farshadfar E., Ghascmpour&Vaezi. 2008.** Molecular Aspectsof drought tolérancein Bread Wheat (*T.aestivum*). *Pakistan Journal of Biological Sciences* 11.1: 118-122 p.
36. **Feillet, P. (2000).** Le grain de blé : composition et utilisation. INRA. Paris
37. **Feldman, M., (2001).** Origin of cultivate wheat. In: Bonjean, A.P., Angus, W.J. (eds.). The world wheat book-A history of wheat breeding. Lavoisier Publishing; Paris; France
38. **Ferryra R., Sellés G., Ruiz R.S. & Sellés I.M. 2004.** Effect of water stress induced at different growth stages on grapevine cv. Chardonnay on production and wine quality. *Acta Hort.*664: 233-236p.
39. **Foyer C.H., Trebst A. & Noctor G. (2005)** Signaling and integration of defense functions of tocopherol, ascorbate, and glutathione. In *Photoprotection, Photoinhibition, Gene Regulation, and Environment* (eds B. Demmig-Adams & W. W. Adams), pp. 00– 00. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, in press.
40. **Funes V Alhama J, Navas JL, Inpez Barea J, Peinado J., 2006.**Ecoroxicologicaletrects of metal pollution in two mollusk species liom the Spanish south adantic littoral Environmental pollution. 139,214, 223.
41. **Gate, P.H., (1995).** Ecophysiologie du blé ; Technique et documentation : Lavoisier, Paris
42. **Granier C., Inzé D. & F. Tardieu. 2000.** Spatial distribution cell division rate can be deduced from that of P34cdc2 kinase activity in maize leaves grown in contrasting conditions of temperature and water status. *Plant Physiol.* **124**:1393-1402 p.
43. **Guettouche, R. (1990).** Contribution à l'identification des caractères morphophysiologiques d'adaptation à la sécheresse chez le blé dur (*Triticumdurum*Desf). Thèse diplôme d'agronomie approfondie.
44. **Guichardant M., Vallete-Talbi L., Cavadini C. et al. 1994.** Malon-dialdehyde measurement in urine. *Journal of Chromato-graphy B: Biomedical sciences and Applications*, 655, 112-116.
45. **Hamed M. (1979).**Plantes et culture des cultures céréalières, les cultures légumineuses. Syrie.
46. **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
47. **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.
48. **Hireche. 2006.** Répense de la luzerne *Médicago sativa* (L) au stress hydrique et à la Profondeur du semis.Thèse de Magister.Univ. *EL Hadj Lakhdar*. Batna :83 p.
49. **Hopkins., 2003.** Physiologie végétale. Ed. Révision scientifique de Charles. Marie Evard.
50. **INRA. (2000).** La résistance des plantes à la sécheresse. Centre de Montpellier
51. **Irigoyen J.J., Emerich D.W. & Sanchez-Diaz M. 1992.** Alfalfa leaf senescence induced by drought stress: photosynthesis, hydrogen peroxide metabolism, lipid peroxidation and ethylene evolution. *Physiologia Plantarum*, 84, 67-72.

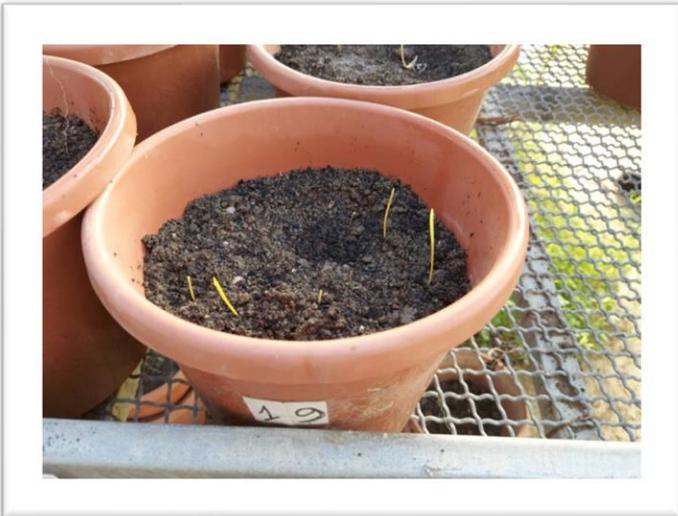
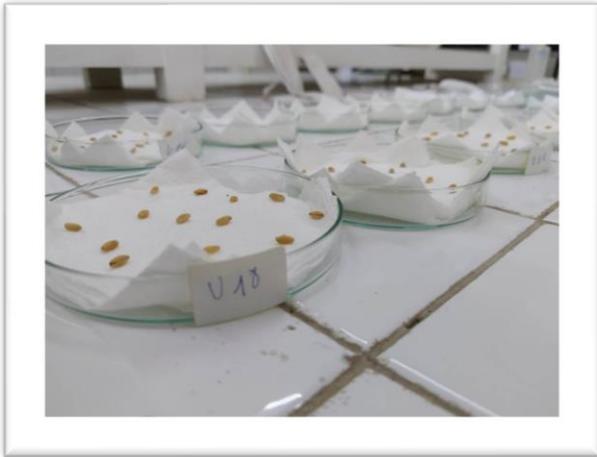
52. **Jangpromma N., Kitthaisong S., Daduang S., Jaisil P. &Thammasirirak S. 2007.** 18KDa protein accumulation in sugarcane leaves under drought stress conditions. *kmitl.Sci. Tech. J.7*: 27- 44 p.
53. Jiang Y. & Huang B. 2001. Drought and heat injury to two cool-season turf grasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Science*, 41, 436-442.
54. **Kadi, Z., Adjel, F., &Bouzerzour, H. (2010).**Analysis of the genotype X environment interaction of barley grain yield (*Hordeul vulgare* L.) cultivars. *Adv. Environ. Biol*
55. **KASMI FATIMA ZOHRA 2018** Analyse Multivariée et Applications, P29
56. **Katsuhara M., Otsuka T. & Ezaki B. 2005.** Salt stress-induced lipid peroxidation is reduced by glutathione S-transferase, but this reduction of lipid peroxides is not enough for a recovery of root growth in *Arabidopsis*. *Plant Science*, 169, 369-373.
57. **Laala, Z. (2010).** Analyse en chemin des relations entre le rendement en grains et les composantes chez des populations F3 de blé dur (*Triticumdurum*Desf.) sous conditions semi-arides. Mémoire de magister, Faculté des Sciences, Département d'Agronomie. Université Ferhat Abbas, Sétif.
58. **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
59. **Lebon E., Pellegrino A., Tardieu F. & Lecoeur J. 2004.** Shoot development in grapevine is affected by the modular branching pattern of the stem and intra and inter-shoot trophic competition. *Annals of Botany*. **93** :263 -274 p.
60. **Ledoigt G., Coudret A. (1992).** Stress hydrique : étude des mécanismes moléculaires et des modifications del'expression du génome. Bulletin de la Société Botanique de France. Lettres Botaniques, 139 (2) : 175-190
61. **Levy, A. A., & Feldman, M. (2002).**The impact of polyploidy on grass genome evolution. *Plant Physiol*
62. **Ma QQ., Wang W., Li Y.H. et al. 2006.**Alleviation of photo-inhibition in drought-stressed wheat (*Triticum aestivum*) by foliar-applied glycinebetaine. *Journal Plant Physiology*, 163, 165-75.
63. **Mac Key, J. (2005).** Wheat: Its concept, evolution, and taxonomy
64. **MADR. (2018).** Annuaire statistiques du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Série B
65. **Mary I. 2003.** Mécanismes moléculaires de la réponse aux stress environnementaux chez la cyanobactérie marine *prochlorococcus*. Biologie .Univ. Rennes :147p.
66. **May, L. H., Milthorpe, E. J. & Milthorpe, F. L. (1962).** Pre-sowing hardening of plants to drought. *Field Crop Abstracts* 15, 93–98.
67. **Molinari H.B.C., Marur C.J., Daros E. et al. 2007.** Evaluation of the stress-inducible production of proline in transgenic sugarcane (*Saccharum* spp.): osmotic adjustment, chlorophyll fluorescence and oxidative stress. *Plant Physiology*, 130, 218-229.
68. **Monk L.S., Fagerstedt K.V. &Crowfold R.M.M. 1989.** Oxygen toxicity and superoxide dismutase as an antioxidant in physiological stress. *Plant Physiology*, 76, 456-459.
69. **Monneveux, P.,(1991).** Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver ? In : Chalbi, Demarly Y, eds. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Tunis : AUPELF-UREF, John LibbeyEurotext, Paris

70. **Mouellef A., 2010.** Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Thèse de Magistère Université Mentouri Constantine
71. **Moule C. 1998.** Céréales technique d'avenir, pyrotechnies spéciale, Bases Scientifique et techniques de la production des principales espèces de grande culture en France, Ed : la maison rustique, Paris, 313p.
72. **Nouri L. 2002.** Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum*, Desf), en condition de déficit hydrique. Thèse de Magistère en Biologie végétale Univ *Mentouri*. Constantine. 77p.
73. **Ohkawa H., Ohishi N. & Yagi K. 1979.** Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. *Analytical Biochemistry*, 95, 351-358.
74. Pamplona R, Portero-otín, M .Riba D. Thorpe S. R., Lopez Torres M., 2000 Low fatty acid unsaturation; a mechanism for lowered lipoperoxidative modification of tissue proteins in mammalian species with long life spans. *J. Gerontol. A. Biol. Sci, Med, Sci*, 55 286 291P
75. **Pamplona R.,** Barja G., Portero-Otín M. Membrane fatty acid unsaturation, protection against oxidative stress, and maximum life span: A homeoviscous-longevity adaptation? *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 2000;959:475–490
76. **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. www.regional.org-au/au/cs
77. **Philippe Girardin. Ecophysiologie du maïs.** AGPM - Association Générale des Producteurs de Maïs, 323 p., (1999).
78. **Pindard, A. (2000)** – La relation stress hydrique- rendement du maïs- utilisation d'un simulateur de culture. Mémoire d'ingénieur d'Agronomie. P 7-42.
79. **Pitwschke A., Forzani C. et Hirt H., 2006.** Reactive oxygen species signaling in plants antioxydants redox signal 8(9-10), 1757-64
80. **Robert, D., Gate, P., & Couvreur, F. (1993).** Les stades du blé. Editions ITCF.
81. **Ruel, T. (2006).** Document sur la culture du blé, édition Educagri.
82. **Sairam R.K., Srivastava G.C., Agarwal S., Meena R.C. (2005)** Differences in antioxidant activity in response to salinity stress in tolerant and susceptible wheat genotypes, *Biol. Plant.* 49, 85–91.
83. **Scofield T., Evans J., Cook M.G. & Wardlow I.F. 1988.** Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Aust.J. Plant physiol.* 4: 785 - 797 p.
84. **Siakhène N. 1984.** Effet du stress hydrique Sur quelques espèces de luzerne Annuelle. Mémoire INA. El Harrach : 90 p.
85. **Singh, N. K., & K.W. Shepherd . 1988.** Linkage mapping of genes controlling endosperm storage protein in wheat. 1. Genes on the short arms of group 1 chromosomes. *Theor. Appl. Genet.*, 75 (4): 628-641 .
86. **Slama A., Ben Salem M., Ben Naceur M. & Zid E.D. 2005.** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. Institut national de la recherche agronomique de Tunisie (Inrat). Univ. Elmanar. Tunisie. (http://www.john-libbeyeurotext.fr/fr/revues/agro_biotech/sec/e-docs/00/04/11/2E/telecharger.md).
87. **Spagnoletti-Zeuli, T. L., & Qualset, P. O. (1990).** “Flag leaf variation and the analysis of diversity in durum wheat”, *Plant Breeding*

88. **Tahri, E., Belabed, A., & Sadki, K. (1997).** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Bulletin de l'Institut Scientifique. Rebat
89. **Terre.net Site d'internet** <https://www.terre-net.fr/observatoire-technique-culturale/strategie-technique-culturale/article/melanges-de-varietes-quels-avantages-en-attendre-217-101598.html>
90. **Turner, N. C. (1979).** Drought resistance and adaptation to water
91. **Vansant G. (2004)** Radicaux libres et antioxydants : principes de base. Ed Institut Danone. P76
92. **Vavilov, N.I., (1951).** The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. *Chronica Botanica*, pp:1-351 (translated from Russian by Chester K.S.).
93. **W. F. Harrington, P. Johnson and R. H. Ottewill,** "Bovine Serum Albumin and its Behaviour in Acid Solution", *Biochemical Journal*, 62, 4 (1956) 569 - 582
94. **Zeghida A., Amrani R., Djennadi F., Ameroun R., Khldoun A.A. & Belloucif M. 2004.** Etude de la variabilité de réponse des plantules de blé dur (*Triticum durum* Desf) à la salinité. *Céréaliculture*. ITGC. 42. Constantine : 5p.
95. **Zerrad W., Hillali S., Mataoui B., El Antri S. & Hmyene A. (2006).** Etude comparative des mécanismes biochimiques et moléculaires de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. *Biochimie, Substances naturelles et environnement*. Congrès international de biochimie. Agadir.
96. **Zhang J. & Kirkham M.B. 1994.** Drought-stress induced changes in activities of superoxide dismutase, catalase and peroxidases in wheat leaves. *Plant and Cell Physiology*, 35, 785-791.

Annexes

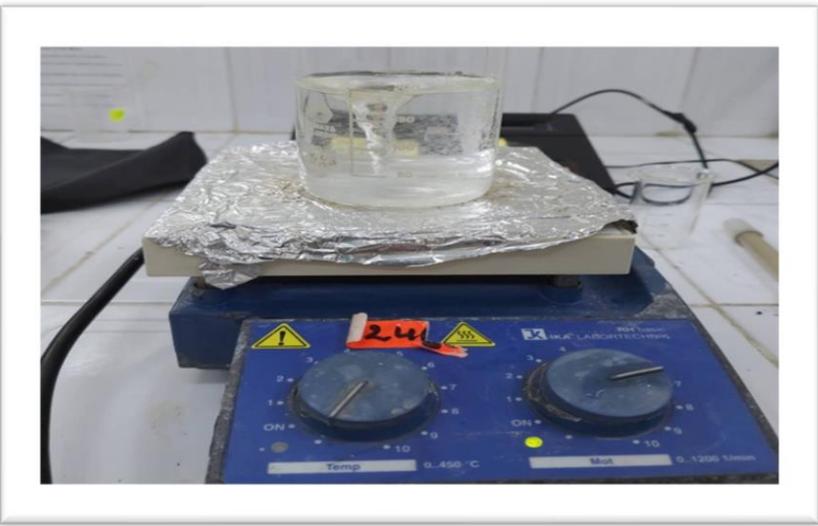
Sélection de lignés, ensemencement et germination



Mesure de la teneur en eau



Préparation du réactif Bradford



Dosage du Malondialdéhyde (MDA)



L'appareil SPAD (MINOLITA502)

Etudes statistiques

Variate: Protéines_mg/g_MVF

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Bloc stratum	2	0.669	0.334	0.19	
Bloc.*Units* stratum					
Genotypes	9	115.774	12.864	7.43	<.001
Regime_hydrique	1	59.229	59.229	34.20	<.001
Genotypes.Regime_hydrique					
	9	148.690	16.521	9.54	<.001
Residual	38	65.810	1.732		
		Total 59	390.172		

Tables of means

Regime_hydrique	control	stress
	10.73	8.74

Genotypes	Regime_hydrique	control	stress
BOUSSELEM		11.25	6.61
V10		4.76	10.56
V12		11.93	10.48
V15		10.88	9.59
V16		9.35	9.75
V18		8.83	5.80
V19		12.13	7.62
V23		12.05	9.67
V3		14.95	8.87
V7		11.16	8.46

Variate: MDA $\mu\text{mol/g}$

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Bloc stratum	2	1244.	622.	0.58	
Bloc.*Units* stratum					
Genotype	9	8884.	987.	0.92	0.517
regime_hydrique	1	20810.	20810.	19.44	<.001
Genotype.regime_hydrique	9	11196.	1244.	1.16	0.346
Residual	38	40672.	1070.		
Total	59	82807.			

Tables of means

regime_hydrique	control	stress
	23.66	60.90

Genotyperegime_hydrique	control	stress
BOUSSELAM	12.26	109.46
V10	14.84	29.89
V12	32.69	83.87
V15	26.24	59.14
V16	8.60	69.03
V18	33.76	24.73
V19	25.59	49.25
V23	31.83	78.71
V3	19.14	45.59
V7	31.61	59.35

Variate: HT_cm

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Bloc stratum	2	246.45	123.22	2.05	
Bloc.*Units* stratum					
Genotypes	9	509.97	56.66	0.94	0.500
Regime_hydrique	1	169.68	169.68	2.82	0.101
Genotypes.Regime_hydrique	9	935.87	103.99	1.73	0.115
Residual	38	2282.69	60.07		
Total	59	4144.65			

Tables of means

Regime_hydrique	control	stress
	51.08	47.71

GenotypesRegime_hydrique	control	stress
BOUSSELEM	50.56	38.61
V10	49.89	55.94
V12	50.67	44.00
V15	53.67	49.61
V16	44.06	49.92
V18	55.02	37.56
V19	47.68	53.63
V23	55.69	46.20
V3	52.42	55.37
V7	51.11	46.29

Variate: Chlorophylle

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Bloc stratum	2	316.37	158.19	2.53	
Bloc.*Units* stratum					
Genotypes	9	402.58	44.73	0.72	0.691
Regime_hydrique	1	554.50	554.50	8.87	0.005
Genotypes. Regime_hydrique	9	260.09	28.90	0.46	0.590
Residual	38	2374.67	62.49		
Total	59	3908.20			

Tables of means

Regime_hydrique	control	stress
	49.9	43.8

Genotypes	Regime_hydrique control	stress
BOUSSELEM	52.6	43.5
V10	50.2	41.7
V12	50.2	49.7
V15	47.7	44.2
V16	51.8	52.6
V18	52.6	40.2
V19	51.9	42.0
V23	48.9	39.6
V3	48.3	43.2
V7	44.2	41.0

Variate: TRE_RWC_%_2 TRE_RWC_%

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Bloc stratum	2	3825.6	1912.8	3.87	
Bloc.*Units* stratum					
Genotype	9	3307.7	367.5	0.74	0.667
regime_hydrique	1	12841.3	12841.3	25.98	<.001
Genotype.regime_hydrique	9	6325.3	702.8	1.42	0.213
Residual	38	18784.5	494.3		
Total	59	45084.5			

Tables of means

regime_hydrique	control	stress
	67.3	38.1

Genotyperegime_hydrique	control	stress
BOUSSELAM	61.2	34.8
V10	70.3	37.4
V12	49.4	72.1
V15	75.1	63.0
V16	63.4	29.4
V18	63.3	35.3
V19	65.4	26.9
V23	78.2	34.9
V3	70.4	16.4
V7	76.6	30.5

Variate: SF_cm2

Source of variation	d.f.(m.v.)	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Bloc stratum	2	228.59	114.30	2.63	
Bloc.*Units* stratum					
Genotypes	9	541.82	60.20	1.39	0.229
Regime_hydrique	1	1934.43	1934.43	44.55	<.001
Genotypes.Regime_hydrique	9	367.47	40.83	0.94	0.5%
Residual	37 (1)	1606.64	43.42		
Total	58 (1)	4676.22			

Tables of means

Regime_hydrique	control	stress
	25.21	13.86

GenotypesRegime_hydrique	control	stress
BOUSSELEM	21.66	19.33
V10	20.89	17.31
V12	24.79	14.05
V15	27.21	9.13
V16	22.01	10.23
V18	29.84	20.28
V19	25.47	12.27
V23	33.65	15.72
V3	24.66	10.91
V7	21.96	9.35