

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE des sciences

DEPARTEMENT des Science de la Nature
et de la Vie (SNV)

N° :



DOMAINE : Science de la Nature et de la
Vie

FILIERE : BIOLOGIE

OPTION : BIOTECHNOLOGIES
VEGETALES ET METAGENOMIQUE

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par: FOUJILI Douaa et GASMI Asma

Intitulé

**Stress de la sécheresse chez quatre variétés du
blé dur (*Triticum durum* Desf.) : Un examen sur
quelque caractéristiques morphologiques et
sur les pigments.**

Soutenu devant le jury composé de:

Mr. BENDIF Hamdi	M.C.A- Université M ^{ed} BOUDIAF-M'SILA	Président
M. KHALFA Hanane	M.A.A- Université M ^{ed} BOUDIAF-M'SILA	Rapporteur
Mr. MERABTI Karim	M.A.A- Université M ^{ed} BOUDIAF- M'SILA	Examineur

Année universitaire : 2016/2017

Remerciements

الحمد لله الذي هدانا لهذا وما كنا لنهتدي لولا ان هدانا الله

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

Nous remercions vivement notre encadreur : M.KHALFA Hanane pour avoir accepté de diriger ce travail, pour son aide, sa compréhension et ses conseils tout au long de ce travail.

Nous exprimons mes remerciement aux honorables membres de jury :

Mr. BENDIF Hamdi et Mr. MERABTI Karim

pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger notre travail.

Nous tenons à adresser mes remerciements à Monsieur SGHIRI Kamel chef des laboratoires de département SNV d'Université de M'sila .

Nous tenons à remercier L'équipe du laboratoire de Biotechnologies Végétales et Métagénomique.

Mes remerciements s'adressent également à tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail.

Dédicace

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents : Mouloud et Nassira

Sources de mes joies, secrets de ma force

Vous serez toujours le modèle

Papa, dans ta détermination, ta force et ton honnêteté

Maman dans ta bonté, ta patience et ton dévouement pour Nous

Merci pour tous vos sacrifices pour que vos enfant Grandissent et prospèrent

Merci de trimer sans relâche, malgré les péripéties de la vie

Merci d'être tout simplement mes parents

C'est à vous que je dois cette réussite

Et je suis fière de vous l'offrir

A mes frères : Haroun et Ayyoubb

A mon sœur Hadjer

En témoignage de l'attachement, de l'amour et de

L'affection que je porte pour vous

A tous ma famille

A mes enseignants

A mes amies mon binôme Douaa, Iman, Kawla, Fatima, Nadjat, Kawla,

Manal, Marwa, Omelkhair, Karima et mes camarades

A ma promotion de 2eme Master Biotechnologies végétales et Métagénomique

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce

Projet soit possible, je vous dis merci.

Asma

DEDICACES

Je dédie ce travail à

*Mes chers parents Kamel et Mobaraka qui sacrifient toute
leur vie pour moi*

Ma sœur Ifradj

Mes frères Abdelmoumen , Oubida, Chaker et Mohcine

Mon grande père et ma grande mère

Et tout ma grande famille

*Mes chers amis : Djouiriya, Hanane, Hadda, Nadja, Iman,
Souade, ,Samia, Ghania, Souhila, Rania.*

Tous mes voisines du bloque C

Tous mes collègues de spécialité de Biotechnologie

*Végétale et Méta génomique qui font notre équilibre, pour
leur présence dans notre vie.*

Douaa

Liste des Abréviations

CC	: Capacité au champ
Chl a	: Chlorophyll a
Chl b	: Chlorophyll b
Chl a+b	: Chlorophyll a+b
CIC	: Conseil International des Céréales.
Do	: Densité optique
FAO	: Food and Agriculture Organization
INRA	: Institut National de Recherche Agronomique
ITGC	: Institut Technique de Grande cultures
J.C	: Jésus Christ
MF	: Matière fraîche
Pf	: Poids frais
PS	: Poids sec
PT	: Poids de la pleine turgescence
PSII	: Photosynthèse II
qx/ha	: Quintaux/hectare
SF	: Surface foliaire
TRE	: Teneur relative en eau

Liste des Figures

Figure 01 :	Histologie du grain du blé	14
Figure 02 :	Stades repères Cycle de développement de blé dur	18
Figure 03 :	Dispositif expérimentale de l'essai de germination	21
Figure 04 :	Dispositif expérimentale de l'essai de croissance.	22
Figure 05 :	Quelques étapes durant la mesure de la teneur relative en eau	24
Figure 06 :	Quelques étapes durant la mesure de la teneur en Chl a, Chl b et caroténoïdes	25
Figure 07 :	Variation du taux de germination des différentes variétés, en fonction du temps.	27
Figure 08 :	Longueur des racines de variétés étudiées dans différents niveaux de stress hydrique.	28
Figure 09 :	Effet du stress hydrique sur le nombre de racines.	30
Figure 10 :	L'évaluation de la surface foliaire des quatre génotypes de blé dur soumis aux différents niveau du stress hydrique.	31
Figure 11 :	Effet du stress hydrique sur la teneur relative en eau de variétés étudiés.	34
Figure 12 :	Teneur en chlorophylle a (Chl a) des feuilles des plantes des variétés étudiés conduites sous différents niveaux de stress hydrique.	36
Figure 13 :	Teneur en chlorophylle b (Chl b) des feuilles des plantes des variétés de blé conduites sous différents niveaux de stress hydrique.	37
Figure 14 :	Teneur en chlorophylle totale (Chl a + Chl b) des feuilles des plantes des variétés de blé conduites sous différents niveaux de stress hydrique.	37
Figure 15 :	Teneur en caroténoïdes des feuilles des plantes des variétés de blé conduites sous différents niveaux de stress hydrique	39

Liste des Tableaux

Tableau 01 :	Classification du blé dur	13
Tableau 02 :	Les géotypes étudiés et leurs origines.	19
Tableau 03 :	Moyenne globale des paramètres étudiées.	29

SOMMAIRE

INTRODUCTION	01
Chapitre I. Synthèse Bibliographique	
I.1. Stress de la sécheresse	03
I.1.1. L'eau dans la plante	03
I.1.2. Notion de stress	03
I.1.3. Le stress hydrique	04
I.1.4. La sécheresse	04
I.1.5. Influence du déficit hydrique sur les plantes	05
I.1.6. Influence du déficit hydrique sur le rendement du blé dur	06
I.1.7. Mécanisme d'adaptation des plantes au déficit hydrique	06
I.1.7.1. Adaptation phénologique	07
I.1.7.2. Adaptation morphologique	07
I.1.7.2.1. Au niveau de la plante	07
I.1.7.2.2. Au niveau structurel	08
I.1.7.3. Adaptation physiologique	08
I.2. Présentation de l'espèce étudiée	10
I.2.1. Historique	10
I.2.2. Description générale de la plante	11
I.2.2.1. L'appareil aérien	11
I.2.2.2. L'appareil racinaire	11
I.2.2.3. L'appareil reproducteur	11
I.2.3. Importance économique et distribution du blé dur	12
I.2.3.1. Dans le monde	12
I.2.3.2. Situation en Algérie	12
I.2.4. Classification botanique	13
I.2.5. Biologie et cycle de développement du blé	13
I.2.5.1. Caractères morphologiques	13
I.2.5.1.1. Composition histologique et biochimique du grain du blé	13
I.2.5.1.1.1. Les enveloppes	14
I.2.5.1.1.2. L'endosperme	15
I.2.5.1.1.3. Le germe	15

I.2.5.2. Exigences du blé.....	15
I.2.5.2.1. Température.....	15
I.2.5.2.2. L'eau.....	16
I.2.5.2.3. Fertilisation.....	16
I.2.5.3. Cycle de développement.....	16
I.2.5.3.1. Germination.....	16
I.2.5.3.2. Levée.....	16
I.2.5.3.3. Tallage.....	17
I.2.5.3.4. Montaison.....	17
I.2.5.3.5. Epiaison.....	17
I.2.5.3.6. Maturation.....	17

Chapitre II. Matériels et Méthodes

II.1. Objectif de l'expérimentation.....	19
II.2. Présentation de la région d'étude.....	19
II.2.1. Localisation géographique.....	19
II.3. Matériels végétales.....	19
II.4. Dispositif expérimental.....	20
II.4.1. Test de germination.....	20
II.4. 2. Préparation des pots et le semis.....	21
II.5. Détermination et application des niveaux de stress.....	22
II.6. Paramètres étudiées.....	23
II.6.1. Paramètres morphologiques.....	23
II.6.1.1. Longueur des racines.....	23
II.6.1.2. Nombres des racine.....	23
II.6.1.3.Surface foliare (SF« cm²».....)	23
II.6.2. Paramètres physiologiques.....	23
II.6.2.1.Teneur relative en eau (TRE).....	23
II.6.2.2. Dosage des pigments chlorophylliens.....	24
II.7. Traitement et analyse statistique.....	26

Chapitre III. Résultats et Discussions

III.1.Taux de germination.....	27
---------------------------------------	-----------

III.2. Variation des paramètres morphologiques.....	27
III.2.1.Action du déficit hydrique sur la longueur des racines.....	27
III.2.2. Action du déficit hydrique sur le nombre des racines.....	29
III.2.3. Action du déficit hydrique sur la surface foliaire.....	30
III.3. Variation des paramètres physiologiques.....	33
III.3.1. Action du déficit hydrique sur la teneur relative en eau.....	33
III.3.2. Action du déficit hydrique sur la teneur en pigments chlorophylliens.....	35
III.3.2.1.Teneur en chlorophylle a, Chlorophylle b et la chlorophylle total.....	35
III.3.2.2.Teneur en caroténoïdes.....	38
Conclusion.....	41
Références bibliographiques.....	42
Annexe	
Résumé	



Introduction

Introduction

Depuis toujours, les céréales constituent une importante des ressources alimentaires de l'homme et de l'animale. Les céréales occupent à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole (**Slama et al., 2005**). Ils sont des plantes, principalement de la famille des Graminées. Ces plantes ont en commun des hauts rendements, des principes énergétiques importants ainsi que des durées de conservation des graines très longues (**Feillet, 2000**).

Parmi ces céréales, Le blé occupe la première place pour la production mondiale et la deuxième après le riz, comme source de nourriture pour les populations humaines, il assure 15% de ses besoins énergétiques (**Bajji, 1999**).

La culture du blé et particulièrement celle du blé dur constitue une filière agricole importante dans l'économie nationale. La superficie emblavée par cette espèce, à chaque campagne s'évalue à un millions d'hectares (**Zitouni, 2006**).

En Algérie, une grande partie des terres situées dans les régions arides et semi-arides est occupée par les céréales dont les rendements restent faibles et irréguliers. La culture de blé dur, y occupe une superficie importante, plus d'un million d'hectares (**Benlaribi, 1990**). Cette culture est conduite sous conditions pluviales. Elle est soumise à la variabilité climatique qui se traduit par des contraintes hydriques et thermiques erratiques, notamment dans l'étage bioclimatique semi-aride qui se caractérise par de larges fluctuations spatio-temporelles des quantités de pluies (200 à 600 mm/an) et des températures (**Benseddik et khelloufi, 2000**).

Les stress environnementaux, notamment le stress hydrique, limitent sérieusement la croissance des plantes ainsi que la productivité végétale (**Wang et al., 2003**). En Algérie, la production nationale en blé dur est encore faible (**Allaya, 1998**). La cause principale de cette faiblesse est le bas niveau de productivité (le rendement) obtenu, soit 9 à 11 qx/ha (**Hamadache et al., 2002**). Cette faible productivité est elle-même due à des contraintes abiotiques surtout le stress hydrique (**Kara et al., 2000**). On note dans ce contexte que la sécheresse, présente le principal facteur abiotique, responsable des irrégularités des rendements et de leur faiblesse (**Schiefelbein et al., 1997**).

La recherche d'une meilleure adaptation à la variation environnementale est devenue une nécessité pour stabiliser les rendements de ces régions (**Benmahammed et al., 2010**).

La capacité d'évaluer quantitativement les performances des plantes cultivées subissant un stress hydrique est très importante au niveau des programmes de recherche qui visent la réhabilitation et l'amélioration de la production en région semi-aride (**INRA, 2000**).

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 d'étudier, d'identifier et de vérifier les caractères phénologiques, morphophysologiques et biochimiques liés au rendement en condition de stress hydrique (**Pfeiffer et al., 2000**).

Pour répondre à cette préoccupation, Ce travail a pour objectif d'étudier les effets de stress hydrique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.), et de comparer entre les variétés étudiés vis-à-vis la tolérance aux séchresse, ceci par la mesure de certains caractères morphologiques et physiologiques sous déférents conditions de stress hydrique.

Notre mémoire est présenté en trois chapitre :

Le premier chapitre (I) a été réservée à une étude bibliographique, pour cerner toutes les données de la problématique par l'étude des différents aspects de déficit hydrique et les mécanismes d'adaptation des plantes à cette contrainte, suivie par une présentation et description de l'espèce étudiée ainsi que son importance économique et leur distribution.

Le deuxième chapitre (II) a porté sur une description du matériels Végétaux, les conditions de culture et les méthodes d'analyse utilisées dans ce travail.

le troisième chapitre (III), fait l'objet de la présentation des résultats et leur discussions obtenus lors dans cette étude.

Le mémoire est achevé, par une conclusion et des perspectives, suivies de la liste de références bibliographiques et des annexes.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

Chapitre I. Synthèse bibliographique

I.1 Stress de la sécheresse

I.1.1. L'eau dans la plante

L'eau a un rôle fondamental dans la vie des plantes. Dans la mesure où elle conditionne leurs activités physiologiques et métaboliques. Elle est le vecteur des éléments nutritifs de la plante (**Riou, 1993**).

Les rôles multiples assurés par l'eau au sein des plantes ont fait le premier facteur de limitant leur fonctionnement. Parmi ces rôles nous pouvons situer (**Laberche, 2004**).

- l'eau contribue au maintien de la structure de la cellule et en particulier de la structure colloïdale du cytoplasme.
- elle intervient dans les réactions métaboliques comme l'hydrolyse ou la photosynthèse, elle est donc en ce sens un aliment pour le végétal.
- elle véhicule les nutriments minéraux et les produits du métabolisme.
- par son rejet dans l'atmosphère sous forme de vapeur, elle emprunte à la plante sa chaleur latente de vaporisation. Elle permet à celle-ci de supporter les rayonnements solaires et les divers échauffements climatiques.

La richesse en eau des plantes est variable selon les espèces, les organes et les milieux de vie. En effet, une salade peut contenir 90 à 93 % d'eau, une feuille est composée souvent de 80 à 90 % d'eau et le bois fraîchement coupé peut renfermer 30 à 50 % d'eau (**Leclerc, 1999**). Il faut 1500 litres pour obtenir 1kg de blé, 500 litres d'eau pour 1kg de maïs et 4500 litres d'eau pour 1kg de riz (**Bernard, 2006**).

Un manque d'eau au niveau du sol peut affecter le contenu en eau de feuille, le transport et l'accumulation des éléments nutritifs et par la même la croissance des plantes cultivées annuelles (**Nana et al., 2010**).

I.1.2. Notion de stress

Selon les définitions, le stress chez les plantes apparaît avec des significations différentes en biologie, qui convergent principalement en attribuant le stress à n'importe quel facteur environnemental défavorable pour une plante (**Levitt, 1980**). **Tsimilli-Michael et al., (1998)** considèrent que le stress a une signification relative, avec un contrôle comme état de référence, ils considèrent le stress comme une déviation du contrôle à une contrainte.

Selon **Jones et al., (1989)** un stress désigne à la fois l'action d'un agent agresseur et les réactions qu'il entraîne dans l'organisme agressé, une force qui tend à inhiber les systèmes normaux.

D'autre part, les stress environnementaux nés de la fluctuation des facteurs abiotiques (sécheresse, salinité, température) affectent les conditions de croissance, le développement et le rendement des plantes (**Madhava Rao et al., 2006**).

I.1.3. Le stress hydrique

Le stress hydrique a été défini comme une baisse ou un excès de la disponibilité de l'eau dans le milieu d'installation de telle culture, traduisant par une réduction de la croissance de la plante et/ou de sa reproduction par rapport au potentiel du génotype. La contrainte hydrique est le facteur ou l'ensemble des facteurs ayant pour conséquence le stress. D'autres auteurs limitent la définition du stress aux seules conditions correspondant à une hydratation suboptimale des tissus (**Lamaze et al., 1994**).

C'est un problème sérieux dans beaucoup d'environnements arides et semi arides où les précipitations changent d'année en année et où les plantes sont soumises à des périodes plus ou moins longues de déficit hydrique (**Boyer, 1982**).

Le manque d'eau peut se manifester aussi bien dans le sol que dans l'atmosphère (**Veselovsky, 1985**). Généralement, la sécheresse du sol est lente (**Larcher, 1995**). Mais la diminution de l'humidité de l'air peut parfois être rapide (**Yokota et al., 2006**). D'un point de vue physique le stress hydrique résulte d'un abaissement du potentiel hydrique dans l'air et/ou dans le sol en dessous d'une certaine valeur, dépendant du génotype, du phénotype et des caractéristiques du milieu (type de sol, température et du vent) (**Lamaze et al., 1994**).

I.1.4. La sécheresse

Plusieurs définitions ont été données à la notion de sécheresse. Il n'y a pas une définition commune au concept de la sécheresse. Bien entendu, il est retenu que la sécheresse est un déficit en eau comparée à une situation considérée normale pour les plantes (**Daaloul et al., 2014**).

La notion de sécheresse a toujours été assimilée à la notion de stress hydrique. La sécheresse définit l'état pénurie hydrique dont souffre un végétal (**Morizet, 1984**).

Selon **De Raissac (1962)**, il y a sécheresse dès que l'eau devient facteur limitant de la croissance et du rendement.

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 production des zones arides et semi-aride (**Chenaffi et al., 2006**).

Ce stress se traduit par une série de modification qui touche les caractères morphologiques, physiologiques et biochimiques, à partir du moment où les besoins en eau de la plante sont supérieurs aux quantités disponibles (**Mefiti et al., 2000**).

I.1.5. Influence du déficit hydrique sur la plante

Les stress abiotiques, notamment le stress hydrique, limitent sérieusement la croissance des plantes ainsi que la productivité végétale (**Wang et al., 2003**). Le déficit hydrique constitue un important facteur limitant pour la production des cultures céréalières dans les zones arides et semi-arides (**El Mouride et al., 1996**) qui se caractérisent par une forte irrégularité des précipitations (**Boutfirass et al., 1994**).

Le climat méditerranéen est caractérisé par des périodes de sécheresse erratiques imprévisibles, ce qui limite considérablement les productions végétales et celle des céréales en particulier (**Adda et al., 2005**).

Chaque année, les surfaces perdues à cause des stress hydrique et salin varient autour de 20 millions d'ha dans le monde. En Algérie, la rareté et le caractère irrégulière des précipitations (200 à 600 mm/an) peuvent être les facteurs d'une perte partielle ou totale de production, en particulier dans le cas des céréales.

L'effet du stress dépend de son degré, sa durée, le stade de développement de la plante, le génotype et son interaction avec l'environnement (**Yokota et al., 2006**).

Chez le blé dur, le déficit en eau affecte son développement et ralentie son taux de croissance, ceci engendre un faible tallage, une réduction de la surface foliaire (**Legg et al., 1979**), ceci se traduit par réduction de biomasse finale (**Villegas et al., 2001**). La répercussion du déficit hydrique se traduit par la diminution de la matière sèche durant la période végétative et reproductrice et par conséquent diminue les rendements (**Tanner et Sinclair, 1983**).

Le déficit hydrique n'affecte pas seulement la partie aérienne, mais la partie racinaire prend aussi sa place. La répercussion se traduit par ralentissement de la croissance du système racinaire (**Benlaribi et al., 1990**). Le blé dur met en place un système racinaire très développé dans le cas d'un déficit hydrique, ce qui a une conséquence sur les produits photosynthèse qui seront détournés la production de grain (**Baldy, 1973**).

Selon **Meyer et Alston, (1978)** le rendement du blé dépend essentiellement à la configuration du système racinaire et la disponibilité en eau.

Le déficit hydrique peut affecter la durée des stades de croissance, en effet la durée du cycle de semis à l'anthèse se raccourcit au fur et à mesure qu'augmente le déficit hydrique, particulièrement le stade de floraison qui se manifeste par sa diminution (**Garcia Del Moral et al., 2003**).

I.1.6. Influence du déficit hydrique sur le rendement du blé dur

Un stress hydrique se traduit par une réduction de la croissance de la plante et de sa production par rapport au potentiel du génotype. Un stress hydrique précoce affecte en parallèle la croissance des racines et des parties aérienne, le développement des feuilles et des organes reproducteurs (**Debacke et al., 1996**). Le rendement en grains chez le blé dépend fortement du nombre de grain par épi, du poids de grains par épi et du nombre d'épi par m² (**Triboï, 1990**).

L'effet du déficit hydrique sur ces composants et par conséquent sur le rendement, dépend du stade au cours duquel ce déficit survient. Ainsi, un déficit hydrique à la montaison se traduit par la chute du nombre d'épi par m² la régression intense des tailles et la baisse du nombre des grains par épi. À la fin de la montaison 10 à 15 jours avant l'épiaison, la sécheresse réduit le nombre de fleurs fertiles par épillet (**Debacke et al., 1996**).

Le manque d'eau après la floraison, combiné à des températures élevées, entraîne une diminution du poids de 1000 grains par altération de la vitesse de remplissage des grains et de la durée de remplissage (**Triboï, 1990**). Au cours du remplissage des grains, le manque d'eau a pour conséquence, une réduction de la taille des grains (échaudage), réduisant par conséquent le rendement (**Gate et al., 1993**). Ainsi, le risque de stress hydrique est-il possible presque durant tout le cycle biologique de la céréale. Par ailleurs et pour bien se développer, la plante doit disposer de mécanismes d'adaptation qui lui permettent de supporter le stress hydrique.

I.1.7. Mécanisme d'adaptation des plantes au déficit hydrique

Pour lutter contre le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu (Esquive, évitement et tolérance) (**Turner, 1986**). La résistance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité de sur vivre et à s'accroître et du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevée que celui des

plantes sensibles (**Madhava Rao et al., 2006**). La résistance globale d'une plante au stress hydrique apparait comme le résultat nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de production (**Hsissou, 1994**).

I.1.7.1. Adaptation phénologique

Pour éviter les périodes difficiles pour la croissance et le développement, certaines variétés accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de stress hydrique. La précocité constitue donc un important mécanisme d'évitement au stress hydrique de fin de cycle. Dans ces conditions, les paramètres phénologiques d'adaptation ou paramètres de précocité définissent le calage du cycle vis-à-vis des contraintes environnementales (**Ben Naceur et al., 1999**). La précocité assure une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau. En effet, en produisant la biomasse la plus élevée, les génotypes à croissance rapide et à maturité précoce utilisent mieux l'eau disponible et ils sont moins exposés aux stress environnementaux que les génotypes tardifs (**Bajji, 1999**). Le rendement en grains est positivement corrélé à la précocité d'épiaison (**Gonzalez et al., 1999**). En effet, les variétés qui ont une vitesse de croissance élevée ont la capacité de mieux utiliser sources nutritives à la fin du cycle de développement lorsque celles-ci devient limitantes (**Poorter, 1989**). La précocité de l'épiaison peut donc être utilisée comme critère de sélection pour améliorer la production dans les zones sèches. C'est l'un des traits les plus importants dans l'adaptation des plantes au stress hydrique (**Ben Salem et al., 1997**).

I.1.7.2 Adaptation morphologiques

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

I.1.7.2.1 Au niveau de la plante

La diminution de la surface foliaire des feuilles et du nombre de talles est considérée comme une réponse ou adaptation au manque d'eau (**Blum, 1996**). Chez le blé, l'enroulement des feuilles chez certaines variétés peut être considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement de la déshydratation, il entraîne une diminution de 40 à 60 % de la transpiration (**Amokrane et al., 1970**). La longueur des barbes est un paramètre morphologique qui semble également étroitement lié à la tolérance au stress hydrique (**Hadjichristodoulou, 1985**).

La hauteur de la plante apparaît comme un critère de sélection important particulièrement dans les zones arides, ce qui expliquerait par là qu'une paille haute s'accompagne souvent d'un système racinaire profond ce qui conférerait à la plante une capacité d'extraction de l'eau supérieure (**Bagga et al., 1970**).

Les plantes à enracinement superficielle et peu dense souffre plus du déficit hydrique que ce à enracinement profond (**El hassani et Persoons, 1994**).

I.1.7.2.2. Au niveau structural

Une des principales modifications structurales, observée sur des plantes ayant subi un stress hydrique, concerne l'altération des propriétés physico-chimique des parois cellulaires. Ces changements peuvent être induits par des modifications au niveau des enzymes impliquées dans la biosynthèse des monolignols ou dans leur assemblage dans la paroi. L'augmentation de l'expression de ces gènes peut être reliée à l'arrêt de la croissance et à l'épaississement de la paroi (**Dixon et Paiva, 1995**). Un autre composant majeur de la paroi correspond aux composés issus de la polymérisation des sucres (cellulose et hémicellulose). **Xu et al, (1996)** ont mis en évidence des modifications au niveau de l'hémicellulose via, notamment, la modulation de l'expression d'une famille multigénique appelée XET (**xyloglucane endo-trans-glucanase**).

Les XET effectuent des coupures internes dans les polymères xyloglucanes, pour ensuite lier les fragments générés à d'autres chaînes de xyloglucane. **Bram et al, (1979)** ont proposé l'idée qu'à l'instar des gènes impliqués dans la lignification, les XET pourraient intervenir dans l'altération des propriétés (exemple : extensibilité) de la paroi lors des stress abiotique et notamment hydrique. Des changements structuraux au niveau de cytosquelette peuvent également s'opérer.

I.1.7.3. Adaptation physiologique

La stratégie de la tolérance est mise en œuvre par les plantes grâce à l'abaissement du potentiel hydrique qui maintien la turgescence (**Sorrells et al., 2000**). Les mécanismes intervenant dans la tolérance assurent l'hydratation cellulaire et diminuent la perte en eau en maintenant un statut hydrique favorable au développement foliaire. La réduction des pertes en eau par la fermeture stomatique est un moyen d'adaptation des plantes au stress. Cette diminution de la transpiration engendre une réduction de la photosynthèse.

Les géotypes qui ont la capacité photosynthétiques intrinsèque la moins affectée par le stress présentent une efficacité de l'utilisation de l'eau élevée et une plus grande capacité de survie (**Araus et al., 2002**).

El-Jaafari et Paul, (1993) indiquent que la diminution de la photosynthèse, qui fait suite à la réduction de la teneur relative en eau et du potentiel hydrique foliaire, est causée par la réduction de la pénétration du CO₂.

La diminution de la photosynthèse nette peut être attribuée à la diminution de la concentration interne du CO₂ sans que la capacité photosynthétique des tissus de la feuille ne soit endommagée.

L'adaptation à des milieux aux régimes hydriques variables est en partie associée à l'ajustement osmotique (**Richards et al., 1997**) L'ajustement osmotique constitue le processus majeur permettant à la cellule de maintenir sa turgescence sous contrainte hydrique (**Zhang et al., 1997**). L'ajustement osmotique est réalisé grâce à une accumulation des solutés conduisant à un maintien du potentiel de turgescence. Les solutés responsables de la régulation osmotique sont essentiellement des acides organiques, des acides aminés (proline, glycinebétaine), des sucres solubles et certains constituants inorganiques (**Richards et al., 1997**).

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 turgescence relative moins affectée par le stress conduisant à une dilution de la chlorophylle (**Slayter, 1974**). Le rapport chlorophylle (a /b) est un bon indicateur du seuil de tolérance au stress hydrique (**Guettouche, 1990**).

Tahri et al, (1979) montrent que l'augmentation de la teneur en proline foliaire sous l'effet du stress suivie par un abaissement dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (chlorophylle a et b). Les résultats des Tahri et al., (1997) révèlent une certaine proportionnalité, mais inverse, entre les teneurs en prolines accumulées et les teneurs en pigments chlorophylliens perdues. Ainsi la variété qui accumule plus de proline est aussi celle qui connaît la plus forte diminution de ses teneurs en pigments chlorophylliens.

I.2. Présentation de l'espèce étudiée

I.2.1. Historique

Le blé est parmi les premières espèces cueillies et cultivées par l'homme au proche Orient, il y'a environ 10.000 à 15.000 ans avant J.C (**Hervé, 1979**). Des restes de blés diploïdes et tétraploïdes, ont été découverts sur des sites archéologiques au proche Orient d'après **Harlan, (1975)** le blé dur provient des territoires de la Turquie, de la Syrie, de l'Iraq et de l'Iran

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 (URSS) 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**). **Vavilov selon Hamed, (1979)** le centre d'origine du blé est le Tigre et l'Euphrate (l'actuel Irak), puis l'espèce s'est entendue en Egypte, en Chine, en Europe et en Amérique, en (1934), a fait intervenir, pour la première fois dans la classification, l'origine géographique en distinguant nettement deux espèces :

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

2-La sous espèce Mediterraneum Vav., rencontrée dans le bassin méditerranéen. **Grignac, (1978)** rapporte que le moyen Orient où coexistent les deux espèces parentales se rencontrent de nombreuses formes de blé dur et serait le centre d'origine géographique du blé.

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

- 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 phénologiques, morphologiques et physiologiques particulières (**Monneveux, 1991**).

Par ailleurs, **Orlov et Vavilov in Gueorguiev et Arifi, (1978)** considèrent le Maghreb comme origine secondaire du blé.

Bonjean et Picard, (1990) affirment que le monde Romaine a largement contribué à la diffusion des céréales au niveau du bassin méditerranéen vers l'Europe centrale et l'Europe de l'Ouest.

Les formes sauvages identifiées de ces diverses espèces (*T. monococcum* et *T. dicoccum*) seraient originaires du proche Orient et du moyen Orient. Le blé dur selon plusieurs auteurs serait une plante anciennement cultivée et était la base de l'alimentation des premières civilisations humaines.

I.2.2. Description générale de la plante

Le blé est une plante herbacée annuelle qui produit le grain. C'est une graminée de hauteur moyenne pouvant atteindre jusqu'à 1.5 m selon les variétés (**Bozzini, 1988**). L'appareil végétatif comprend l'appareil aérien et l'appareil racinaire (**Gate et Giban, 2003**).

I.2.2.1. L'appareil aérien

Le système aérien est formé d'un certain nombre d'unités biologiques, les tiges, les feuilles et les graines. La tige est formée d'une tige feuillée ou chaume portant à son extrémité une inflorescence (**Clarke et al., 2002**). Les feuilles se composent d'une base (gaine) entourant la tige, d'une partie terminale qui s'aligne avec les nervures parallèles et d'une extrémité pointue. Au point d'attache de la gaine de la feuille se trouve une membrane mince et transparente (ligule) comportant deux petits appendices latéraux, les oreillettes.

I.2.2.2. L'appareil racinaire

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

I.2.2.3. L'appareil reproducteur

L'inflorescence du blé est un épi. Ce dernier est constitué d'unités de base, les épillets. L'épillet est une petite grappe de un à cinq fleurs enveloppées chacune par deux glumelles (inférieure et extérieure). La grappe est incluse entre deux bractées ou glumes. Les fleurs sont attachées sur le rachis et sont autogames (**Anonyme, 2003**).

I.2.3 Importance économique et distribution du blé dur

I.2.3.1. Dans le monde

Les blés constituent la première ressource en alimentation humaine et la principale source de protéine. Ils fournissent également une ressource privilégiée pour l'alimentation animale et de multiples application industrielles (**Bonjean et Picard, 1990**).

Le blé dur représente environ 8% des superficies en blés dans le monde dont 70% sont localisées en conditions méditerranéennes (**Monneveux, 2002**). La Turquie, la Syrie, la Grèce, l'Italie, l'Espagne et les pays d'Afrique du Nord sont en effet parmi les principaux producteurs.

Le blé dur prend mondialement, la cinquième place après le blé tendre, le riz, le maïs et l'orge avec une production de plus de 30 millions tonnes (**Amokrane, 2001**).

Le plus gros producteur exporteur du blé dur est le Canada (Belaid, 2000). Les exportateurs Canadiennes représentent normalement près de 60% des échanges mondiaux de céréales.

Le conseil international des céréales (CIC) évalue la production mondiale de blé dur pour 1999-2000 à $32,5 \times 10^6$ T, comparativement aux $36,7 \times 10^6$ T, produit en 1998 -1999. Les stocks principaux exportateurs de blé dur, le Canada, l'Union Européenne et les États-Unis ont chuté de $1,1 \times 10^6$ T pour atteindre $3,1 \times 10^6$ T, comparativement à la moyenne décennale de $4,2 \times 10^6$ T (**CIC, 2000**).

I.2.3.2. Situation en Algérie

Les céréales jouent un rôle important dans l'agriculture nationale puisqu'elle occupe plus de 90% des terres cultivées. La productivité nationale est assez faible de 8 à 10 qx/ha, ceci se répercute sur l'offre et la demande.

Le blé dur occupe une place centrale dans l'économie algérienne, il couvre $1,5 \times 10^6$ ha sur les $3,0 \times 10^6$ ha consacrés à la céréaliculture, le rendement est faible et irrégulier, il est de l'ordre 8q/ha. La production couvre près de 41% des besoins (**Amokrane, 2001**).

La majeure partie des emblavures céréalières se trouve donc concentrée sur les hautes plaines, cette région se caractérise par de l'altitude (900 à 1200 m), des hivers froids, un régime hydrique irrégulier et faible.

Les hautes plaines sont soumises à la triple influence de l'Atlas tellien, qui limite les précipitations hivernales, de l'Atlas Saharien qui à l'origine de vent sec et desséchant intervenant dès le printemps et de l'altitude qui entraîne des gelées tardives (**Baldy, 1974**).

Au cours des dix dernières années (1990-2000), l'Algérie a importé plus des 65% du blé dur destiné à l'Afrique du Nord, la production moyenne de blé dur de l'Algérie se situe à $1,1 \times 10^6$ T pour les dix dernières années alors la consommation moyenne est de $2,7 \times 10^6$ pour la même période (CIC, 2000).

I.2.4. Classification botanique

Le blé dur est une plante herbacée, monocotylédone appartenant au groupes des céréales à paille classé de la manière suivante voir (tableau 01).

Tableau 01. Classification botanique du blé dur (Anonyme, 2011)

Règne	Taxonomie
Embranchement	Spermaphytes
Sous embranchement	Angiospermes
Classe	Monocotylédones
Ordre	Poales
Famille	Poaceae
Genre	<i>Triticum</i>
Espèce	<i>Triticum durum</i> Desf.

Ce type de classification a eu le mérite d'orienter la recherche de gène susceptibles d'intéresser le sélectionneur sur le plan des caractéristiques agronomiques tels que la résistance aux basses températures, la précocité et les grains gros et vitreux (Monneveux, 1989).

I.2.5. Biologie et cycle de développement du blé

I.2.5.1. Caractères morphologiques

I.2.5.1.1. Composition histologique et biochimique du grain du blé

Les graines de blé sont des fruits appelées caryopses. Elles ont une forme ovoïde, possèdent sur l'une de leur faces une cavité longitudinale (le sillon) et à l'extrémité opposée de l'embryon des touffes de poils (la brosse). Le grain de blé est constitué de trois grandes

parties : le germe, l'albumen et les enveloppes (**figure 01**). Il est constitué majoritairement d'amidon qui représente environ 70% de la matière sèche du grain et qui est situé dans l'albumen. Les protéines représentent entre 10 et 15% de la matière sèche et se retrouvent dans tous les tissus du grain de blé avec une concentration plus importante dans le germe et la couche d'aleurone (**Pomeranz, 1988**). Les pentosanes (polysaccharides non amylicés) représentent quant à eux entre 2 et 3% de la matière sèche et sont les principaux constituants des parois cellulaires de l'albumen (70 à 80%).

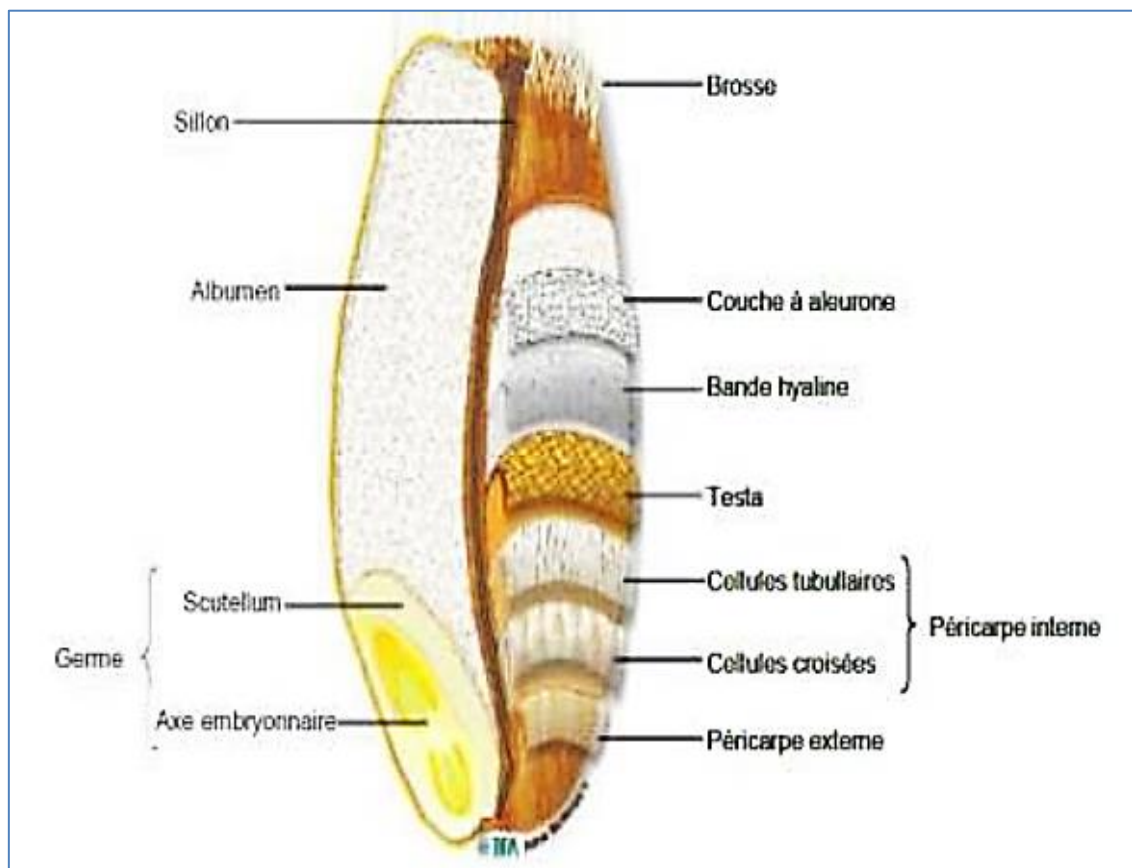


Figure 01 : Histologie du grain de blé (**Surget et Barron., 2005**).

I.2.5.1.1.1. Les enveloppes

Elles représentent 14 à 16% du poids du grain. Elles sont constituées de l'extérieur vers l'intérieur par :

Le péricarpe : paroi de l'ovaire qui comprend l'épicarpe, le mésocarpe et l'endocarpe

Le tégument : enveloppe de la graine qui comprend le tégument séminale et la bande hyaline.

L'assise protéique : qui représente 60% du poids des enveloppes et est constituée des dix cellules aleurone riche en protéique (**Soltner, 1987**).

I.2.5.1.1.2. L'endosperme (amande ou albumen)

Il constitue un organe de réserve, riche en protéines et en lipides pour la jeune plantule et forme environ 2, à 3% grain de blé. Le germe comprend deux parties : la plantule (future plante) et le cotylédon (réserve de nourriture très facilement assimilable, destinée à la plantule) qui contient l'essentiel des matières grasses du grain. Enfin, le germe est riche en vitamines B1, B6 (Surget et Barron, 2005).

I.2.5.1.1.3. Le germe

Il constitue un organe de réserve, riche en protéines et en lipides pour la jeune plantule et forme environ 2,5% à 3% du grain de blé. Le germe comprend deux parties: la plantule (future plante) et le cotylédon (réserve de nourriture très facilement assimilable, destinée à la plantule) qui contient l'essentiel des matières grasses du grain. Enfin, le germe est riche en vitamine B1, B6 (Surget et Barron, 2005).

I.2.5.2. Exigence du blé

Le blé nécessite un sol bien préparé et ameubli sur une profondeur de 12 à 15 cm pour les terres battantes (limoneuses en générale) ou 20 à 25 pour les autres terres.

La date de semis est un facteur limitant vis-à-vis du rendement, la date propre à chaque région doit être respectée sérieusement pour éviter les accidents climatiques. Il peut commencer dès la fin d'Octobre avec un écartement entre les lignes de 15 à 20cm et une profondeur de semis de 2,5 à 3cm. La dose de semis est variée entre 200 à 225kg/ha en fonction des paramètres climatiques, la grosseur des grains, la faculté germinative et la fertilité du sol. Selon Clément et Parts, (1970), les facteurs climatiques ont une action prépondérante sur les différentes périodes de la vie du blé.

I.2.5.2.1. La température

La température à partir de laquelle un blé germe et pousse est de 0C°; cependant l'optimum se situe entre 20 et 22C°. Une température élevée est favorable au développement et à la croissance (Simon et al., 1989). Baldy, (1992), ajout que les fortes températures provoquent une levée trop rapide et parfois un déséquilibre entre la partie aérienne et la partie souterraine.

Les températures entre 25 et 32C° défavorisent l'allongement racinaire et l'optimum se situe entre 5 et 12C°. Mekhlouf et al., (2001), situent les exigences en température pour les différents stades de développement du blé de la manière suivante :

-stade levée : la somme des températures = 120C°.

-stade tallage : la somme des températures = 450C°.

-stade plein tallage : la somme des températures = 500C°.

-stade épi 1cm : la somme de températures = 600C°.

I.2.5.2.2. L'eau

Jusqu'à la fin du tallage en eau sont relativement faible. De plus, l'humidité excessive du sol est néfaste à l'installation du système racinaire en profondeur. Par contre, au cours de la phase de montaison et jusqu'à la floraison les besoins en eau de la culture sont considérables et peuvent s'évaluer à 180mm (entre Mars et Mai). Après la floraison, le blé devient très résistant à la sécheresse (comme aux fortes températures) (**Grignac, 1965**).

I.2.5.2.3. Fertilisation

En particulier, dans les zones arides, l'amélioration de la fertilité et de la structure du sol peut être intégrée à travers des pratiques adéquates de la rotation des cultures (**Morot-Gaudry, 1997**).

I.2.5.3. Cycle de développement du blé dur

Le cycle du blé comporte deux grandes périodes : une période végétative et une période reproductrice. La période végétative comporte les phases des : germination, pré tallage et tallage. Cependant la période reproductrice comporte les phases des : montaison, épiaison, floraison et maturation (**figure 02**)(**Hucl et Baker, 1988, Davidson et Chevalier, 1990**).

I.2.5.3.1. Germination

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

I.2.5.3.2. Levée

La levée est notée quand 50% de plantules sont sorties du sol (**Karou et al., 1988**). Et que la première feuille pointe au grand jour son limbe. Deux autres feuilles suivent (**Hucl et Baker, 1988, Davidson et Chevalier, 1990**). Pendant cette phase, les jeunes plantes sont sensibles au manque d'eau qui provoque une diminution de nombre (**Karou et al., 1998**).

I.2.5.3.3. Tallage

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

II.5.3.4. Montaison



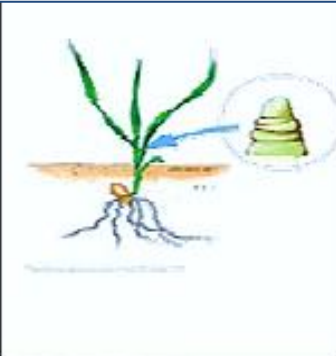




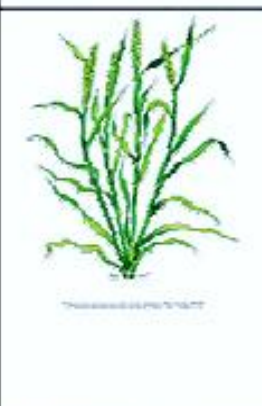
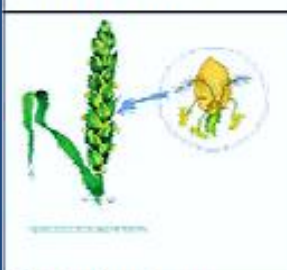



Elle se manifeste, à partir du stade épi à 1cm, par l'élongation de la première entre nœud. Ce stade est repérable une fois l'ébauche de l'épi du brin-maître atteint 1cm d'hauteur à partir de la couronne ou plateau du tallage (**Gate, 1955**).

II.5.3.5. Epiaison

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

II.5.3.5. Maturation

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

			
1- La germination	2- La levée	3- Trois feuilles	4- Début tallage
			
5- Épi à 1 cm	6- Un nœud	7- Méiose pollinique	8- L'épiaison
			
9- La floraison	10- Bâillement	11- Grain formé	12- Épi à maturité

Source : blé hybride HYN0 (onglet « le blé en générale »).

Figure 02: Stades repères du cycle de développement du blé

Chapitre II

Matériels et Méthodes

Chapitre II. Matériels et Méthodes

II.1. Objectifs de l'expérimentation

Notre essai consiste à étudier l'effet du déficit hydrique et la variabilité de la réponse chez quatre variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Les paramètres retenus sont d'ordres morphologique et physiologique.

II.2. Présentation de la région d'étude

II.2.1. Localisation géographique

La wilaya de M'Sila est située à 250 Km au sud-est d'Alger. Elle est limitée au Nord par les wilayas de Bouira, Bordj-Bou-Argeridj et Sétif, à l'Est par les wilayas de Batna et Biskra, au Sud par les wilayas de Biskra et Djelfa, et à l'Ouest par les wilayas de Djelfa et Médéa. Sa superficie totale est de 18 175 Km², soit 0,76 % du territoire national.

Le climat de la Wilaya de m'sila est de type continentale soumis en partie en influence sahariennes. L'été y est sec et très chaud, alors que l'hiver y est très froid (Mahmoudi et al., 2015).

II.3. Matériels végétales

L'étude a porté sur quatre variétés de blé dur (*Triticum Durum* Desf.) d'origine locale et introduite. Les génotypes utilisés sont répertoriés selon le catalogue officiel de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Media (Tableau 02).

Tableau 02: Les génotypes étudiés et leurs origines.

N°	Génotype	Code	Origine
1	Bidi 17	Bd17	Locale (sélectionné à ITGC_Media)
2	Mohammed Ben Bachir	MBB	Locale (sélectionné à ITGC_Media)
3	Simeto	S	IEC (Italie)
4	Waha	W	ICARDA (Syria)

Source ITGC, 2017

La variété Waha introduite en 1998, à paille et durée du cycle relativement plus courtes, résistante aux maladies, mieux adaptée à la région aride et semi- aride, présente une bonne productivité (ITGC, 2017).

La variété Simeto introduite en 1998, à cycle végétative semis précoce, rendement élevé, très bon qualité semoulière, tolérante à la sechresse, moyennement sensible aux maladies (ITGC, 2017)

La variété Bidi 17 est une variété locale à Productivité moyenne, semi tardive, tallage faible, hauteur moyenne (ITGC, 2017).

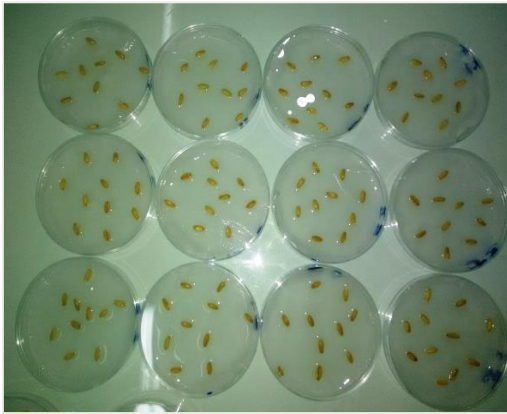
La variété Mohammed Ben Bachir (MBB), est une sélection généalogique d'une population locale de blé dur. C'est une variété très appréciée sur les hauts plateaux de l'Est algérien. Elle est très précoce a paille haute et a cycle végétative relativement longue, Productivité moyenne, tolérante à la sècheresse (ITGC, 2017).

II.4. Dispositif expérimental

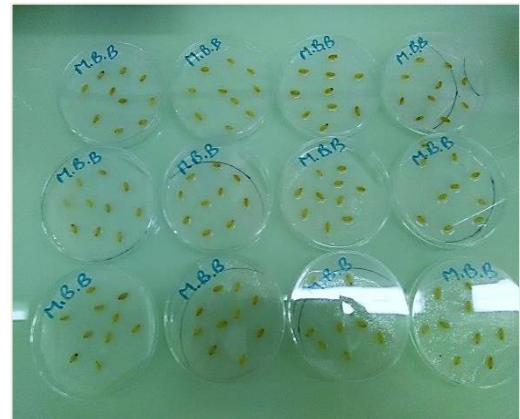
Notre travail a été constitué de deux parties, la première partie est réservée à l'essai de germination, et la seconde partie est consacrée à l'étude de la croissance.

II.4.1. Test de germination

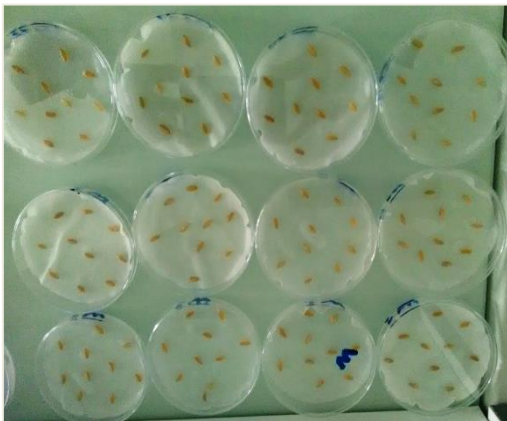
L'essai a été conduit dans laboratoire de Biotechnologies Végétales et Méta génomique de l'université de Mohammed Boudief-M'sila. Les graines des quatre génotypes ont été stérilisées à l'eau de javel 6% pendant 15 minutes puis rincées plusieurs fois par l'eau distillé. Elles sont mise à germer sur papier filtre humecté à l'eau distillé dans des boites de pétri (**figure 03**) pendant 3 jours à l'obscurité totale et à la température ambiante du laboratoire.



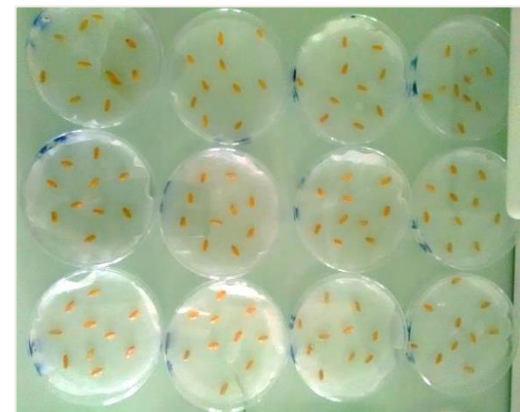
La variété Bidi 17



La variété MBB



La variété Waha



La variété Simeto

Figure 03: Dispositif expérimentale de l'essai de germination (source original).

Le taux de germination ($G (\%) = 100 (NGG / NTG)$), d'où $G (\%)$ est le taux de germination, NGG est le nombre des graines germées et NTG est le nombre des graines testées.

II.4. 2. Préparation des pots et le semis

La culture est réalisée dans des pots de végétation en plastique de 4kg de contenance, remplis par un mélange de terre et de sable à proportion de 2V/1V. On a semé 8 graines par pot à raison de 12 pots par génotype (4 lots de 3 pots chacun). Chaque lot de trois pots (24 graines), est une répétition, dont un lot sert comme témoins et les trois autres lots représentent les niveaux de stress appliqués.

II.5. Détermination et application des niveaux de stress

Les pots ont été placés dans le terrain , ils sont irrigués régulièrement 2 fois par semaine jusqu'à l'obtention de la quatrième feuille, à ce stade le stress hydrique est appliqué par l'arrêt de l'irrigation jusqu'à l'obtention des différents niveaux de stress hydrique (70% , 40%, et 10 % de la capacité au champs). Pour calculer ces niveaux d'irrigation par apport à la capacité au champ du pot, nous avons pesé des pots contenant 4Kg de substrat sec utilisé dans l'expérimentation, P1 (P1 = poids de sol sec). Ensuite nous avons irrigué ces derniers jusqu'à saturation, tout en couvrant les pots à l'aide d'un plastique noir pour éviter l'évaporation de l'eau par la surface. Après 24h de repos, les pots sont pesés de nouveau P2 (P2 = poids à saturation). La différence entre P2 et P1 est la quantité d'eau retenue par le sol et qui représente la capacité au champ des pots. On estime la capacité au champ (C.C) par l'équation suivante :

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

Ainsi quatre traitements sont retenus (**figure 04**) ; le témoin (T), stress niveau 1 (N1) a été maintenu à 70% de la C.C, stress niveau 2 (N2) a été maintenu à 40% de la C.C, stress .niveau 3 (N3) a été maintenu à 10% de la C.C.

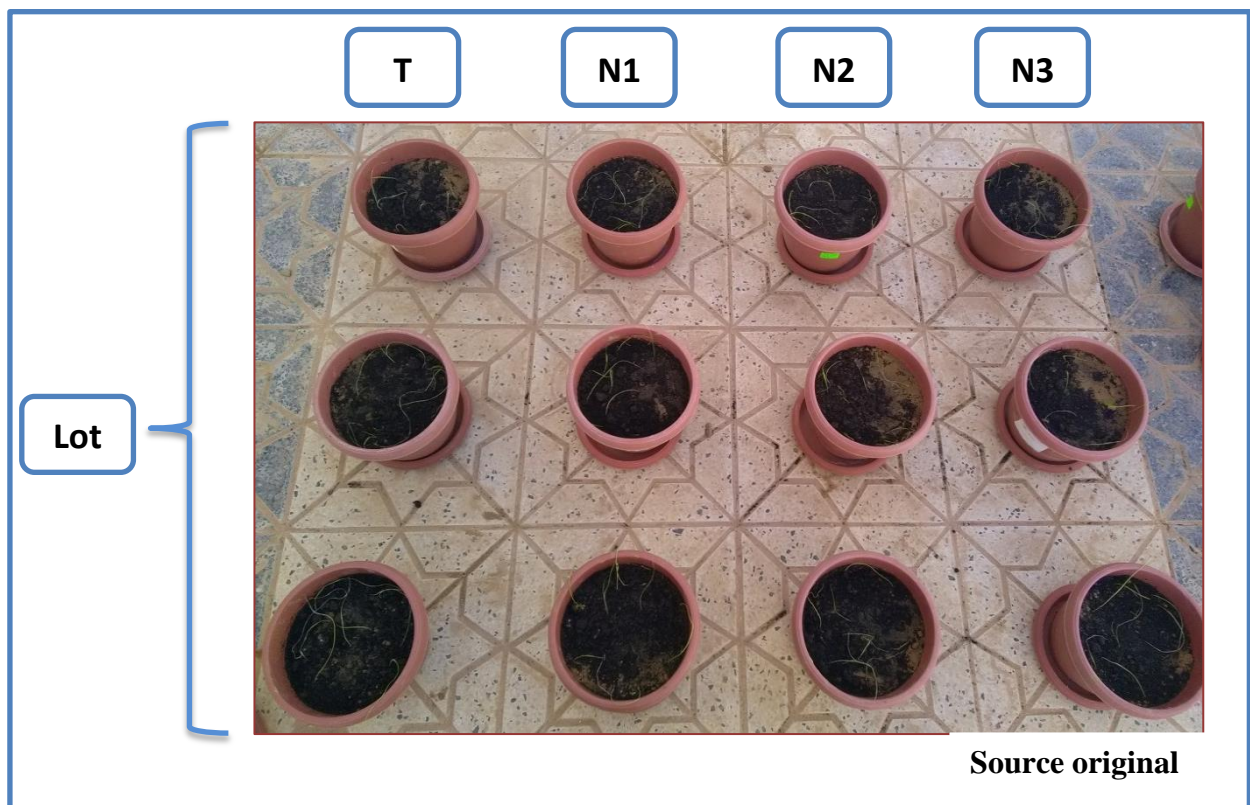


Figure 04: Dispositif expérimentale de l'essai de croissance.

II.6. Paramètres étudiées

II.6.1. Paramètres morphologiques

II.6.1.1. Longueur des racines

A l'aide d'une réglette ou papier millimètre, les mesures de la longueur des racines ont été prise en tenant compte de la moyenne de trois racines de chaque plantule et par la suites ces tris moyens font l'objets d'une seule répétition.

II.6.1.2. Nombre des racines

Le nombre de racine est effectuée selon la même procédure précédente appliquée quand à la longueur des racines.

II.6.1.3. Surface foliaire (SF « cm² »)

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

- prendre la feuille de blé dur sur papier calque et découper les contours de la feuille, ce dernier est pesé (Pf).
- couper un carré de 1cm [S(1cm²)] de coté de ce même papier qui est également pesé [P(1cm²)].
- déduire la surface foliaire SF par la formule suivante :

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

II.6.2. Paramètres physiologiques

II.6.2.1. Teneur relative en eau (TRE «% »)

C'est l'un des principaux paramètres qui indique le niveau hydrique de la plante ou encore la turgescence cellulaire (**Serrieys, 1992**). La teneur relative en eau est mesurée selon la méthode de **Barrs et Weatherley, (1968)** (figure 05).

Les valeurs de la (TRE) sont déterminées à partir de la formule :

$$\text{TRE (\%)} = [(\text{Pf} - \text{Ps}) / (\text{Pr} - \text{Ps})].100$$

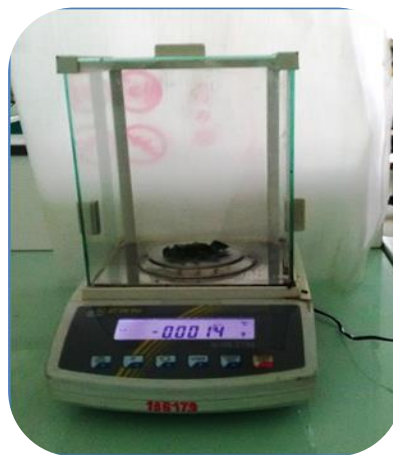
Où **Pf** représente le poids frais (limbe de la feuille excisé à sa base et immédiatement pesé)

Pr est le poids de réhydratation (feuille coupée et placée dans un tube à essai contenant de l'eau distillée, Pendant 24 heures à 4C°).

Ps est le poids sec déterminé après passage de l'échantillon dans une étuve à 80°C pendant 48 heures (**Kara et Bellkhiri, 2011**).



A- La mise des feuilles dans des tubes à essai contenu l'eau distillé.

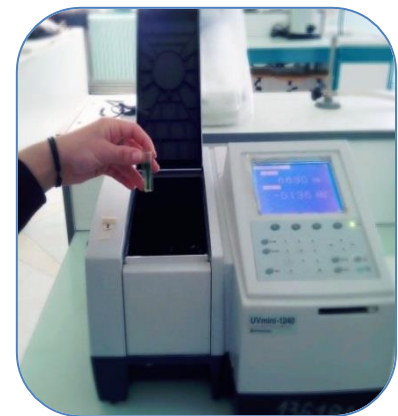
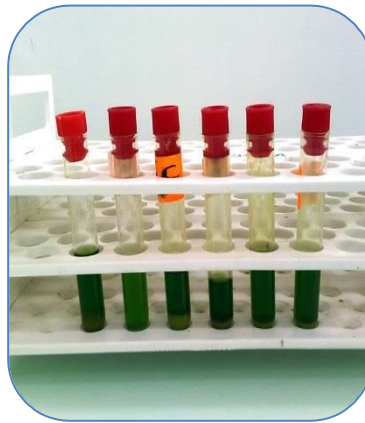


B- Des coupes de feuille à l'aide d'une balance de précision.

Figure 05: Quelques étapes durant la mesure de la teneur relative en eau (**source original**)

II.6.2.2. Dosage des pigments chlorophylliens

La teneur en chlorophylle est déterminée par la méthode de **Mckinney, (1941)**. Elle consiste à broyer 100 mg de matière fraîche en présence d'acétone 80%. Après filtration, Les concentrations de la chlorophylle a, chlorophylle b et les caroténoïdes sont effectuées à l'aide d'un spectrophotomètre de type (UV mini-1240) à des densités optiques respectives de 663, 645 et 470 nm. L'appareil est étalonné avec la solution témoin à base d'acétone à 80% (**figure 06**).



A- Broyage de matière fraîche.

B- Les extraits obtenus après filtration.

C- Prise de mesures avec le spectrophotomètre.

Figure 06: Quelques étapes durant la mesure de la teneur en Chl a, Chl b et caroténoïdes (source original).

les concentrations de la chlorophylle a, chlorophylle b, caroténoïdes et les chlorophylles totales sont calculées par les formules suivantes (Nana et al., 2009) :

$$\text{Chl a } (\mu\text{g.g}^{-1}\text{MF}) = 12 (\text{Do } 663) - 2.67 (\text{Do } 645)$$

$$\text{Chl b } (\mu\text{g.g}^{-1}\text{MF}) = 22.5 (\text{Do } 645) - 4.68 (\text{Do } 663)$$

Do: La densité optique.

La teneur en chlorophylle totale est déduite de la somme des chlorophylles a et b.

$$\text{C (x + c) } = [1000 \text{ Do (470) } - 1.90 \text{ Chl a } - \text{Chl b} / 214]$$

x = xanthophylles ; **c** = caroténoïdes

II.7. Traitement et analyse statistique

On a utilisé le logiciel Excel 2010 pour établir les courbes et les graphes.

La signification de L'ensemble des résultats obtenus dans cette expérimentation a été testés par :

- ✓ L'analyse de variance (ANOVA).

Chapitre III

Résultats et Discussions

Chapitre III. Résultats et Discussions

III.1. Taux de germination

D'après les résultats obtenus (**figure 07**). Le taux de germination est plus élevé chez les quatre variétés étudiés.

A partir des moyennes enregistrés, on constate que la variété MBB est en premier position suivie par la variété Waha et Bd 17, et enfin la variété Simeto (**Tableau 03**).

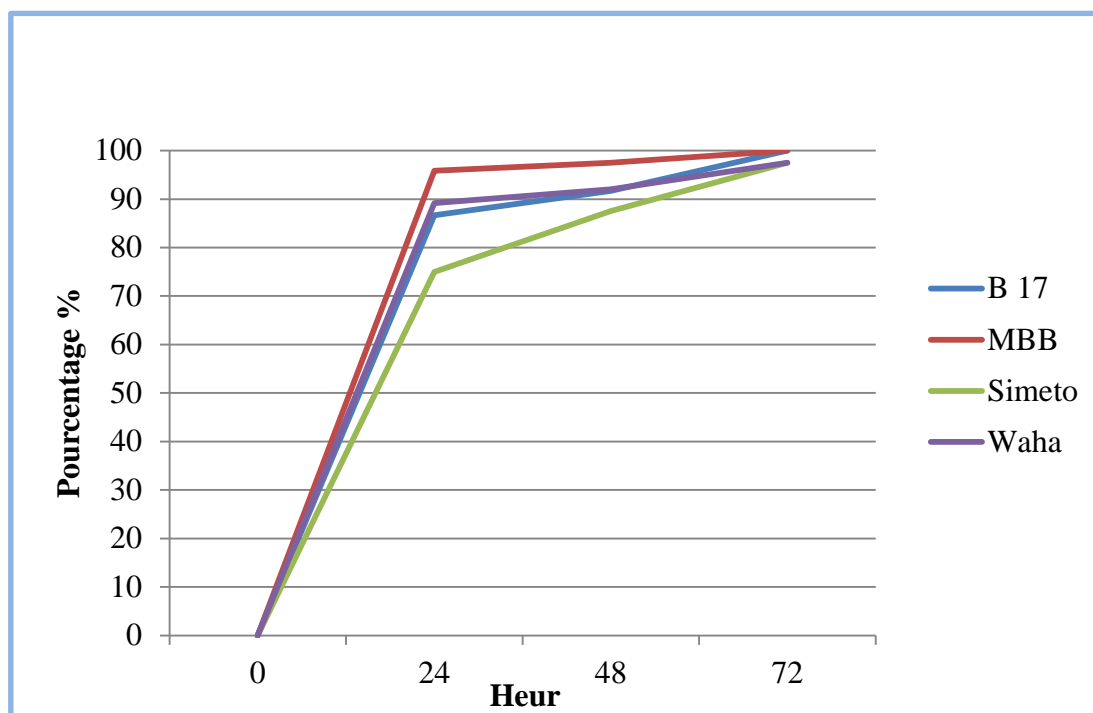


Figure 07: Cinétique du taux de germination des différentes variétés, en fonction du temps.

III.2. Variation des paramètres morphologiques

Pour rendre compte l'effet des différents degrés du stress hydrique sur les paramètres morphologiques des quatre variétés testés nous avons étudiée les paramètres suivants : le nombre et longueur des racines et la surface foliaire (SF).

III.2.1. Action du déficit hydrique sur la longueur des racines

En moyenne, une diminution de la longueur des racines est enregistré dans différents niveaux de stress chez les quatre variétés (**figure 08**). La valeur la plus élevée (14 cm), est enregistrée à 70% de la capacité au champ (stress modéré), alors que la valeur la plus faible (7 cm) est observée à 10% de la capacité au champ (stress sévère) comparativement à 100% de la capacité au champ (témoin), ou la valeur atteint (16 cm).

A partir des moyennes enregistrés on constate que la variété Simeto est en première position suivie par la variété Waha et Bd 17, et enfin la variété MBB par rapport aux longueurs des racines, avec comme moyenne des niveaux de stress appliqué (12, 11.5, 11, 9.62 cm) respectivement (**Tableau 03**).

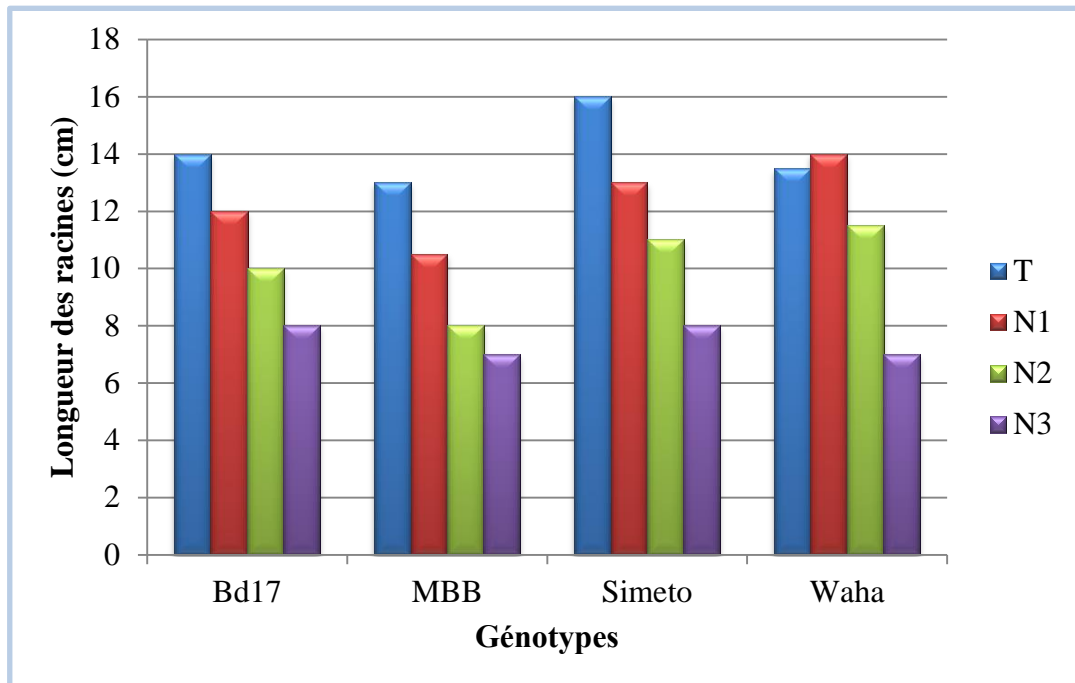


Figure 08: Longueur des racines de variétés étudiées dans différents niveaux de stress hydrique.

L'analyse de variance a révélé une différence très hautement significative entre les variétés (**Tableau 01, Annexe 04**) en présence du stress hydrique.

On distingue que L'influence du stress hydrique au niveau de paramètre longueur des racines est très hautement significative chez les deux variétés Waha et Simeto que les deux variétés Bd 17 et MBB (**Tableau 01, Annexe 03**).

Tableau 03: Moyenne globale des paramètres étudiées.

	Variété	Bd 17	MBB	Waha	Simeto
Moyenne de stress appliqué (T, 70%, 40%, 10%)	N de racine	5.87	6.25	6	4.5
	L de racine	11	9.62	11.5	12
	Surface foliaire	13.36	9.18	7.95	6.76
	TRE	72.67	78.21	71.32	83.99
	Teneur en Chl a	7.48	11.69	13.20	14.24
	Teneur en Chl b	3.2	6.5	7.16	8.58
	Teneur en Chl tot	10.68	18.19	20.37	22.83
	Teneur en caroténoïdes	3.17	4.90	5.41	5.54

III.2.2. Action du déficit hydrique sur le nombre des racines

En moyenne, une diminution dans le nombre des racines est enregistré dans différents niveaux de stress chez les quatre variétés (**figure 09**). La valeur la plus élevée (7.5), est enregistrée à 70% de la capacité du champ (stress modéré), alors que la plus faible (2.5) est observée à 10% de la capacité du champ (stress sévère) comparativement à 100% de la capacité au champ (témoin), ou la valeur atteint (9.5).

A partir des moyennes enregistrés, on constate que la variété MBB est en premier position suivie par la variété Waha et la variété Bd 17, et enfin par la variété Simeto par rapport aux nombre des racines, avec comme moyenne des niveaux de stresse appliqués (6.25, 6, 5.87, 4.5) respectivement (**Tableau 03**).

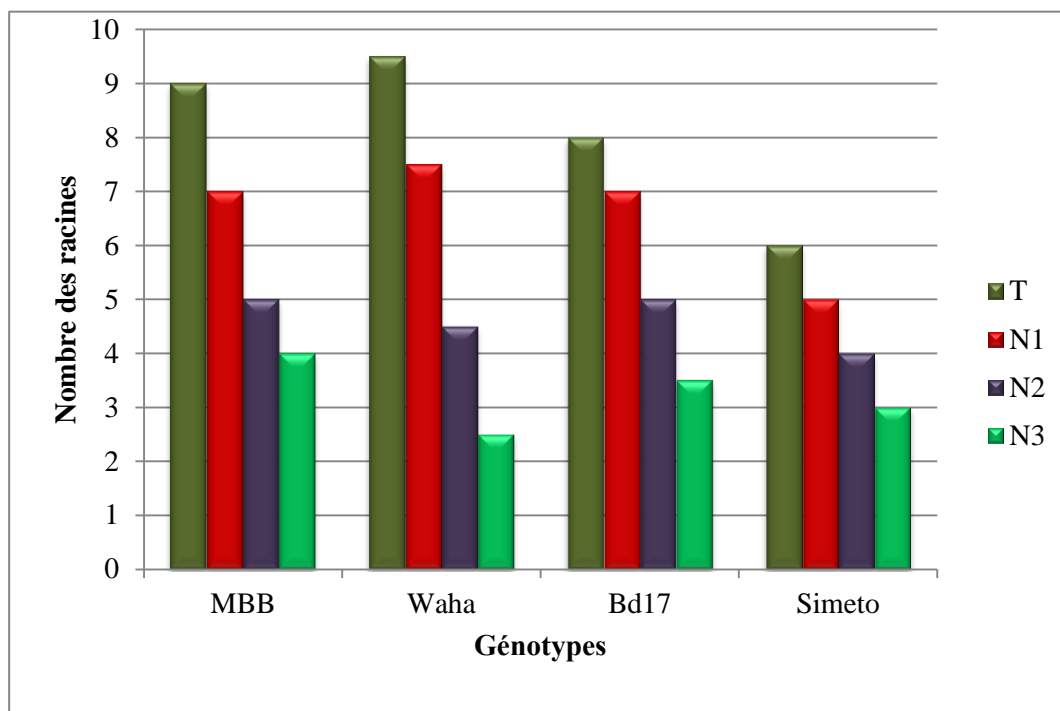


Figure 09: Effet du stress hydrique sur le nombre de racines.

L'analyse de variance montre que le nombre des racines est varié d'une façon significative entre les quatre variété (**Tableau 02, Annexe 04**).

L'effet du stress hydrique au niveau de paramètre nombre des racines est hautement significatif chez les deux variétés Waha et Simeto (**Tableau 01, Annexe 03**).

III.2.3. Action du déficit hydrique sur la surface foliaire

L'effet des différents degrés du stress hydrique sur la surface foliaire des quatre génotypes de blé dur testés est bien présenté dans la **figure 10**.

Les résultats montrent une diminution importante de la surface foliaire des différents génotypes étudiés en fonction du degré du stress hydrique appliqué.

Pour les valeurs enregistrées de la surface foliaire chez les témoins, La variété Bd 17 présente la surface la plus grande (16.99 ± 0.433) cm² par contre la variété Waha représente la surface la plus petite (9.2 ± 0.514) cm² par rapport aux autres variétés étudiées (MBB et Simeto).

Sous conditions du stress hydrique, nous avons enregistré une diminution de la surface foliaire chez les différents génotypes testés, les valeurs obtenus s'étalent entre (13.89 ± 1.162) cm^2 (Bd 17) au premier niveau du stress (70% de capacité au champ) et (5.037 ± 0.351) cm^2 (Simeto) au troisième niveau du stress hydrique (10% de capacité au champ).

A partir des moyennes enregistrés, on constate que la variété Bd 17 est en première position suivie par les variété MBB et Waha, et enfin la variété Simeto par rapport aux surface foliaire, avec comme moyenne des niveaux du stress appliqué $(13.36, 9.18, 7.95, 6.76)$ cm^2 respectivement (**Tableau 03**).

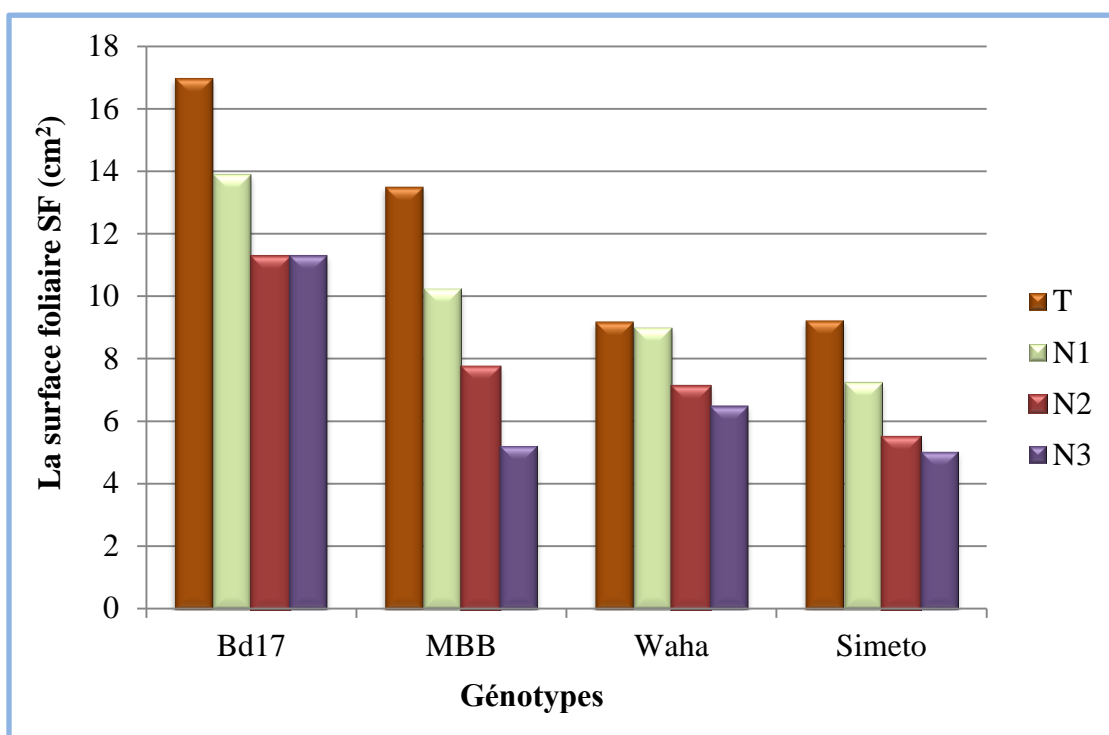


Figure 10: L'évaluation de la surface foliaire des quatre génotypes de blé dur soumis aux différents niveau du stress hydrique.

L'analyse de variance montre que la surface foliaire est variée d'une manière significative entre les quatre variétés (**Tableau 03, Annexe 04**).

L'influence du stress hydrique au niveau de paramètre surface foliare est hautement significatif chez la variété Waha que les trois autres variétés (**Tableau 01, Annexe 03**).

Les résultats de cette étude infirment ceux des autres auteurs (**Ali Dib et al., 1992 ; Benlaribi et al., 1990 ; Jones et al., 1981 ; Kramer, 1983 ; Khaldoune et al., 1990**) montrant que le déficit hydrique inhibe plus la croissance du système racinaire que celle des organes aériens. En effet, pour ces auteurs, pour le blé dur, le déficit hydrique réduit en général la profondeur maximale et le nombre totale des racines.

Karrou et al, (1998) montre que sous conditions favorables d'alimentation en eau, il peut exister un équilibre entre les différents paramètres racinaires avec une tendance à l'allongement. Lorsque l'alimentation hydrique est limitant, l'accroissement en longueur des racines rompt cet équilibre, mais cette réponse au stress hydrique dépend du génotype.

Selon **Debaeke et al, (1996)**. Le stress hydrique précoce affecte en parallèle la croissance des racines et des parties aériennes, le développement des feuilles et des organes reproducteurs.

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**).

La surface foliaire détermine progressivement à la fois les quantités d'eau utilisées par la plante sous forme de transpiration et les quantités de carbone fixées par voie photosynthétique. Elle conditionne la résistance à la sécheresse, vu qu'une surface foliaire élevée perdra plus d'eau qu'une faible surface foliaire (**Belkharchouche et al., 2009**).

En effet la réduction de la surface foliaire lorsque le stress hydrique s'installe est une stratégie développée par les plantes pour réduire de leurs besoins et pertes en eau (**O'Toole et Cruz, 1980**).

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**).

Toute fois une diminution de la surface foliaire peut affecter le rendement à cause de la réduction de la capacité photosynthétique (**Lefi et al., 2004**).

Selon **Blum (1996)**, la réduction de la surface foliaire est considérée comme une réponse ou adaptation au manque d'eau. Cette réduction est un moyen judicieux pour le contrôle des pertes d'eau. Cette stratégie permet à la plante des économies en eau qui seront utilisées pour la survie au cours du stress et s'adapter à un environnement peu favorable. Or, la réduction de la surface foliaire tend à minimiser les pertes en eau en réduisant la transpiration (**Slama et al., 2005**).

D'après **Johnson et al, (1973)**; **Adjab, (2002)**, les plantes à surface foliaire plus grande peuvent tolérer la déshydratation et maintenir un potentiel hydrique élevé. Par contre, **Kirkham et al, (1980)**, suggèrent qu'une surface foliaire réduite peut être avantageuse, du fait qu'elle réduit effectivement les pertes en eau totale de la plante. Selon **Abbassenne (1997)**, une variété avec une faible surface foliaire est capable de faire un bon rendement grâce à une meilleure efficacité d'utilisation de l'énergie lumineuse par unité de surface foliaire.

III.3. Variation des paramètres physiologiques

III.3.1. Action du déficit hydrique sur la teneur relative en eau

Une comparaison entre l'évolution de la teneur en eau des quatre variétés de blé étudiées a montré que la teneur relative en eau diminue au fur et à mesure que le déficit hydrique s'accroît (**figure 11**).

Les teneurs en eau les plus élevées sont notées chez les témoins, avec une valeur maximale de (98.86 ± 0.28) % enregistré chez le génotype MBB et une valeur minimale de (78.308 ± 1.623) % enregistré chez le génotype Waha.

Au premier niveau du stress N1 (70% de CC), la valeur minimale est observée dans le génotype Bd 17 de (71.463 ± 1.690) %, alors que la valeur maximale est enregistrée chez le génotype Simeto de (99.07 ± 0.64) %. Chez le génotype MBB on a enregistré une valeur de (96.14 ± 1.280) %, et pour le génotype Waha une valeur de (73.644 ± 0.935) % .

Pour le deuxième niveau de stress hydrique (40% de CC), la teneur relative en eau est située entre (71.396 ± 1.389) % et (61.48 ± 2.490) % enregistré successivement chez les génotypes Bd 17 et MBB.

Au dernier niveau de stress N3 (10% de CC), Une nette diminution de la teneur en eau est observée chez tous les génotypes. La teneur relative en eau varie entre (58.39 ± 3.180) %

chez le génotype MBB et (69.300 ± 0.608) % chez le génotype Bd 17, alors que chez les deux variétés Waha et Simeto, on a enregistré successivement (63.889 ± 1.521) % et (68.87 ± 1.762) % .

A partir des moyennes enregistrés, on constate que la variété Simeto est en premier position suivie par les deux variétés MBB et Bd 17, et enfin par la variété Waha par rapport aux teneur relative en eau , avec comme moyenne des niveaux du stress appliqué (83.99, 78.21, 72.67, 71.32 %) respectivement (**Tableau 03**).

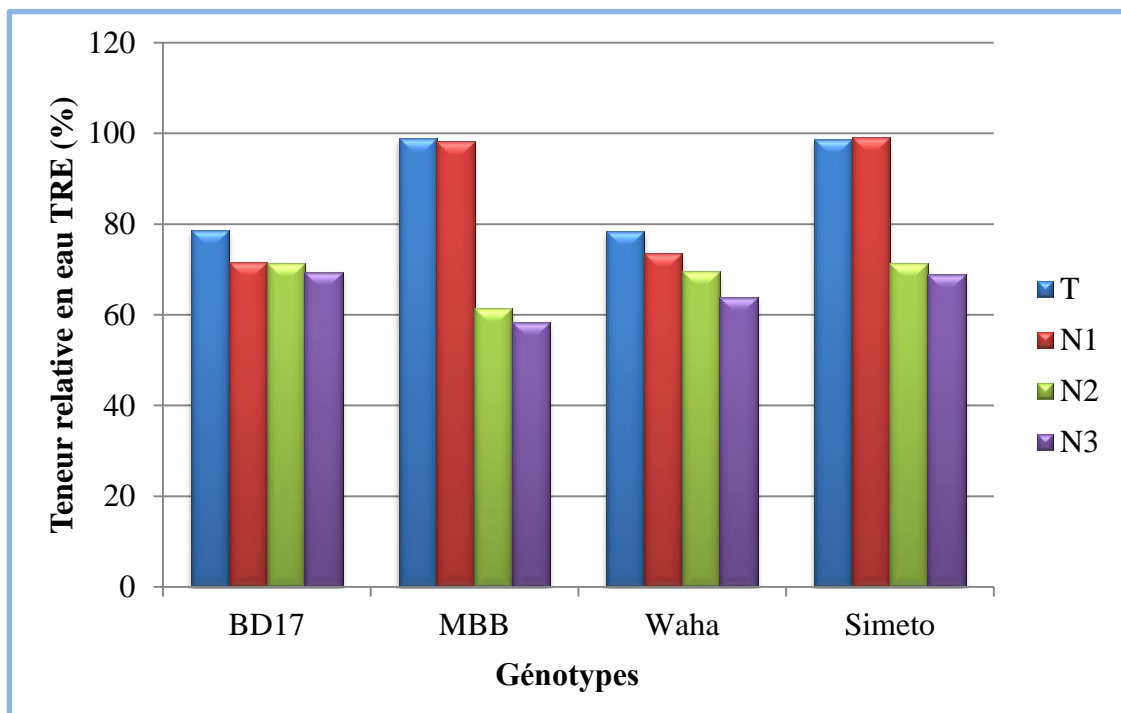


Figure 11: Effet du stress hydrique sur la teneur relative en eau de variétés étudiés.

L'analyse des résultats obtenus (**Tableau 04, Annexe 04**) du teneur relative en eau démontre que la teneur en eau est varié d'une manière non significative entre les quatres variétés en présence du stress hydrique.

L'effet du stress hydrique au niveau de paramètre teneur relative en eau est très hautement significatif chez la variété MBB, et hautement significatif chez la variété Simeto, alors que chez les deux variété Waha et MBB l'effet du stress n'est pas significatif (**Tableau 01, Annexe 03**).

Ces résultats concordent avec les travaux de **Bajji et al, (2001)** qui ont montré que la teneur en eau des feuilles de blé dur diminue proportionnellement avec la réduction d'eau contenue dans le sol.

Selon (**Slafer et Andrade, 1990**), la diminution de la teneur relative en eau est due à la fermeture des stomates à cause de l'élévation de la température. **Boutraa et al, (2010)** ; **Huseynova, (2012)** ; **Thameur et al, (2011)** notent que la diminution de la teneur relative en eau est plus rapide chez les variétés sensibles que chez les variétés résistantes. Cette dernière est considérée comme une contrainte à l'augmentation des rendements en zones semi-arides. Donc, les variétés de blé qui ont une teneur relative en eau importante sont plus tolérantes à la sécheresse.

Matin et al, (1989) in Nouri, (2002) montrent que les génotypes qui maintiennent une teneur relative en eau élevée dans la présence de stress hydrique sont des génotypes tolérants.

III.3.2. Action du déficit hydrique sur la teneur en pigments chlorophylliens

III.3.2.1. Teneur en chlorophylle a (Chl a), Chlorophylle b (Chl b) et la chlorophylle totale

Comparativement entre les variétés conduites, l'impact des variations du régime hydrique est perçu de manières similaires pour la teneur en chlorophylle a, chlorophylle b et chlorophylle totale.

En effet, les **figures 12, 13 et 14** indiquent que pour les plantes témoins la variété Simeto affiche les teneurs les plus importantes de Chl a, Chl b et Chl tot avec respectivement (18.2 ± 0.44), (12.35 ± 0.65) et (30.59 ± 0.72) $\mu\text{g.g}^{-1}\text{MF}$, suivie par la variété Waha avec respectivement (17.39 ± 0.25), (10.15 ± 0.58) et (27.54 ± 0.12) $\mu\text{g.g}^{-1}\text{MF}$, alors que chez la variété MBB on a enregistré respectivement (15 ± 0.23), (12 ± 0.25) et (27 ± 0.09) $\mu\text{g.g}^{-1}\text{MF}$ et enfin la variété Bd 17 qui donne les valeurs les plus faibles respectivement (11.25 ± 0.39) (3.5 ± 0.25) et ($14.75 \pm$) $\mu\text{g.g}^{-1}\text{MF}$.

Pour les plantes conduites sous différents niveaux du stress hydrique on note que les valeurs de teneurs de Chl a, Chl b et Chl tot diminuent avec l'augmentation du stress hydrique chez les différents génotypes étudiés par rapport au témoin. On note que ces valeurs sont différent selon les variétés.

A partir des moyennes enregistrés, on constate que la variété Bd 17 est en premier position, suivie par les deux variétés Simeto et MBB, et enfin la variété Waha par rapport aux teneurs en chlorophylle totale, avec comme moyenne des niveaux de stress appliqué (24.97, 22.83, 20.39, 17.39 $\mu\text{g.g-1MF}$) respectivement (**Tableau 03**).

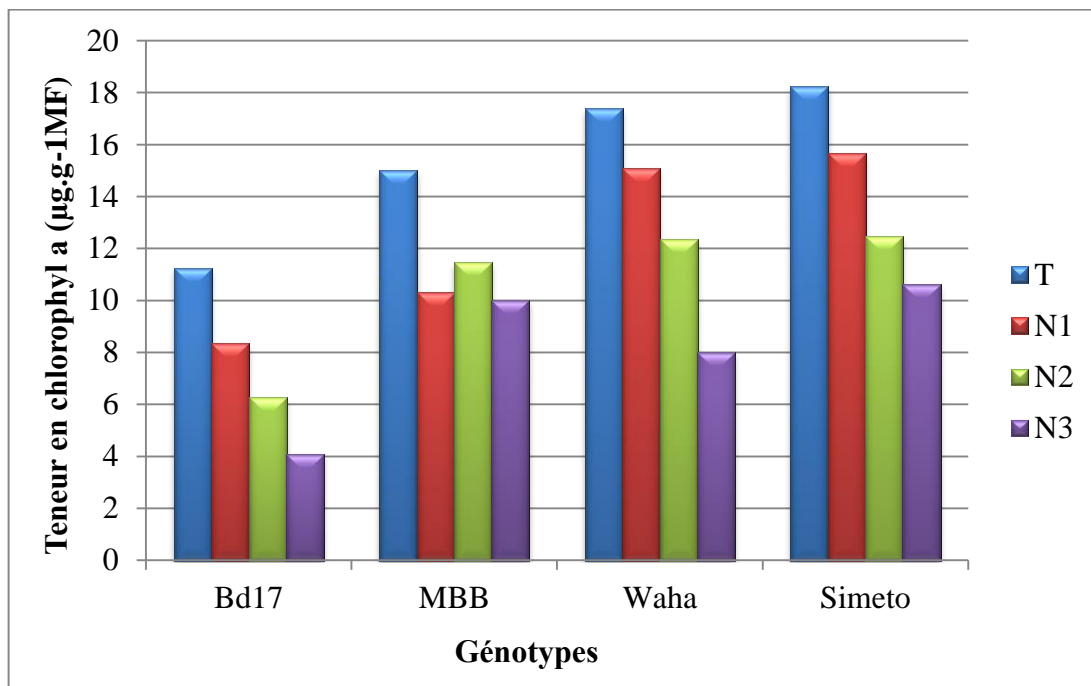


Figure 12: Teneur en chlorophylle a (Chl a) des feuilles des plantes des variétés étudiés conduites sous différents niveaux de stress hydrique.

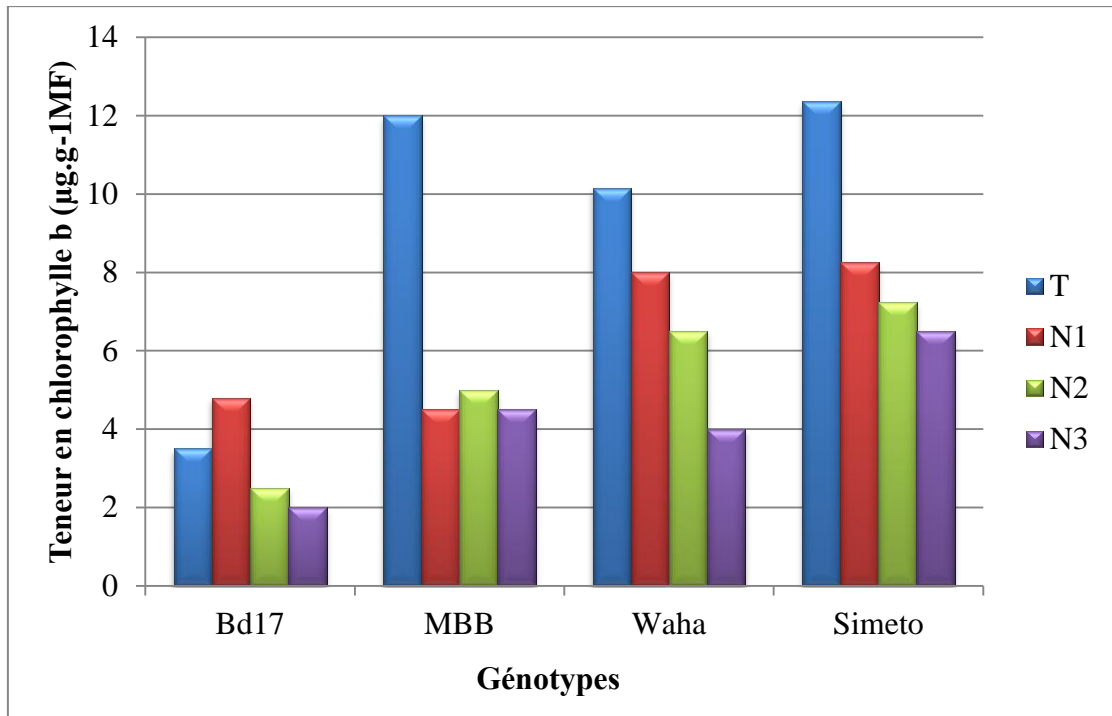


Figure 13: Teneur en chlorophylle b (Chl b) des feuilles des plantes des variétés de blé conduites sous différents niveaux de stress hydrique.

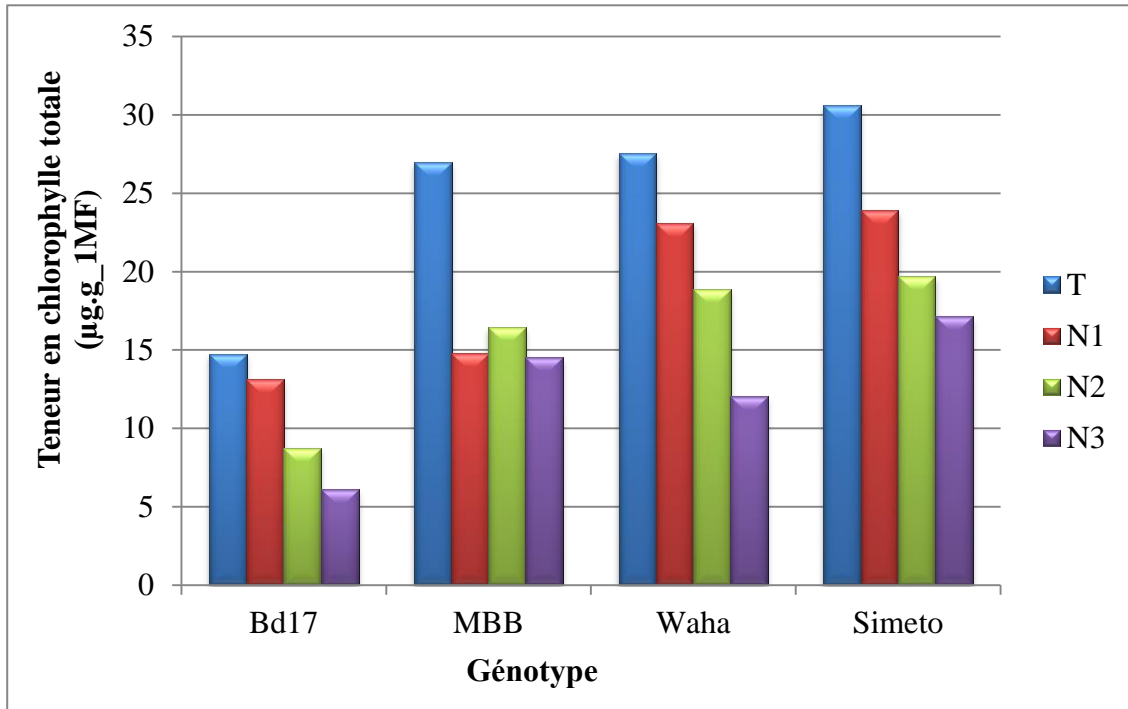


Figure 14: Teneur en chlorophylle totale (Chl a + Chl b) des feuilles des plantes des variétés de blé conduites sous différents niveaux de stress hydrique.

L'étude des résultats obtenus (**Tableau 05, Annexe 04**) démontre que la teneur en Chl a est variée d'une façon très hautement significative entre les quatre variétés en présence du stress hydrique.

La teneur en Chlorophylle totale est variée d'une manière significative entre les quatre variétés en présence du stress hydrique (**Tableau 01, Annexe 03**).

III.3.2.2. Teneur en caroténoïdes

Les résultats présentés dans la **figure 15** montre que La teneur en caroténoïdes est affectée par le déficit hydrique de manière proportionnelle à l'intensité du stress hydrique appliqué. Pour les feuilles des plantes témoins, la teneur en caroténoïdes est limitée entre $(5.98 \pm 0.11) \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{MF}$ pour la variété Simeto et $(5.09 \pm 0.79) \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{MF}$ pour la variété Bd 17.

Pour les plantes conduites sous différents niveaux du stress hydrique on note que les valeurs de teneur en caroténoïdes diminuent en corrélation avec l'augmentation du stress hydrique chez les différents génotypes étudiés par rapport au témoin.

A partir des moyennes enregistrés, on constate que la variété Simeto est en première position suivie par les variété Waha et MBB, et enfin la variété Bd 17 par rapport aux teneurs en caroténoïde, avec comme moyenne des niveaux du stress appliqué (5.54, 5.41, 4.90, 3.17 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{MF}$) respectivement (**Tableau 03**).

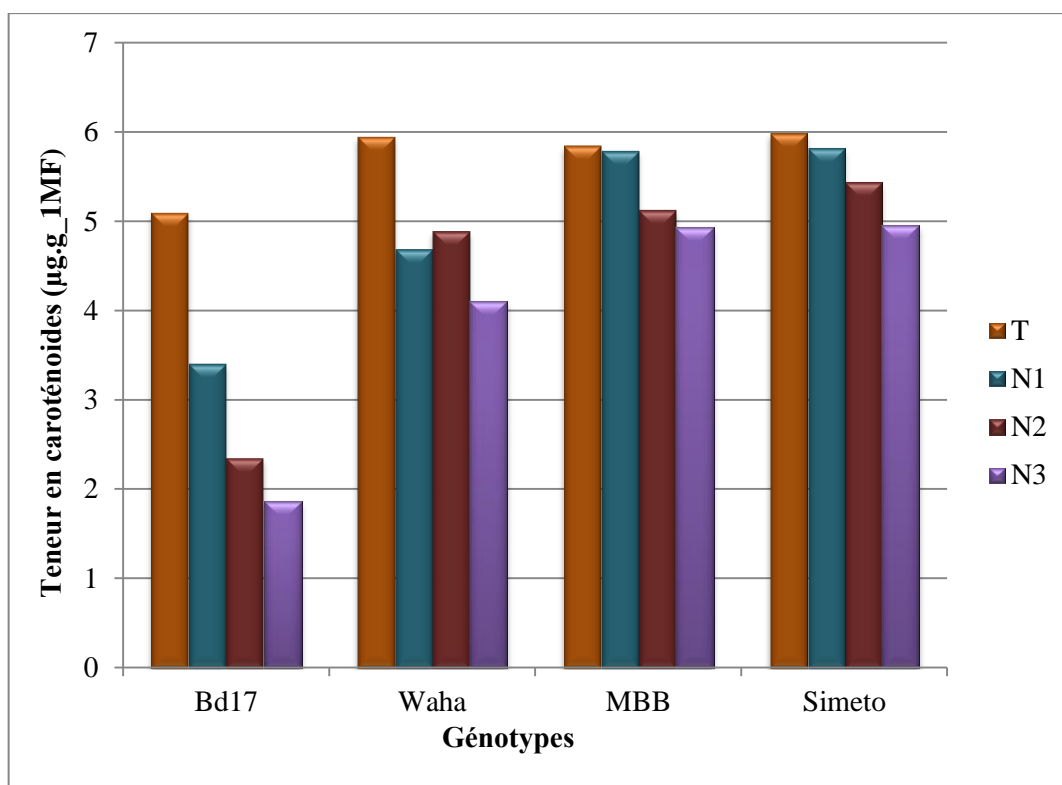


Figure 15: Teneur en caroténoïdes des feuilles des plantes des variétés de blé conduites sous différents niveaux de stress hydrique

L'analyse statistique des résultats (**Tableau 06, Annexe 04**) montre bien l'existence de différence significative entre les quatre variétés en présence du stress hydrique.

L'influence du stress hydrique au niveau de paramètre teneur en caroténoïdes est très hautement significatif chez les la variété Simeto que la variété Waha , alors que chez la variété Bd 17 l'effet du stress est non significatif (**Tableau 01, Annexe 03**).

Ces résultats sont en concordance avec ceux de **Boutraa et al, (2010)** qui ont montré que sous un stress hydrique, une diminution de la teneur en chlorophylle est remarquée chez le blé dur.

Hannachi (2013) montre que les variétés locales se caractérisent par un contenu en chlorophylle relativement faible.

Les plantes de blé sous stress hydrique réagissent par une baisse de leur teneur en chlorophylle totale qui peut être dû à une dilution suite au maintien d'une teneur relative en eau élevée. Cette baisse est d'autant plus importante que l'intensité du stress est plus accentuée (**Bousba. 2012**).

D'après **Mekliche et al, (2003)** les différences de chlorophylle observées chez les génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sont en fonction de la tolérance au stress.

Selon **Tahri et al, (1997)**, une baisse dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles a et b) a été enregistrée chez le blé dur sous l'effet du stress. Par ailleurs, nous remarquons une cette diminution de la teneur en pigments chlorophylliens (chlorophylle a, b) et caroténoïdiques avec le stress hydrique, cela peut être due à la fermeture partielle des stomates qui limite la photosynthèse ou peut être le résultat de la dégradation de la chlorophylle (**Fahmi et al., 2011**).



Conclusion

Conclusion

La sécheresse constitue la principale contrainte abiotique responsable de la faiblesse du rendement des céréales et celui du blé dur. La résistance à la sécheresse est un phénomène complexe faisant intervenir devant les contraintes environnementales, de nombreux mécanismes d'adaptation interagissant entre eux et les conditions du milieu.

L'identification des mécanismes de résistance demeure déterminante dans toutes les manipulations de création de matériel végétal tolérant à cette contrainte abiotique. Le travail entrepris se fixait comme objectifs la sélection des paramètres d'ordre divers impliqués dans la fonction de tolérance au déficit hydrique chez le blé dur.

Lors de cette étude nous avons étudié la réponse de ces quatre variétés de blé dur au stress hydrique (70, 40, et 25% de CC), par analyse comparative de quelques paramètres morphologiques et physiologiques.

Notre étude a montré que le blé est une plante sensible aux contraintes abiotiques qui limitent la productivité céréalière.

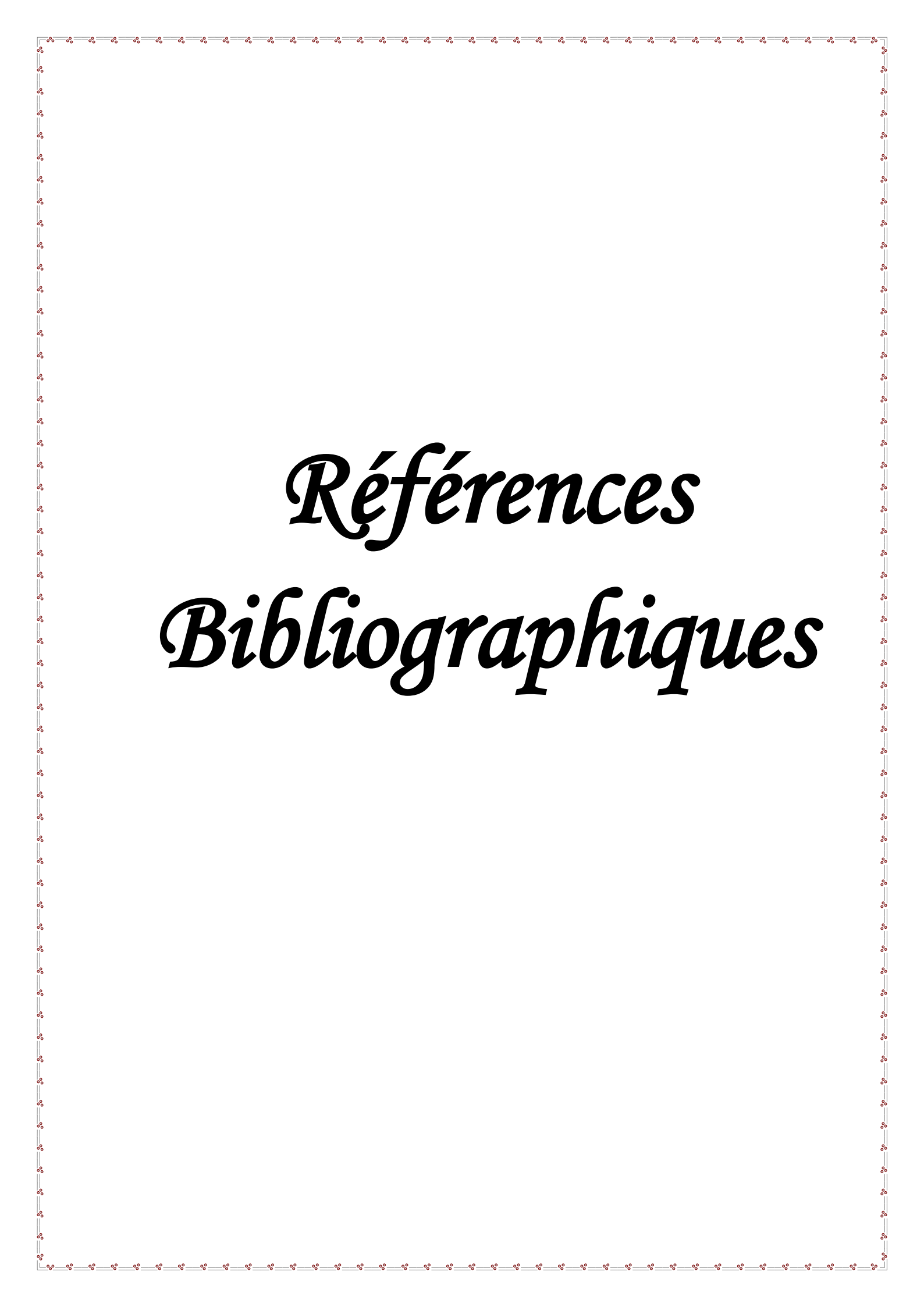
La réponse au stress hydrique chez les quatre variétés de blé dur testées (Bidi 17, Mohammed Ben Bachir, Waha et Simeto) révèle l'existence d'une grande variabilité pour la plupart des paramètres morphologiques et physiologiques mesurés, à savoir, la longueur et le nombre des racines, la surface foliaire, la teneur relative en eau et le taux des pigments chlorophylliens. L'effet du stress hydrique est bien marqué entre les génotypes témoins et leurs stressés.

L'examen de l'ensemble des résultats obtenus dans cette partie de l'étude permet de mettre en évidence les points suivants :

Une forte diminution de la surface de la feuille, la longueur et le nombre des racines, de la teneur relative en eau, et du taux des pigments chlorophylliens.

En fin, l'étude a montré que les quatre génotypes étudiés ont utilisé les mêmes stratégies de la réponse au stress hydrique mais avec des fréquences différentes. Cela peut être utilisé comme éléments de sélection et d'amélioration du blé.

En perspectives, il est souhaitable dans un futur travail, d'élargir l'étude sur plusieurs stades et cycle de développement de la plante, ainsi l'utilisation d'autres paramètres morphologiques et physiologiques comme critères de sélection et d'amélioration des plantes et d'appliquer l'étude sur d'autres types de stress et/ou contraintes biotiques et abiotiques afin de cerner à mieux la problématique proposée.



Références

Bibliographiques

- Adda, A., Sahnoune, M., Kaid-Harch, M., Merah, O. (2005).** Impact of water deficit intensity on durum wheat seminal roots. *C. R. Biologies*, 328: 918-927.
- Allaya, M. (1998).** Annuaire des économies agricoles et alimentaires des pays méditerranéens et arabes. M. C. I. Montpellier, 455 pages.
- Amokrane, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Djekoun, A. (2002).** Caractérisation des variétés locales, syriennes et européennes de blé dur évaluées en zone semi-aride d'altitude. *Sciences et Technologie. Univ. Mentouri. Constantine*, N° spécial D: 33 - 38 p.
- Anonyme, (2003).** Le débat de semences. Solution pour les lois nationales régissant les contrôles des ressources génétiques et des innovations biologiques. Groupes crucible Centre de recherche pour le développement internationale. Institut International des Ressources phylogénétiques et la Fondation Dag Hammorskjöld. Vol II, 265p.
- Anonyme. (2011).** Constantine un rendement de 40 à 45 quintaux à l'hectare céréales attendus cette saison. *Transaction d'Algérie*, le 4 février 2010.
- Araus, J. L., Slafer, G.A., Reynolds, M. P., Royo, C. (2002).** Plant breeding and water relations in C3 cereals. What should we breed for? *Annals of Botany*, 89: 925-940.
- Bagga A.K., Ruwal., K.N., Asana, R.D. (1970).** Comparison of some Indian and semi-dwarf Mexican wheat to unirrigated cultivation. *IndianJ. Agric. Sci*, 40: 421- 427.
- Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmahammed, A. (2005).** Selection of stable and high yielding cultivar of durum wheat under semi-arid condition. *Pakistan journal of Agronomy*, 4: 360-365.
- Bajji, M. (1999).** Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés In vitro. Thèse de doctorat. Univ Louvain.
- Baldy, C.H. (1973).** Progrès récents concernant l'étude du système racinaire du blé. *Ann. Agron.* 24 (2).
- Baldy C. (1974).** Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques : leur influence sur la production des principales zones céréalières d'Algérie. Document technique, Projet céréales. 152p.

- Baldy, C.H. (1992).** Effet du climat sur la croissance et le stress hydrique des blés en méditerranée occidentale. Dans: tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale, Montpellier. Les colloques de l'INRA, 64: 83-100.
- Barrs, H.D., Weatherley, P.E. (1968).** A reexamination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. A. J. B. S, 15 :413-428.
- Belaid, D. 1996.** Aspects de la céréaliculture algérienne. INES. D'Agronomie, Batna. 187p.
- Benlaribi, M. (1990).** Adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Etude des caractères morphologiques et physiologiques. Thèse Doctorat d'état, université de Constantine, 145 p.
- Benlaribi, M., Monneveux, P., Grignac, P. (1990).** Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Agronomie, 10: 305-322.
- Benmahammed, A., Kribaa, M., Bouzerzour, H., Djekoun, A. (2010).** Assessment of stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare*L.) advanced breeding lines under semi arid conditions of the eastern high plateaus of Algeria *Euphytica*, 172 (3) :383-394.
- Ben Naceur, M., Gharbi, M.S., Paul, R. (1999).** L'amélioration variétale et les autres actions contribuant à la sécurité alimentaire en Tunisie en matière de céréales. *Sécheresse*, 10 : 27- 33.
- Ben Salem, M., Boussen, H., Slama, A. (1997).** Évaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : recherche de paramètres précoces de sélection. Sixièmes Journées scientifiques du réseau Biotech.-Génie Génétique des plantes, Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF / U R E F). Orsay. *Sécheresse*, 2: 75- 83.
- Benseddik, B., Khelloufi, B. (2000).** Impact du risqué climatique sur le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride : approche éco-physiologique. *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 11 (1) :45 -51.
- Bernard, R. (2006).** L'eau et la vie. (éd).Dauphin. Paris : 13- 59 p.
- Bill, I., (2007).** La biologie de A à Z : 1100 définitions. Ed. Dunod, Paris, pp : 123.

- Blum, A. (1996).** Crop responses to drought and the interpretation of adaptation plant growth regulation, 20: 135 – 148.
- Bonjean, A., Picard E. (1990).** Les céréales à paille origine, historique, économie et sélection. Ed. Nathan, 235p.
- 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, 21 :29-37.
- Boulal, H., Zahgouane, O., El Mourid, M., Rezgui, S. (2007).** Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. ITGC, INRA, ICARDA. 176P.
- Bousba, R., 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: 609 -616 .
- Boutfirass, M., Karrou, M., EL Mourid, M. (1994).** Irrigation supplémentaire et variétés de blé dans les zones semi-arides du Maroc. In : El Gharous M., Karrou M. et El Mourid M. (Eds) ; Aquis et perspectives de la recherche agronomique dans les zones arides et semi-arides du Maroc. INRA-MIAC Eds. Actes de conférence, Rabat 24-27 Mai 1994, Maroc, 176-179.
- Boyer, JS. (1982).** Plant productivity and environnement. Sci, New series., 218 : 443 – 448.
- Bozzini, A. (1988).** Origin, distribution and production of durum wheat in the world.
- Braam, J., Sistrunk, M., Polisensky, D.H., Xu, W., Purugganan, M.M., Antosiewicz, D. M., Campbell, P., Johnson K. A. (1997).** Plant responses to environmental stress: regulation and functions of the Arabidopsis TCH genes. Planta, 203 : 35 – 41.
- Chahbar, S., Belkhodja, M. (2016).** Effet du déficit hydrique sur certains osmolytes chez cinq variétés de blé dur (*Triticum durum*. Desf). International Journal of Innovation and Applied Studies, 17 (3) :757-767.
- Chenaffi, H., Aïdaoui, A., Bouzerzour, H., Saci, A. (2006).** Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi-arid growth conditions. A. J. P. S, 5 : 854-860.

- Clarke, 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. *C. J. P. canadienne de phytotechnie*, 82 : 27-33.
- Clément, G., Prats J. (1970).** Les céréales. Collection d'enseignement agricole. 2ème Ed. 351 p.
- Daaloul, A., Bchini, H., Sayar, R. (2014).** Variabilité génétique de quelques paramètres du système racinaire du blé dur (*Triticum durum* Desf) sous deux régimes hydrique. Bioersivity International, FAO, 129 :25 – 31.
- Davidson, DJ, Chevalier PM. (1990)** Pre-anthesis tiller mortality in spring wheat *Crop Sciences*, 30 :832-836.
- Debaeke, P., Cabelguenne, M., Casals, M.L., 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 .
- De Raissac, M. (1962).** Mécanisme d'adaptation à la sécheresse et maintien de la productivité des plantes cultivées. *A. T*, 46 : 29-39.
- Destrait, F., Defense T. 2011.** Des céréales pour nourrir le monde. *Défis Sud*, 100 :10-12.
- Dixon, R., Paiva, N. L. (1995).** Stress - induced phenylpropanoid metabolism. *The plant cell* .7: 1085 – 1097.
- Djekoun, A., Ykhlef N., Bouzerzour H., Hafsi M., Hamada Y., Kahali . (2002).** Production du blé dur en zones semi-arides: identification des paramètres d'amélioration du rendement. Act des 3ème Journées Scientifiques sur le blé dur. Constantine.
- El hassani, T. A., Persoons, E. (1994).** *Agronomie moderne. Bases physiologiques et agronomiques de la production végétale.* (Éd). AUPELF-UREF : 544 p.
- El-Jaafari, S., Paul, R. (1993).** Accumulation foliaire de proline et résistance à la sécheresse chez le blé (*Triticum aestivum* L.). *A. I. P. B. B.101*: 88-92.
- El Mourid, M., Karrou, M., EL Gharous, M., (1996).** La recherche en aridoculture respectueuse de l'environnement. *Al Awamia*, 92: 69-81.

- Feldman, M. (2001)**. Origin of Cultivated Wheat. Dans Bonjean A.P. et W.J. Angus (éd.) The World Wheat Book: a history of wheat breeding. Intercept Limited, Andover, Angleterre: p 3-58.
- Feuillet, P. (2000)**. Le grain de blé, composition et utilisation. Ed INRA. Paris, 88-199.
- Garcia Del Moral, L.F., Rharrabti, Y., Villegas, D., Royo, C. (2003)**. Evaluation of Grain Yield and its Components in Durum Wheat under Mediterranean Conditions: An Ontogenic Approach. *Agron*, 95: 266-274.
- 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 du carbone des grains. Colloque Diversité génétique et amélioration variétale Montpellier (France). *Les colloques*. 64. Inra. Paris.
- Gate, P. (1995)**. Ecophysiologie du blé, Edit. Lavoisier, Paris, Techniques et documentation, 429, p.
- Gate, P., Giban, M. (2003)**. Stade du blé. Ed. Paris, ITCF. 68p.
- Gonzalez, A., Martin, I., Ayerbe, L. (1999)**. Barley yield in water stress conditions. The influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance. *F. C. R* , 62: 23 - 34 .
- Grignac, P., 1965**. Contribution d l'étude de (*Triticum durum* Desf.) Thèse, F.S. Toulouse : 152 p.
- Grignac, P. (1978)**. Amélioration variétale de blé dur (*Triticum durum* Desf.).Annale de l'INA (El – Harrach) ,83 -110.
- Guettouche, R. (1990)**. Contribution à l'identification des caractères morphophysiologiques d'adaptation à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Thèse diplôme d'agronomie approfondie.
- Hadjichristodoulou, A. (1985)**. Stability performance of cereals in low rainfall areas as related to adaptative traits. In : drought tolerance in winter cereals. Srivastava J.P., Porceddu E., Acevodo E., Varma S. (éd). John Wiley and sons. UK: 191 -200 p.

- Hamadache, A., Abdellaoui, Z., Aknine, M.(2002).** Facteurs Agrotechniques D'amélioration de la Productivité du blé dur en Algérie. Cas de la zone subhumide. Recherche Agronomique N° 10, p.6.
- Hamed, M. (1979).** Plantes et culture des cultures céréalières, les cultures légumineuses. Syria.
- Herve Y., (1979).** Introduction à l'amélioration des plantes. Cours. École nationale supérieure agronomique de Rennes.
- Houot, S., Mordelet, P., Tardieu, F., Molina, J. (1990).** Effet de tassement du sol sur la biomasse microbienne et la libération d'azote. Symp. INRA-Paris Grignon, France, PP : 201-207.
- Hsissou, D. (1994).** Sélection In vitro et caractérisation de mutants de blé dur tolérants à la sécheresse. Thèse de doctorat. Univ. Catholique de Louvain.
- Hucl, P., Baker, R.J. (1998)** Tillering patterns of spring wheat genotype grown in a semi-arid environment. Can J Plant Sci 1989 , 69 :71-9.
- INRA. (2000).** La résistance des plantes à la sécheresse. Centre de Montpellier.
- Jones, H.G., Flowers, T.J., Jones, M.B. (1989).** Plants Under Stress. Univ. Cambridge.
- Kara, Y., Martin, A., Souyris, I., Rekika, D., Monneveux, P. (2000).** Root characteristics in durum wheat (*T. turgidum conv. Durum*) and some wild Triticeae Species. Genetic variation and relationship with plant architecture. C. R. C, 28 (3), 147-254.
- Kara, Y., Bellkhiri, CH. (2011).** Etude des caractères d'adaptation au déficit hydrique de quelques variétés de blé dur et d'espèces sauvages apparentées : Intérêt potentiel de ces variétés pour l'amélioration de la production, 11 :119-126.
- Karou, M., Haffid, R., Smith, D.N., Samir, K. (1998).** Roots and shoot growth water use and water use efficiency of spring durum wheat under early –season drouth. Agronomie ,18 :18 :186.
- Laberche, J-C .(2004).** La nutrition de la plante In Biologie Végétale. Dunod. 2^{eme} (éd). Paris: 154 -163 p.

- Lamaze, T., Tusch, D., Sarda, X., Grignon, C., Depigny-This, D., Monneveux, P., Belhassen, E. (1994).** Résistance de plantes a la sécheresse: mécanismes physiologiques. Le sélectionneur Français, 45: 75-85.
- Larcher, W. (1995).** Plant under stress. In, Physiological Plant Ecology. 3ème ed. Springer, 321-448.
- Leclerc, J.C. (1999).** Ecophysiologie végétale. Publication de l'université de Saint Etienne. Paris: 283 p.
- Legg, B.J., Day, W., Lawlor, D.W., et Parkinson, K.J. (1979).** The effects of drought on barley growth: models and measurements showing the relative importance of leaf area and photosynthetic rate. J. Agric. Sci., 92: 703-716.
- Levitt, J. (1980).** Responses of plants to environmental stresses. Academic Presse, New York.
- Madhava Rao, K.V., Raghavendra, A.S. Janardhan, Reddy, K. (2006).** Printed in the Netherlands. Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. Springer: 1-14 p.
- Mazoyer, M. 2002.** La rousse agricole. Ed. Paris, pp : 320-321 ; 673.
- Mckinney, G. (1941).** Absorption of light by chlorophyll solutions. J. Biol. Chem., 140: 315-322.
- Mefti, A., Abdelguerfi, A., Chebouti, A. (2000).** Etude de la tolérance à la sécheresse chez quelques populations de *Medicago truncatula* (L.). Field Crops Research, 66: 165-174.
- Mekhlouf, A., Bouzerzour H., Dehbi F., Hannachi A. 2001.** Rythme de développement et variabilité de réponses du blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux basses températures. Tentatives de sélection pour la tolérance au gel. In Proceeding Séminaire sur la valorisation des milieux semi arides. Université, Oum El Bouaghi.
- Meyer, W.S., Alston, A.M. (1978).** Resistance to water flow in the seminal roots of wheat. J. E. B, 29 (113).
- Monneveux, P. 1989.** Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver. Journées Scientifiques de l'AUPELF : " Amélioration des plantes pour l'adaptation au milieu aride". Tunis, 4 -9 Décembre.

- Monneveux, P. 1991.** Quelle stratégie pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver, In : Chalbi Demarly Y. éd. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey. ENSA-INRA,165-186.
- Morizet, J. (1984).** Essai d'amélioration de la résistance à la sécheresse du tournesol (*Helianthus annuus*) par croisement interspécifiques avec une espèce sauvage (*Helianthus argophulus*). Agro vol 4, N°6.
- Morort-Gaudry, J.F. 1997.** Le double jeu de la Rubisco. Biofutur, 28-30.
- Mouellef, A (2010).** Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf .) au stress hydrique. Thèse de Magister en Biotechnologie végétale. Université Mentouri, Constantine.
- Nadjem, K. (2012).** Contribution à l'étude des effets de semis direct sur l'efficacité d'utilisation de l'eau et le comportement variétale de la culture de blé en région semis aride. mémoire de Magister. Université Ferhat Abbas, Sétif.
- Nana, R., Tamini, Z., Sawadogo, M. (2009).** Effets d'un stress hydrique intervenu pendant le stade végétatif et la phase de floraison chez le gombo. *Int.J.Biol.Chem.Sci*, 3 (5) : 1161-1170.
- Nana, R., Tamini, Z., Sawadogo, M., Some, P.P. (2010).** Etude morphologique comparative de cinq variétés de gombo (*Abelmoschus esculentus* L.) soumises à un stress hydrique. *10 (03)* :28-38.
- Paul, M.H., Planchton, C., Ecochard, R. (1979).** Etude des relations entre le développement foliaire, le cycle de développement et la productivité chez le soja. *Amélio plants*, 29 : 479 -492.
- Pfeiffer, W.H., Sayer, K.D., Reynolds., M.P. (200).** Enhancing genetic grain yield potentiel and yield stability in durum wheat. *Options méditerranéennes*.40: 83-93.
- Pomeranz, Y. (1988).** Chemical composition of kernel structures. *Wheat chemistry and technology*, 1: 97-158.
- Poorter, H. (1989).** Interspecific variation in relative growth rate: on ecological consequences. In: Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants.

- Rastoin, J. L., Benabderrazik, L. H. (2014).** Céréales et oléoprotéagineux au Maghreb : Pour un co-développement de filières territorialisées. IPEMED.
- 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. *D. A.*, 36: 254-66.
- Riou, C. (1993).** L'eau et la production végétale. *Sécheresse*, 4: 75 – 83.
- Schiefelbein, J.W., Masucci, J.D., Wang, H. (1997).** Building a root: The control of patterning and morphogenesis during root development. *Plant Cell*, 9 :1089-1098.
- Salmi, M. (2015).** Caractérisation morpho-physiologique et biochimique de quelques générations F2de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. Mémoire de Magistère en Agronomie, Université Ferhat Abbes. Sétif.
- Selmi, R., (2000).** Fin du mythe de l'autosuffisance alimentaire et place aux avantages comparatifs. *Revue Afrique Agriculture*. N° 280.Pp.30-23. IN: Evaluation de la qualité d'un germoplasme de blé dur (*Triticum durum* Desf): appréciation de l'aptitude technologique et biochimique. Ait Kaki.S. (2001). Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba.
- Serrieys H. (1992).** Agro-physiological consequences of a divergent selection based on foliar desiccation in sunflower. In: *Physiology-breeding of winter cereals for stressed Mediterranean environments*. Eds. Acevedo E.; Conese E.; Monneveux P. and Srivastava J.P., INRA. *lescolloques* 55: 211-225.
- Simon, H., Codaccioni P., Lequeur X ., (1989).** Produire des céréales à paille Coll. *Agriculture d'aujourd'hui*. S. T. A, pp 63-296.
- 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).
- Slayter, R. (1974).** The effect of internal water status on plant growth development and yield In: *plant responses to climatic factors*. Proc.of upsal simpsium, Unesco.
- Soltner, D. (1990).** Les grandes productions végétales. 17^{ème} édition. Science et technique agricoles. France, 21-25.

- Sorrells, M. E., Diab, A., Nachit, M. (2000).** Comparative genetics of drought tolerance. *Options méditerranéennes série A (Séminaires méditerranéens)*, 40: 191-201.
- Surget, A., Barron C. 2005.** Histologie du grain de blé, *Industrie des céréales*, 145: 4-7.
- Tahri, E., Belabed, A., Sadki, K. (1997).** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Bulletin de l'Institut Scientifique. Rebat*.21: 81 - 89.
- Tanner, C.B., Sinclair, T. R. (1983).** Efficient water use in crop production: Research or re-research? In: Taylor, H.M, Jordan, W. R, Sinclair, T. R. (Eds). *Limitations to efficient water Use in Crop Production. American Society of Agronomy Madison WI* , 29-43.
- Triboï, E. (1990).** Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre. *Agronomie*. 10 : 191- 200.
- Tsimilli-Michael, M.M., Pêcheux, R.J., Strasser. (1998).** Vitality and stress adaptation of the symbionts of coral reef and temperate foraminifers probed in hospite by the fluorescence kinetics O-J-I-P. *Archs. Sci. Genève*, 51: 205 – 240.
- Turner, N. (1986).** Adaptation to water déficit: a changing perspective. *Aust J Plant Physiol.*, 13:175-190.
- Veselovsky, H. (1985).** Sunflower growing. *J. Selyskoe Hozayaystvo I lesovodstvo. T.O. XLVIII (In Russian)*.
- Villegas, D., Aparicio, N., Blanco, R., Royo, C. (2001).** Biomass accumulation and Main Stem Elongation of Durum Wheat Grown under Mediterranean Conditions. *Annals of Botany*, 88: 617-627.
- Wang, W.X., Brak, T., Vinocur, B., Shoseyov, O., Altman, A. (2003).** Abiotic resistance and chaperones: possible physiological role of SP1, a stable and stabilising protein from *Populus*. In: Vasil IK (ed), *Plant biotechnology 2000 and beyond*. Kluwer, Dordrecht, 439-443.
- Xu, W., Campbell, P., Vargeese, A.K., Braam, J. (1996).** The Arabidopsis XET-related gene family : environmental and hormonal regulation of expression. *Plant J.* 9: 879 - 889 .

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

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

-Zitouni, Z (2006). Cinétique de quelques paramètres physiologiques du blé dur triticum durum (variété vitron) sous contrainte hydrique dans la plaine de Mitidja. Mémoire Ing. INA. El-Herrach, Alger.



Annexes

Annexe 01

Tableau 01: Les Moyennes des variables des paramètres morphologiques des quatre variétés étudiés sous différents niveaux du stress hydrique.

	Témoin	N1	N2	N3	M
	SF (cm²)				
Bd 17	16.990±0.433	13.890±1.162	11.269±1.393	11.293±0.577	13,3605
Waha	9.2±0.514	9.00±0.779	7.120±0.351	5.5±0.433	7,955
MBB	13.51±0.21	10.25±0.683	7.75±0.438	5.225±0.387	9,18375
Simeto	9.25±0.21	7.253± 0.421	5.5±0.683	5.037±0.351	6,76
Moyenne	12.24	10.09	7.90	6.76	
	Longueur des racines (cm)				
Bd 17	14	12	10	8	11
Waha	13.5	14	11.5	7	11.5
MBB	13	10.5	8	7	9.62
Simeto	16	13	11	8	12
Moyenne	14	12.37	10	7.5	
	Nombre des racines				
Bd 17	8	7	5	3.5	5.87
Waha	9.5	7.5	4.5	2.5	6
MBB	9	7	5	4	6.25
Simeto	6	5	4	3	4.5
Moyenne	8.12	6.62	4.62	3.25	

N_{1,2,3}= Niveau du stress hydrique (70, 40 et 10 % de CC successif ; Bd 17, Waha, MBB et Simeto = Génotypes étudiés ; **M** = Moyenne ; **SF** = Surface foliaire.

Annexe 02

Tableau 01: Les Moyennes des variables des paramètre physiologiques des quatre variétés étudiés sous différents niveaux du stress hydrique.

	Témoin	N1	N2	N3	M
	TRE (%)				
Bd 17	78.547±0.312	71.463±1.690	71.396±1.389	69.300±0.608	72.67
Waha	78.308±1.623	73.644±0.935	69.498±1.964	63.869±1.521	71.32
MBB	98.86±0.280	96.14±1.280	61.48±2.490	58.390±3.180	78.21
Simeto	98.77±1.05	99.07±0.64	71.28±1.750	68.87±1.762	83.99
Moyenne	63.92	85.07	68.41	65.10	
	Teneur en Chl tot ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{MF}$)				
Bd 17	14.75	27	27.54	30.59	24.97
Waha	27.54	23.09	16.46	12	19.77
MBB	27	14.8	16.46	14.5	20.39
Simeto	30.59	23.92	19.71	17.12	22.83
Moyenne	24.97	22.20	20.04	18.55	
	Teneur en caroténoïdes ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{MF}$)				
Bd 17	5.09 ± 0.79	3.4 ± 0.25	2.35 ± 0.36	1.86 ± 0.54	3.17
Waha	5.84 ± 0.52	5.78 ± 0.73	5.12 ± 0.84	4.93 ± 0.88	5.41
MBB	5.94 ± 0.14	4.68 ± 0.13	4.88 ± 0.9	4.11 ± 0.9	4.90
Simeto	5.98 ± 0.11	5.81 ± 0.54	5.43 ± 0.56	4.95 ± 0.14	5.54

N_{1,2,3}= Niveau du stress hydrique (70, 40 et 10 % de CC successif ; **Bd 17**, **Waha**, **MBB** et **Simeto** = Génotypes étudiés ; **M** = Moyenne ; **TRE** = Teneur relative en eau.

Annexe 03**Tableau 01** : La signification des paramètres étudiée chez les quatres variété

	Bd 17	MBB	Waha	Simeto
Longueur des racines	0,00106	0,00306	0,00195	0,00188
Nombre des racines	0,03035	0,02652	0,08281	0,07098
Surface foliare	0,00035	0,01209	0,00110	0,010216
TRE	5,06962	0,00037	5,85327	0,01021
Teneur en Chl a	0,02380	0,00042	0,002327	0,00063
Teneur en Chl b	0,46316	0,08574	0,01800	0,005806
Teneur en Chl tot	0,00240	0,00208	0,007908	0,01064
Teneur en caroténoïde	0,50958	0,005338	0,01854	0,004360

$P \leq 0.05$, $P \leq 0.01$, $P \leq 0.001$: Respectivement significative, hautement significative et très

hautement significative ; $P > 0.05$: non significative

Annexe 04

Tableau 01: Analyse de la variance de la longueur des racines des génotypes étudiés.

	S.C.E	DDL	C.M	Test F	P	T.C.F
Entre G	145,5644	1	145,5644	107,3389	0,000047	5,9873
Inter G	8,1367	6				
Totale	153,7011	7				

$P \leq 0.05$, $P \leq 0.01$, $P \leq 0.001$: Respectivement significative, hautement significative et très hautement significative ; $P > 0.05$: non significative ; S.C.E : somme des carrés des écartypes ; C.M : carré moyenne ; P : probabilité ; T.C.F : Test pour F ; S.V ; Source de variations ; Entre G : Entre génotypes ; Inter G : A l'intérieur des génotypes.

Tableau 02: Analyse de la variance de nombre des racines des génotypes étudiés.

	S.C.E	DDL	C.M	Test F	P	T.C.F
Entre G	19,9238	1	19,9238	17,4376	0,0058	5,9873
Inter G	6,8554	6	1,1425			
Totale	26,7792	7				

$P \leq 0.05$, $P \leq 0.01$, $P \leq 0.001$: Respectivement significative, hautement significative et très hautement significative ; $P > 0.05$: non significative ; S.C.E : somme des carrés des écartypes ; C.M : carré moyenne ; P : probabilité ; T.C.F : Test pour F ; S.V ; Source de variations ; Entre G : Entre génotypes ; Inter G : A l'intérieur des génotypes.

Tableau 03: Analyse de la variance de la surface foliaire des géotypes étudiés.

	S.C.E	DDL	C.M	Test F	P	T.C.F
Entre G	92,8833	1	92,88333	18,72589	0,004942	5,98737
Inter G	29,7609	6	4,96015			
Totale	122,6442	7				

$P \leq 0.05$, $P \leq 0.01$, $P \leq 0.001$: Respectivement significative, hautement significative et très hautement significative ; $P > 0.05$: non significative ; S.C.E : somme des carrés des écartypes ; C.M : carré moyenne ; P : probabilité ; T.C.F : Test pour F ; S.V ; Source de variations ; Entre G : Entre géotypes ; Inter G : A l'intérieur des géotypes.

Tableau 04: Analyse de la variance de la teneur relative en eau des géotypes étudiés

	S.C.E	DDL	C.M	Test F	P	T.C.F
Entre G	10968,3786	1	10968,3786	623,78983	2,71190	5,9873
INTER G	105,5007	6	17,58345			
Totale	11073,87933	7				

$P \leq 0.05$, $P \leq 0.01$, $P \leq 0.001$: Respectivement significative, hautement significative et très hautement significative ; $P > 0.05$: non significative ; S.C.E : somme des carrés des écartypes ; C.M : carré moyenne ; P : probabilité ; T.C.F : Test pour F ; S.V ; Source de variations ; Entre G : Entre géotypes ; Inter G : A l'intérieur des géotypes.

Tableau 05: Analyse de variance de la teneur en chlorophylle totale des géotypes étudiés.

	S.C.E	DDL	C.M	Test F	P	T.C.F
Entre G	10,2095	1	10,20955	7,14192	0,0369	5,9873
INTER G	8,5771	6	1,4295			
Totale	18,7866	7				

$P \leq 0.05$, $P \leq 0.01$, $P \leq 0.001$: Respectivement significative, hautement significative et très hautement significative ; $P > 0.05$: non significative ; S.C.E : somme des carrés des écartypes ; C.M : carré moyenne ; P : probabilité ; T.C.F : Test pour F ; S.V ; Source de variations ; Entre G : Entre géotypes ; Inter G : A l'intérieur des géotypes.

Tableau 06: Analyse de variance de la teneur en caroténoïde des géotypes étudiés.

	S.C.E	DDL	C.M	Test F	P	T.C.F
Entre G	29,8378	1	29,8378	8,6860	0,02570	5,98737
INTER G	20,6109	6	3,4351			
Totale	50,4487	7				

$P \leq 0.05$, $P \leq 0.01$, $P \leq 0.001$: Respectivement significative, hautement significative et très hautement significative ; $P > 0.05$: non significative ; S.C.E : somme des carrés des écartypes ; C.M : carré moyenne ; P : probabilité ; T.C.F : Test pour F ; S.V ; Source de variations ; Entre G : Entre géotypes ; Inter G : A l'intérieur des géotypes.

***Stress de la sechresse chez quatre variétés du blé dur (*Triticum durum* Desf.).
Un examen sur quelque caractéristiques morphologiques et les pigments.***

Résumé

Le déficit hydrique constitue le principal stress abiotique limitant considérablement la productivité du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en Algérie. L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de stress hydrique et la variabilité de la réponse chez quatre génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) Bidi 17, Mohammed Ben Bachir, Simeto et Waha. D'après l'étude des différents paramètres morphologiques et physiologiques, sous trois niveaux de stress (70, 40, 10 % de la capacité au champ). Les résultats obtenus montre que le stress hydrique a entraîné une réduction des paramètres morphologique. De même une diminution des paramètre physiologiques. En conclusion, l'étude a montré que le stress hydrique provoque les mêmes mécanismes de la réponse chez les génotypes étudiées mais à des degrés différents.

Mots clés : Blé dur (*Triticum durum* Desf.), déficit hydrique, Paramètres morphologiques et physiologique.

الملخص

نقص الماء من أهم العوامل البيولوجية التي لها تأثير على انتاجية القمح الصلب في الجزائر. الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير الاجهاد المائي و تنوع الاستجابة عند أربعة اصناف من القمح الصلب البيدي 17، محمد بن بشير، واحة و سيميتو. بعد دراسة مختلف المعايير المورفولوجية والفيزيولوجية، تحت ثلاث مستويات من الاجهاد (70. 40. 10 %). من السعة الحقلية. تبين النتائج المتحصل عليها ان الاجهاد المائي تسبب في انخفاض المعايير المورفولوجية و الفيزيولوجية. كما اظهرت الدراسة انه بوجود الاجهاد المائي تستجيب أصناف القمح الصلب المدروسة بنفس الآليات و لكن بدرجات مختلفة.

الكلمات المفتاحية: القمح الصلب، الاجهاد المائي، المعايير المورفولوجية و الفيزيولوجية.

Abstract

Water deficit is one of the major abiotic stresses limiting the productivity of hard wheat (*Triticum durum* Desf.) in Algeria. The objective of this work is to study the effect of water stress and the variability of the response in four genotypes of hard wheat (*Triticum durum* Desf.) Bidi 17, Mohammed Ben Bachir, Simeto and Waha. Based on the study of the various morphological and physiological parameters, under three stress levels (70, 40, 10 % of the field capacity). The results obtained show that the water stress induced a reduction of the morphological parameters; Similarly a decrease in physiological parameters. This study showed that some aspects of drought cause the same mechanisms of response in the genotypes studied but to different degrees.

Key words: Durum wheat (*Triticum durum* Desf.), Water deficit, Morphological and physiological parameters.

(Trit