



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم البيولوجية

Département des Sciences Biologiques



Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine Des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomique

Spécialité : Amélioration de la production végétale

Thème

Etude de variabilité morpho-physiologique et biochimique de sept variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en condition climatique semi-aride.

Présenté par : KHELIL Bochra

HAMMOUCHE Imene

Devant le jury :

Président : M^{me} MELOUANI N. MAB (Univ: Bordj Bou Arreridj)

Encadrant : M^{me} KELALECH H. MAA (Univ: Bordj Bou Arreridj)

Examineur 1 : M^{me} BOUSSAHEL S. MAA (Univ: Bordj Bou Arreridj)

Année universitaire : 2016/2017

REMERCIEMENT

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

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

Ont tiens aussi à exprimer notre plus grands respects et notre vifs remerciements à madame **MELOUANI Naziha** professeur à l'Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A. pour son acceptation de présider le jury.

Nos remerciements les plus profonds aux madame **BOUSSAHEL Soulef** professeur Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A qui n'ont fait l'honneur d'examiner ce travail.

Nos remerciements de fond à M^{em} **KLELECHE Haizia** professeur à l'université de BBA pour avoir accepté de diriger ce travail. Qu'elle trouve ici, l'expression de nous profonde reconnaissance, nous immense gratitude et nous grand respect, pour tous ses efforts, son savoir, ses idées, sa grande disponibilité, sa confiance et ses encouragements.

Nos sincères remerciements vont à Monsieur **FELLAHI Zine elAbidine** professeur à l'Université de BBA, qui a fait preuve d'une grande patience et qui a été d'une grande aide dans la réalisation de ce travail.

DEDICACES

Je dédie ce travail à:

Mes très chers parents pour leurs encouragements et pour leurs énormes sacrifices durant mes études ;

Mon très cher mari Ramzi qui m'a éclairé le chemin de la vie par son grand soutien et ses encouragements et qui a toujours aimé me voir réussir

Je les remercie ;

Mes sœurs et Mes frère

Tous mes collègues de Master 2, particulièrement Imano, Iman et Meriem,

Et toutes personnes qui me sont chers ;

BOCHRA

DEDICACES

Je dédie ce travail à:

Mes très chers parents pour leurs encouragements et pour leurs énormes sacrifices durant mes études ;

Je les remercie ;

Mes sœurs et Mon unique frère

Tous mes collègues de Master 2, particulièrement Bichou, Iman et Meriem,

Et toutes personnes qui me sont chers ;

IMENE

RESUME

Résumé

La sécheresse est le facteur le plus significatif et le plus limitant des cultures en général et du blé dur en particulier, surtout en zones semi-aride. L'objectif de ce travail est l'évaluation de la tolérance à la sécheresse chez quelques géotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.).

La présente expérimentation a été conduite au cours de la campagne agricole 2016-2017 sur la ferme de l'agriculteur Bachir Laabachi d'El Hammadia wilaya de Bordj Bou Arreridj avec sept variété de blé dur (*Triticum Durum* Desf.), qui sont Waha, Bousselem, Mexicali, Hoggar, Altar, Oued zennati, Polonicum.

Les mesures est portés sur les caractères morphologiques, physiologiques et biochimiques.

L'étude typologique, basée sur les indices de tolérance à la sécheresse, identifient Bousselem, Waha et Hoggar comme sont des variétés performants et tolérantes à la sécheresse comparativement à Altar, Oued Zenati et Polonicum, susceptibles au stress par contre la variété Mexicali qu'est la plus sensible à la sécheresse.

Notre étude nous a permis de choisir quelques variétés qui semblent être apte à ce développé convenablement dans les zones semi-arides.

Mots clés

Blé dur, stress hydrique, les indices de tolérance, sécheresse, les zones semi-arides.

ملخص

الجفاف هو العامل الأكثر تأثيرا معنويا و الأكثر تحديدا للمحاصيل عموما، و للقمح الصلب خصوصا، خاصة في المناطق شبه الجافة. الهدف من هذا العمل، هو تقييم تحمل الجفاف عند بعض الانماط الوراثية من القمح الصلب (*Triticum Durum*; Desf.) اجريت دراستنا في الموسم الزراعي 2016-2017، بمزرعة البشير لعباشي المتواجدة بالحمادية ولاية برج بوعريريج على سبعة اصناف من القمح الصلب وهي واحة بوسلام ميكسيكال هقار التار واد زناتي بولونيكوم .

اجريت القياسات على الصفات المورفولوجية، الفيزيولوجية و البيو كيميائية . دلت الدراسة التصنيفية على اساس مؤشرات تحمل الجفاف، على ان واحة، بوسلام و هقار هم الاكثر اداء و تحملا للجفاف مقارنة بالتار، واد زناتي و بولونيكوم التي كانت حساسة للإجهاد المائي و بالمقابل الصنف ميكسيكال كان الاكثر حساسية للجفاف. دراستنا سمحت لنا باختيار الاصناف التي يبدو انها قادرة على النمو، و اعطاء مردود حسن في المناطق شبه الجافة.

الكلمات المفتاحية

القمح الصلب، الاجهاد المائي، مؤشرات التحمل، الجفاف، المناطق شبه الجافة.

Abstract

Drought is the most significant and limiting factor in crops in general and durum in particular, especially in semi-arid areas. The objective of this work is the evaluation of drought tolerance in some genotypes of durum wheat.

The present experimentation was conducted during the agricultural campaign 2016-2017 on the farm of the farmer Bachir Laabachi of El Hammadia wilaya of Bordj Bou Arreridj with seven hard wheat varieties (*Triticum Durum* Desf.), which are Waha, Bousselem, Mexicali, Hoggar, Altar, Oued zennati, Polonicum.

The measurements are based on morphological, physiological and biochemical characteristics.

The typological study, based on drought tolerance indices, identifies Bousselem, Waha and Hoggar as drought tolerant varieties compared to Altar, Oued Zenati and Polonicum, which are susceptible to stress by the Mexicali variety, is the most sensitive to drought.

Our study allowed us to choose varieties that appear to be suitable for this development suitably in semi-arid areas.

Key words

Durum wheat, water stress, tolerance indices, drought, semi-arid areas.

LISTE DES ABRIVIATIONS

%: Pour cent

°C: Degré Celsius.

ALT: Altar

BOUSL: Bousselem

CHL: Chlorophylle

CIMMYT: Centre International pour l'amélioration de maïs et de blé

cm: Centimètre

cm²: Centimètre carré

DO: Densité optique

Fig : Figure

HOG: Hoggar

HPT : Hauteur de plante totale

IC: intégrité cellulaire

Kg: kilogramme

Km: kilomètre

l : Largeur moyenne de la feuille étendard

L: Longueur moyenne de la feuille étendard

LB: Longueur des barbes

LE : Longueur d'épi

LEN : Longueur d'entre nœud

LF : Longueur de feuille

m: mètre

MEXI: Mexicali

MF: Matière fraîche

mg: Milligramme

mm: millimètre

MO: matière organique

ONFAA: Observation National des Agriculteurs et Agroalimentaires

OZ: Oued Zenati

PF: Poids frais

PMG: poids de mille grains

POLO: Polonicum

PS: Poids sec

PT: Poids de turgescence

RN: route nationale

SF: Surface moyenne de la feuille étendard

TRE: Teneur relative en eau

WH: Waha

LISTE DES TABLEAUX

Tableau.01: La production mondiale de blé dur lors de la campagne 2013-2016.....	05
Tableau.02: Résultats d'analyse des échantillons du sol du site expérimental.....	15
Tableau.03: Nom et origine du matériel végétal utilisé dans l'expérimentation.....	16
Tableau.04: Principaux caractères des variétés étudiées.....	17

LISTE DES FIGURES

Fig.01: La production nationale des céréales lors de la campagne 2014/2015.....	06
Fig.02: Le cycle de développement du blé.....	09
Fig.03: Le site de l'essai.....	14
Fig.04 : Le dispositif de l'essai.....	18
Fig. 05: La longueur de 5 ^{ème} feuille.....	20
Fig.06: Courbe étalon du dosage de la proline.....	23
Fig.07: Courbe étalon du dosage des sucres solubles.....	24
Fig.08: Diagramme ombrothermique de la campagne 2016/2017 d'El Hammadia.....	25
Fig.09: Variation de la longueur de 5 ^{ème} feuille chez les sept variétés de blé dur étudiées...	26
Fig.10: L'évaluation de la surface foliaire de feuille étandard des sept variétés de blé dur étudiées.....	28
Fig.11: Variation de la hauteur de plante totale chez les sept variétés de blé dur étudiées..	29
Fig.12: Variation de la longueur d'épi chez les sept variétés de blé dur étudiées.....	31
Fig.13: Variation de la longueur de barbe chez les sept variétés de blé dur étudiées.....	32
Fig.14: Variation de la longueur d'entre nœud chez les sept variétés de blé dur étudiées...	33
Fig.15: Teneur relative en eau chez sept variétés étudiées.....	35
Fig.16: Teneur en chlorophylle (a) des FE des sept variétés étudiées.....	36
Fig.17: Teneur en chlorophylle (b) au niveau des FE sur sept variétés étudiées.....	37
Fig.18: Teneur en chlorophylle (a+b) au niveau des FE sur sept variétés étudiées.....	38
Fig.19: Transgressions de l'intégrité cellulaire chez sept variétés étudiées.....	40
Fig.20: L'évaluation de la teneur en proline des sept variétés étudiées.....	41
Fig.21: L'évaluation de la teneur en sucres solubles des sept variétés étudiées.....	42
Fig .22: Relation entre SFE et LB.....	44
Fig.23: Relation entre SFE et IC.....	44
Fig.24: Relation entre HPT et LE.....	45
Fig.25: Relation entre les sucres solubles et IC.....	45
Fig.26: Relation entre la proline et CHL a.	46

LISTE DES ANNEXES

Annexe 01: Méthodes de mesure les caractères morphologiques.

Annexe 02: Les étapes de détermination des caractères physiologiques et biochimiques.

Annexe 03: Résultats de mesure des caractères morphologiques, physiologiques et biochimiques.

Annexe 04: Analyse de signification des variables mesurées.

Annexe 05: Analyse des groupes homogènes.

Annexe 06: Les matrices de corrélation.

Annexe 07: Les données climatiques pour la campagne 2016/2017.

Sommaire

Résumé	
Liste des Abréviations	
Liste des Tableaux	
Liste des Figures	
Liste des Annexes	
Introduction.....	01
Chapitre I : Revue Bibliographique	
I.1.Historique, origine et classification.....	03
I.2.Botanique.....	04
I.3.Description générale.....	04
I.4.La reproduction en monde et en Algérie.....	06
I.5. Présentation de la culture.....	06
I.5.1. Rappels sur les caractéristiques morphologiques et le cycle végétatif de la céréale.....	06
I.5.1.1.Caractéristiques morphologiques.....	06
I.5.1.2.Le cycle végétatif de la céréale.....	07
I.6. Le stress hydrique.....	09
I.6.1. Effet du stress hydrique sur la photosynthèse.....	09
I.6.2. Effet du stress hydrique sur la croissance et le développement du blé.....	10
I.6.3. L'effet du stress hydrique sur le rendement.....	11
I.7. Mécanismes d'adaptation des plantes au stress hydrique.....	11
Chapitre II: Matériels et Méthodes	
II .1. Description du site expérimental.....	14
II .1.1. Situation géographique.....	14
II.1.2. Le sol.....	14
II.1.3. Le climat.....	15
II.1.3.1. Caractéristiques du climat de la campagne d'étude 2016/2017.....	15
II.2. Mise en place de l'expérimentation.....	16
II.2.1. Matériel végétal.....	16
II.2.2. Le dispositif expérimental.....	17
II.2.3. Conduite de la culture.....	18
II.3. Paramètres mesurés.....	19
II.3.1. Caractères morphologiques.....	19

II.3.2. Paramètres physiologiques.....	20
II.3.3. Paramètres biochimiques.....	22
II.4. Analyse des données.....	24

Chapitre III : Résultats et Discussions

III.1. Condition climatiques de l'année d'expérimentation 2016 /2017.....	25
III.2. Variation des caractères morphologiques.....	25
III .3. Variation des paramètres physiologiques.....	34
III.4. Variation des paramètres biochimiques.....	41
III.5. Analyse des liaisons inter- variables.....	43
III.6. Discussion générale.....	46
Conclusion.....	47

Référence Bibliographique

Annexes

Résumé

INTRODUCTION

Introduction

L'Algérie importe actuellement jusqu'à 3.5 x 10⁶ tonnes de blé dur, le rendement grain national de cette culture est le plus faible du bassin méditerranéen (**Amokrane et al., 2002**).

La majeure partie des emblavures se trouve localisée sur les hautes plaines caractérisées par l'altitude, des hivers froids, un régime pluviométrique insuffisant et irrégulier (**Amokrane et al., 2002**). La pluviométrie et les températures sont sujettes à de grandes variations intra et inter-annuelles, qui affectent sérieusement les rendements (**Bajji., 1999**). Dans les zones semi-arides, une grande hétérogénéité des formes de sécheresse sont rencontrées (**Amokrane et al., 2002**). La seule observation des variations pluriannuelles des rendements observés chez l'espèce ne permet pas de déterminer précisément les formes de réactions qu'elle développe (**Baker et al 2007**).

L'analyse doit alors être complétée par une meilleure compréhension des mécanismes de fonctionnement de la plante dans le but de déterminer les réponses physiologiques et morphologiques d'adaptation à la sécheresse (**Bajji., 1999**).

Cette adaptation variétale s'exprime selon (**Bajji., 1999**), comme une réponse à la contrainte imposée par une succession de modifications au niveau cellulaire, subcellulaire et moléculaire qui sont dépendants des potentialités génétiques. D'après (**Bajji., 1999**), beaucoup de graines sont ni complètement viables ni complètement mortes ; cette méthode est utilisée aujourd'hui à travers le monde comme une méthode très vivement recommandée pour estimer la viabilité des graines (**Bajji., 1999**).

La transgressivité de certains caractères intéressants pour les traits de tolérance au stress hydrique notamment a été rapportée par (**Baker et al 2007**), où certains génotypes ont des réponses spécifiques à l'égard du stress hydrique par une adaptation ou une accommodation transitoire exprimée à travers un trait morpho-physiologique. (**Baker et al 2007**) montrent qu'il est possible de mettre le milieu de son côté en localisant et en intensifiant les céréales dans les seules régions où les potentialités sont vite valorisées.

Selon (**Bajji., 1999**), l'objectif principal reste l'évaluation du type idéal (idiotype) et constitue une voie d'approche rigoureuse pour une meilleure productivité dans des conditions environnementales spécifiques. A ce titre, l'analyse prédictive, celle qui consiste à fournir une explication ultime du rendement obtenu, reste une voie privilégiée ; elle a comme objectif de traduire les réponses physiologiques et biochimiques en termes de niveaux d'adaptation vis-à-vis du stress hydrique (**Baker et al 2007**).

Ce travail a pour objectif de comparer le comportement de sept variétés de blé dur sous stress hydrique, ceci par l'étude de quelques paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques.

Notre mémoire est présenté en trois chapitres :

Le chapitre (I), est une synthèse bibliographique sur le blé dur, le stress hydrique et les mécanismes morpho physiologiques, biochimiques de la tolérance des plantes au stress hydrique.

Dans le chapitre (II), nous verrons successivement la description du matériel végétal, des conditions de culture et les méthodes d'analyse utilisées dans ce travail.

Le troisième (III) chapitre fait l'objet de la présentation des résultats obtenus dans ce travail et leur discussion.

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

CHAPITRE I
REVUE
BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Revue Bibliographique

I.1. Historique, origine et classification

Le blé est l'une des premières espèces cultivées par l'homme. Depuis plus de 7000 à 10000 ans le blé occupe le croissant fertile, zone couvrant la Palestine, la Syrie, l'Irak et une grande partie de l'Iran (**Croston et Williams, 1981**). Des vestiges de blés, diploïdes et tétraploïdes, remontant au VII^{ème} millénaire avant J.C ont été découverts sur des sites archéologiques au Proche Orient (**Harlan, 1975**).

Le blé dur espèce connue depuis la plus haute antiquité, appartient au groupe destétraploïdes, du genre *Triticum* qui comprend de nombreuses espèces. Le blé (*Triticum*), le riz (*Oriza L.*) et le maïs (*ZeamaysL.*) constituent la base alimentaire des populations du globe et semblent avoir une origine commune : issues d'une même espèce ancestrale qui aurait contenu tous les gènes dispersés chez les trois espèces actuelles (**Yves et De Buyser, 2000**).

Selon **Mackey, (1968)**, l'origine génétique du blé dur remonte au croisement entre deux espèces ancestrales *Triticum monococcum* et une graminée sauvage du nom d'*Aegilops speltaoides*. Le blé dur (*Triticum durum*) appelé ainsi en raison de la dureté de son grain, possède $2n=4x=28$ chromosomes. D'après **Feillet, (2000)**, le croisement naturel de *Triticum monococcum*(porteur du génome A) \times *Aegilops speltaoides*(porteur du génome B) a permis l'apparition d'un blé dur sauvage de type AABB (*Triticum turgidum ssp.dicocoides*) qui a ensuite progressivement évolué vers *Triticum turgidum ssp.dicoccum* puis vers *Triticum durum*(blé dur cultivé).

L'espèce *Triticum durum* s'est propagée dans trois zones différentes qui sont le bassin occidental de la Méditerranée, le sud de la Russie et le Proche Orient. Chaque zone donna naissance à des groupes de variétés botaniques aux caractéristiques phénologiques, morphologiques et physiologiques particulières (**Monneveux, 1991**).

Cette diversification morphologique a été mise à profit en sélection, notamment dans la recherche de gènes intéressants tels ceux qui contrôlent la résistance aux basses températures, plus présents chez les pôles Européens, ceux qui contrôlent la durée du cycle (précocité aux stades épiaison et maturité), chez les pôles Syriens et Jordaniens et ceux contrôlant la grosseur et la vitrosité du grain, chez les pôles Méditerranéens (**Monneveux, 1991**).

I.2. Botanique

Selon (feillet., 2000) le blé appartient à:

- Embranchement : Spermaphytes.
- Sous-embranchement : Angiosperme.
- Classe : Monocotylédones.
- Ordre : Poales.
- Sous ordre : Comméliniflorale.
- Famille : Graminacées ou Poacées.
- Genre : *Triticum L.*
- Espèce: *Triticum durum Desf.*

I.3. Description générale

Le blé dur (*Triticum turgidum ssp. durum*) est une Monocotylédone de la famille des Graminées, de la tribu des Triticées et du genre *Triticum*. En termes de production commerciale et d'alimentation humaine, cette espèce est la deuxième plus importante du genre *Triticum* après le blé tendre (*Triticum aestivum L.*). Il s'agit d'une graminée annuelle de hauteur moyenne et dont le limbe des feuilles est aplati. L'inflorescence en épi terminal se compose de fleurs (Bozzini, 1988). Le système racinaire comprend des racines séminales produites par la plantule durant la levée, ainsi que des racines adventives qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent. Le blé dur possède une tige cylindrique, dressée, habituellement creuse et subdivisée en entre nœuds. Certaines variétés possèdent toutefois des tiges pleines (Clarke *et al.*, 2002).

Le chaume (talles) se forme à partir de bourgeons axillaires aux nœuds à la base de la tige principale. Le nombre de brins dépend de la variété, des conditions de croissance et de la densité de plantation. Dans des conditions normales, une plante peut produire en tout trois brins en plus de la tige principale, mais tous ne grènent pas nécessairement (Bozzini, 1988).

Comme pour d'autres graminées, les feuilles de blé dur 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 (oreillettes). La tige principale et chaque brin portent une inflorescence en épi terminal.

L'inflorescence du blé dur est un épi muni d'un rachis portant des épillets séparés par de courts entrenœuds (Bozzini, 1988). Chaque épillet compte deux glumes (bractées) renfermant

de deux à cinq fleurs distiques sur une rachéole. Chaque fleur parfaite est enfermée dans des structures semblables à des bractées, soit la glumelle inférieure (lemma ou lemme) et la glumelle supérieure (paléa). Chacune compte trois étamines à anthères biloculaires, ainsi qu'un pistil à deux styles à stigmates plumeux. À maturité, le grain de pollen fusiforme contient habituellement trois noyaux.

Chaque fleur peut produire un fruit à une seule graine, soit le caryopse. Chaque graine contient un large endosperme et un embryon aplati situé à l'apex de la graine et à proximité de la base de la fleur.

I.4. La reproduction en monde et en Algérie

- **Dans le monde**

Les prévisions de production mondiale toutes céréales confondues (blés et céréales secondaires) en 2015/16 ont augmenté de 10 millions de tonnes d'un mois sur l'autre, pour atteindre près de 2 milliards de tonnes.

Les prévisions de consommation mondiale de céréales sont légèrement relevées, à 1,986 millions de tonnes, avec un modeste repli d'une année sur l'autre.

Les stocks de clôture toutes céréales confondues sont relevés de 10 millions de tonnes, à 465 millions. Quant aux échanges, ils sont placés à 318 millions de tonnes, en hausse de 3 millions d'un mois sur l'autre et juste en dessous du niveau de 2014/15.

Tableau. 01 : La production mondiale de blé dur lors de la campagne 2013-2016.

	13/14	14/15	15/16
Blé dur			
Production	38.9 m/t	34.5 m/t	39.7 m/t
Echanges	8.2 m/t	9.2 m/t	7.8 m/t
Consommation	38 m/t	35.4 m/t	38.2 m/t
Stocks de report	6.4 m/t	7.3 m/t	6.4 m/t
Principales exportateurs a)	2.8 m/t	2.5 m/t	3.4 m/t

(ONFAA, 2016.)

a) Canada, UE, Mexique, USA.
m/t: millions de tonnes.

- **En Algérie**

Le total de la production nationale des céréales est de 3,6 millions de tonnes, soit 2 millions de tonnes de blé dur, 1 million de tonnes d'orge et 6361849 tonnes de blé tendre. Quinze (15) wilayas ont enregistré une production dépassant la barre d'1 million de quintaux, les wilayas de Tiaret et Aïn Témouchent se classent successivement première et deuxième avec près de 3,5 millions pour la première wilaya et près de 2,5 millions pour la seconde. (onfaa, 2016).

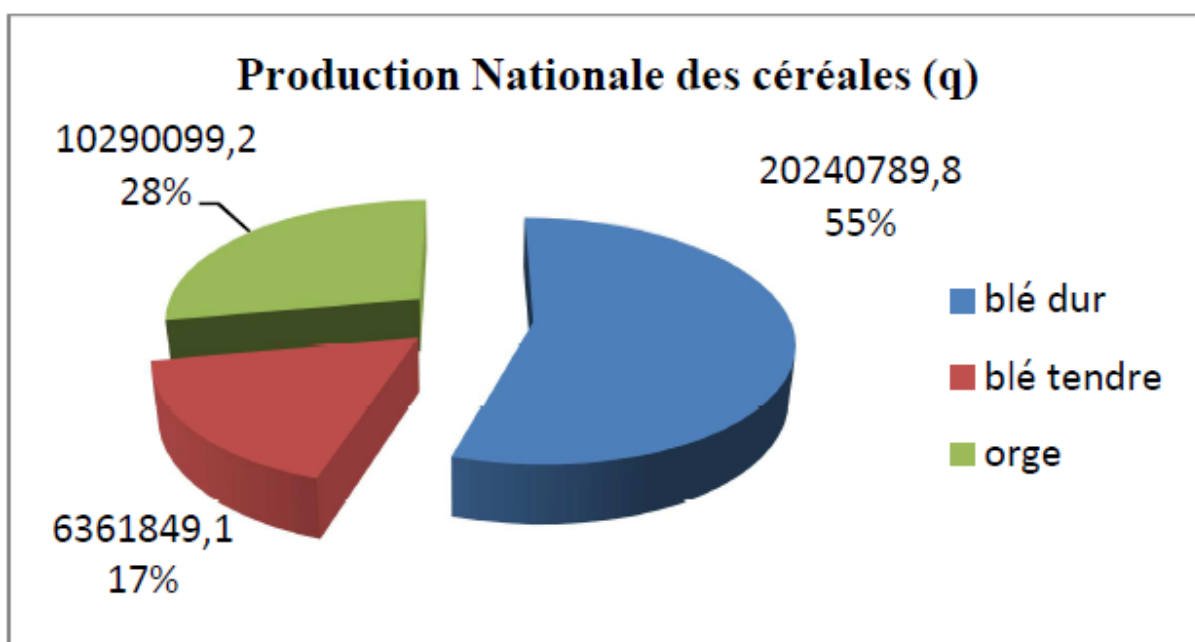


Fig. 01: La production nationale des céréales lors de la campagne 2014/2015.

I.5. Présentation de la culture

La connaissance de l'impact de chaque phase de développement du blé sur la composition du rendement, et les clés d'identification précises de chaque stade sont indispensables à l'agriculteur pour raisonner ses interventions culturales et valoriser au mieux chacune d'elles (Gate et al, 1993).

I.5.1. Rappels sur les caractéristiques morphologiques et le cycle végétatif de la céréale

I.5.1.1. Caractéristiques morphologiques

a. Appareil végétatif :

Le système aérien de la plante se développe en produisant un certain nombre de talles, qui se développent en tiges cylindriques formées par des nœuds séparés par des entre-nœuds. Chaque tige porte à son extrémité une inflorescence.

Deux systèmes racinaires se forment au cours de développement :

- Un système primaire : ce sont des racines séminales qui fonctionnent de la germination au tallage.
- Un système secondaire : de type fasciculé, les racines partent des nœuds les plus bas et sont presque toutes au même niveau (plateau de tallage).

b. Appareil reproducteur : Les fleurs sont groupées en inflorescence. Chacune est composée d'unités morphologiques de base : les épillets. Le blé dur, le blé tendre et l'orge sont des plantes autogames ou à autofécondation.

c. Le grain : Le fruit des graminées est un caryopse sec indéhiscant à maturité.

I.5.1.2. Le cycle végétatif des céréales (Fig.2) :

Selon **Robert (1993)**, le cycle des céréales comporte les stades suivants:

a. Semis-levée

- Cette période correspond à la mise en place du nombre de pieds/m². La plante forme des ébauches des futures feuilles.
- Levée : apparition de la première feuille qui traverse le coléoptile (qui est une gaine enveloppant la première feuille)
- 2-3 feuilles : ce stade est caractérisé par le nombre de feuilles de la plantule.

b. Le tallage

- **Stade début tallage** : lorsque la plante possède quatre feuilles, une nouvelle tige (la talle primaire) apparaît à l'aisselle de la feuille la plus âgée. C'est le stade appelé également <<double ride>> dans lequel le bourgeon végétatif évolue en bourgeon floral. Aussi les ébauches des futurs épillets apparaissent à l'aisselle des ébauches des feuilles constituant une succession verticale en double ride.
- **Stade plein tallage** : les talles apparaissent successivement ; talles primaires des deuxièmes et troisièmes feuilles et puis talles secondaires à l'aisselle des feuilles des talles primaires. Des ébauches d'épillets se forment pendant le tallage, alors que les ébauches de feuilles régressent.

c. La montaison

- **Stade épi 1 cm** : c'est la fin du tallage herbacé, marqué par l'élongation des entrenœuds la tige principale. Au niveau des futurs épillets, on peut observer la formation des ébauches de glumes.
- **Stade 1 à 2 nœuds**: le premier, puis le second entrenœud de la tige principale s'allonge. Au cours de cette période, se succèdent deux stades au niveau de l'épi.

Le premier stade, correspondant à la formation des glumelles et le deuxième correspondant à la différenciation de l'épillet terminal. Ce dernier indique que le nombre d'épillets est définitif, et alors s'initie la phase de formation des fleurs.

- **Stade méiose mâle** : à ce stade, l'épi gonfle et la gaine de la dernière feuille ainsi que les grains de pollen se différencient dans les anthères. C'est une période particulièrement importante dans l'élaboration du nombre de grains.

d. L'épiaison

Ce stade recouvre la période des épis, depuis l'apparition des premiers épis jusqu'à la sortie complète de tous les épis hors de la gaine de la dernière feuille.

e. La floraison

C'est l'apparition des étamines hors des épillets. A ce stade, la croissance des tiges est terminée, la fécondation a déjà eu lieu et le nombre de grains maximum est donc fixé.

f. Le remplissage du grain

- **Stade grain laiteux** : les enveloppes du grain sont formées. La taille potentielle du grain est déterminée.
- **Stade grain pâteux** : le poids de 1000 grains est acquis par suite du remplissage des enveloppes.
- **Grain mûr** : Obtenu après la dessiccation du grain entre stade laiteux et pâteux. La quantité d'eau contenue dans le grain est stable.

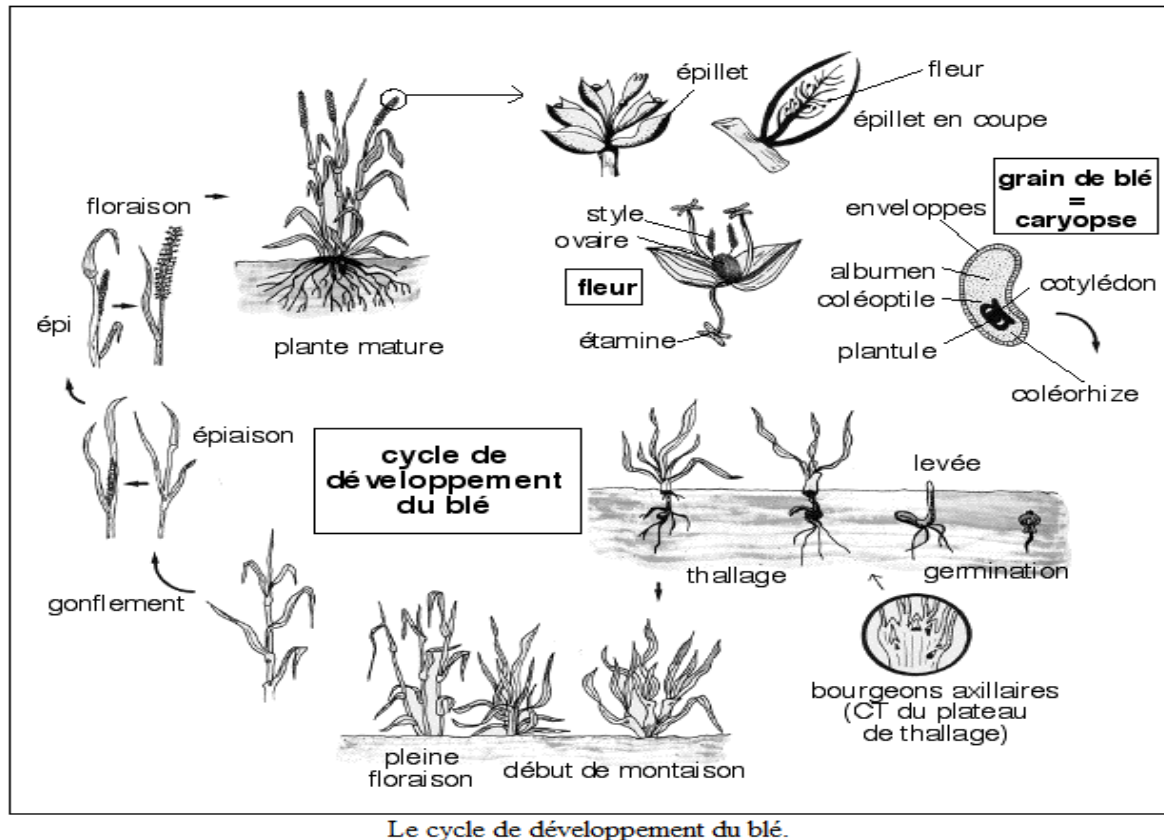


Fig. 02: Le cycle de développement du blé (Soltner, 2005).

I.6. Le stress hydrique

Le stress hydrique peut se définir comme le rapport entre la quantité d'eau nécessaire à la croissance de la plante et la quantité d'eau disponible dans son environnement, sachant que la réserve d'eau utile pour la plante est la quantité d'eau du sol accessible par son système racinaire (Laberche, 2004). La demande en eau de la plante est quant à elle déterminée par le niveau de transpiration ou évapotranspiration, ce qui inclut les pertes d'eau tant au niveau des feuilles qu'au niveau du sol (Laberche, 2004).

Le stress hydrique est toute restriction hydrique qui se traduit par une baisse de potentiel de la plante suite à une perturbation de son activité physiologique provoquée par un déficit de consommation en eau et communément appelé stress hydrique (Mouhouche et Boulassel, 1997).

I.6.1. Effet du stress hydrique sur la photosynthèse

La diminution de la photosynthèse, liée à la diminution de la teneur relative en eau et du potentiel hydrique foliaire, est due essentiellement, à la réduction de la pénétration du CO₂, limitée par une fermeture des stomates (Plaut et Federman, 1991). En effet, l'effet dépressif d'une contrainte hydrique sur la photosynthèse des végétaux résulte non seulement d'une

baisse de la conductance stomatique, mais également d'une altération de l'appareil photosynthétique et/ou d'une diminution de la surface foliaire (**Kaiser, 1987**).

Différents auteurs, ont noté une diminution significative de la photosynthèse en cas de sécheresse (**Nouri, 2011**). A titre d'exemple, La culture du mil en condition difficile d'alimentation en eau, conduit à une diminution de la capacité maximale de photosynthèse d'environ 37% (**Radhouane, 2009**). **Gharti-Chhetri et Lales, (1990)**, ont montré aussi, chez d'autres espèces du genre *Triticum*, que la photosynthèse devient nulle lorsque le potentiel hydrique foliaire atteint -26 à -27 bars.

Sous un stress hydrique, une diminution de la teneur en chlorophylle est remarquée chez le blé dur (**Bousba et al., 2009**). Selon **Tahri et al., (1997)**, une baisse dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles a et b) a été enregistrée chez trois variétés de blé dur sous l'effet du stress. Par ailleurs, nous remarquons une nette diminution de la teneur en pigments chlorophylliens (chlorophylle a, b) et caroténoïdiques des feuilles d'arganier, 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**).

I.6.2. Effet du stress hydrique sur la croissance et le développement du blé

Le stress hydrique se concrétise, chez la plupart des espèces, par un ralentissement de la mise en place de nouveaux organes aériens, c'est -à- dire des feuilles et des tiges, et par une réduction de la croissance des organes préexistants (**Gaufichon et al., 2010**).

Ces modifications résultent d'une diminution de la vitesse de division des cellules constituant les tissus végétaux (**Granier et al., 2000**).

L'un des premiers effets provoqués par le déficit hydrique est une réduction de la croissance végétative. La croissance de la partie aérienne, et surtout celle des feuilles, est généralement plus sensible que celle des racines (**Hopkins, 2003**). Toutefois, si le stress est sévère on peut observer aussi un arrêt total du développement foliaire (**Hegarty et Ross, 1978**).

Pour les céréales, la période de sensibilité la plus élevée est celle qui va de la formation du grain de pollen (stade fin gonflement) à la fécondation. Tout déficit hydrique à ce moment affecte le nombre de grain/ épillet (**Gate et al., 1990**).

Le stress hydrique a deux conséquences quasi simultanées sur le tallage du blé (**Casals, 1996**). La première est l'arrêt du processus de tallage qui se traduit par un arrêt de la croissance des bourgeons axillaires. Une carence hydrique précoce durant la phase végétative réduit donc le nombre et la taille des talles chez le blé (**Davidson et Chevalier, 1990 ; Stark**

et Longley, 1986 ; Blum *et al.*, 1990). La seconde est la réduction de la vitesse de croissance des talles les plus jeunes.

I.6.3. L'effet du stress hydrique sur le rendement

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 aériennes, le développement des feuilles et des organes reproducteurs (Debaeke *et al.*, 1996).

Le rendement en grains chez le blé dépend fortement du nombre de grains par épi, du poids de grains par épi et du nombre d'épis par m² (Triboï, 1990). L'effet du déficit hydrique sur ces composantes et par conséquent sur le rendement, dépend du stade au cours duquel ce déficit survient (Debaeke *et al.*, 1996).

Ainsi, un déficit hydrique à la montaison se traduit par la chute du nombre d'épis par m², la régression intense des tailles et la baisse du nombre de grains par épi (Debaeke *et al.*, 1996). À la fin de la montaison, 10 à 15 Jours avant l'épiaison, la sécheresse réduit le nombre de fleurs fertiles par épillet (Debaeke *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.7. Mécanismes d'adaptation des plantes au stress 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 à survivre et à s'accroître et du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles (Madhava Rao *et al.*, 2006). La résistance globale d'une plante au stress hydrique apparaît comme le résultat de 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).

A. 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 (**Ben Naceuret al., 1999**). Dans ces conditions, les paramètres phénologiques d'adaptation ou paramètres de précocité définissent le calage du cycle vis-à-vis des contraintes environnementales (**Ben Naceuret 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 les sources nutritives à la fin du cycle de développement lorsque celles-ci deviennent limitantes (**Poorter, 1989**). La précocité à 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**).

B. Adaptation morphologique

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**).

✓ Au niveau de la plante

La diminution de la surface foliaire des feuilles et du nombre de tiges 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., 2002**). 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, ceci s'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 (**Baggaet al., 1970**). Les plantes à enracinement superficielle et peu dense souffrent plus du déficit hydrique que ceux à enracinement profond (**El hassani et Persoons, 1994**).

✓ Au niveau structurel

Une des principales modifications structurelles observées sur des plantes ayant subi un stress hydrique, concerne l'altération des propriétés physico-chimiques des parois cellulaires (**Dixon et Paiva, 1995**). Ces changements peuvent être induits par des modifications au niveau des enzymes impliquées dans la biosynthèse des mono lignols 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 (xylogluaneendo-trans-glucanase). Les XET effectuent des coupures internes dans les polymères de xyloglucanes, pour ensuite lier les fragments générés à d'autres chaînes de xyloglucanes(**Xu et al.,1996**). **Braamet al., (1997)** 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 abiotiques et notamment hydriques.

C. Adaptation physiologique

La stratégie de la tolérance est mise en œuvre par les plantes grâce à l'abaissement du potentiel hydrique qui maintient la turgescence (**Sorrellset 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 photosynthétique intrinsèque la moins affectée par le stress présentent une efficacité de l'utilisation de l'eau élevée et une plus grande capacité de survie (**Arauset al., 2002**).

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., 1999**). 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**).

CHAPITRE II

MATÉRIELS ET

MÉTHODES

Chapitre II: Matériels et Méthodes

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de stress hydrique et la variabilité de la réponse chez sept variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf), pour sélectionner les meilleures variétés tolérantes.

II .1. Description du site expérimental

II .1.1. Situation géographique

L'étude a été réalisée dans la ferme de M^r Bachir Laabachi à L'oued lakhdare au cours de la campagne 2016-2017.

Le site expérimental, au lieu-dit El Hammadia est une commune de la wilaya de Bordj-Bou-Arreridj, est située à 6 km au sud du chef-lieu de la wilaya, au bord de la RN45 sur la route de M'sila, aux coordonnées géographiques 35° 58' 47" N 4° 44' 51" E, à une altitude de 862m. Cette région est caractérisée par un climat semi-aride.



Fig. 03: Le site de l'essai (Google Earth, 2017).

II.1.2. Le sol

Pour le sol du site expérimental, il a une texture argileuse (**Tab. 2**), et une teneur faible en matière organique satisfaisante (1.6%), le pH est basique de valeur moyenne de (7.71). Selon la teneur en limon et en argile la structure du sol est stable.

Tableau. 02: Résultats d'analyse des échantillons du sol du site expérimental.

	Sable(%)	Argile (%)	Limon (%)	MO (%)	pH
Le sol du site expérimental	32	32	36	1.6	7.71

(FERTIAL SPA, 2015.)

II.1.3. Le climat

La zone d'étude se situe dans l'étage bioclimatique semi-aride, elle est soumise au régime climatique des hauts plateaux, qui se caractérise par des hivers froids, une pluviométrie irrégulière, des gelées printanières et des vents chauds et des séchant en fin de cycle de la céréale.

II.1.3.1. Caractéristiques du climat de la campagne d'étude 2016/2017

- **Températures**

En analysant les données de la période 2016-2017, nous constatons que janvier est le mois le plus froid avec une température moyennes de 4,4°C. Juillet est le mois le plus chaud avec une température moyenne de 27,6°C. En comparant entre les deux périodes sèches, il en ressort que la température a augmenté dans la région de 4,4°C pour janvier, le mois le plus froid, et de 27.6°C à BBA pour le mois le plus chaud. Ceci montre une véritable tendance à une augmentation des températures dans les deux périodes. Durant la période expérimentale, la moyenne de la température est de 17,7 C°. La température moyenne la plus élevée est enregistrée entre le mois de juin et novembre, alors que la plus basse, elle est enregistrée entre le mois de décembre et janvier (**Annexe 07**).

- **Précipitations**

Durant la période expérimentale, on a enregistré 136,8 mm allant du mois de septembre à avril, la répartition de la pluviométrie est aléatoire, elle est variable d'un mois à l'autre, le mois de janvier est le plus pluvieux (50,6 mm), par contre le mois d'aout est le plus sec (2 mm). La précipitation totale enregistrée durant la campagne est 241,7 mm. En fin, il apparait clairement que le climat dans la région d'étude est caractérisé par une grande variabilité inter-annuelle.

II.2. Mise en place de l'expérimentation

II.2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans notre étude est constitué d'une collection qui comporte sept variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) qui sont : Waha, Bousselem, Mexicali, Hoggar, Altar, Oued zenati et Polonicum.

Tableau. 03: Nom et origine du matériel végétal utilisé dans l'expérimentation.

Génotype	Nom	Origine
1	Waha	ICARDA/CIMMYT
2	Bousselem	Algérie
3	Mexicali	ICARDA/CIMMYT
4	Hoggar	Algérie
5	Altar	ICARDA/CIMMYT
6	Oued Zenati	Algérie
7	Polonicum	Algérie

Tableau. 04: Principaux caractères des variétés étudiées.

Variétés	Caractéristiques
WH	Précoce, sensible au gel tardif, très productive avec un rendement stable et élevée, tolérante a la sécheresse.
BOUSL	Haute de paille, résistante aux maladies cryptogamiques, résistante au froid, a la verse, a la sécheresse.
MEXI	Précoce, très productive avec un rendement stable et élevée, adaptée aux zones sahariennes.
HOG	Le PMG élevé, tallage moyen, peu sensible a l'helminthosporiose, tolérante a la verse, adaptée aux hauts plateaux et les zones sahariennes.
ALT	Variété CIMMYT.
OZ	Tardive, résistante a la moucheture et au mitadinage, rendement moyen, le PMG élevé, tolérante a la septoriose, sensible aux rouilles brunes.
POLO	Tardive, bonne résistance a la moucheture et au mitadinage, rendement moyen.

Source : (Ait Kaki, 2008)

II.2.2. Le dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté est un split plot avec un facteur étudié. Il est constitué de deux blocs chacun subdivisé en deux parcelles. La parcelle est partagée en trios sous-parcelles élémentaires chacun représente quatre répétitions.

L'essai comporte, donc douze parcelles élémentaires de dimensions 1 m de long et 1 m de large, déterminant une superficie de 1 m², avec une ligne de semis espacées de 50 cm.

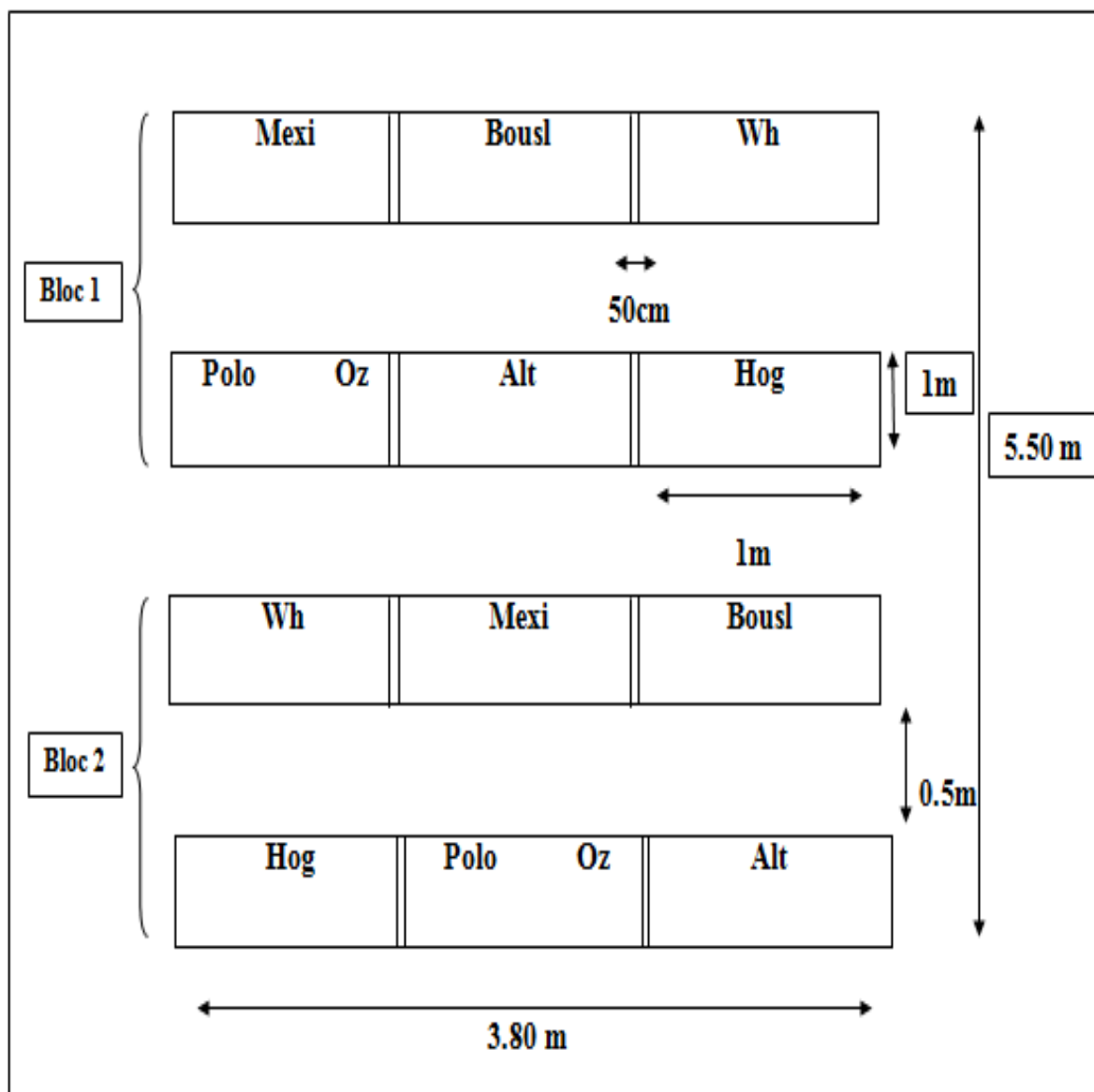


Fig. 04: Le dispositif de l'essai.

II.2.3. Conduite de la culture

- **Précédent cultural**

Le précédent cultural a été une culture maraichère.

- **Préparation du sol**

- ✓ Un labour profond effectuée à l'aide d'une charrue à disque en mois de mars 2016.
- ✓ Un premier recroisage effectuée à l'aide d'un covercrop en 27 mai 2016 pour la fermeture du labour.
- ✓ Le deuxième recroisage effectuée à l'aide d'un covercrop en 12 novembre 2016 pour recouvrement d'engrais et pour la préparation de lit de semence.
- ✓ Les travaux superficiels réalisés avant le semis à l'aide d'un roto herse.

- **Fertilisation**

- ✓ Epannage d'engrais super phosphate 40% effectuée à l'aide d'un centre fige en 12 novembre 2016.
- ✓ Epannage d'engrais de couverture (urée) effectuée à l'aide d'un centre fige en 16 mars 2017 avec une dose de 100 kg/h.

- **Semis**

Le semis est réalisé manuellement le 14 décembre 2016 avec une densité de 100 grains par mètre carré.

- **Désherbage**

Un désherbage total a été effectué au stade début tallage par l'utilisation d'un herbicide systémique racinaire COSSACK de double action monocotylédone et dicotylédone avec une dose de 1L/ha à l'aide d'un pulvérisateur de 200L, et un autre désherbage manuelle.

II.3. Paramètres mesurés

II.3.1. Caractères morphologiques

- **La surface foliaire de la feuille étendard (SFE)**

La surface foliaire de la feuille étendard est estimée à partir d'un échantillon de sept répétitions, dont on mesure la longueur totale et la largeur moyenne. La surface foliaire est déduite par la formule :

$$SF \text{ (cm}^2\text{)} = 0.606(L \times l)$$

Où :

SF= surface moyenne de la feuille étendard (cm²)

L= longueur moyenne de la feuille étendard (cm)

l= largeur moyenne de la feuille étendard (cm)

0,606= coefficient de régression de la surface estimée à partir du papier grammage sur celle déduite par le produit (L x l) (**Belkhrchouche et al. ,2009**).

- **La longueur de 5^{ème} feuille (LF)**

Cette mesure a été effectuée, depuis le stade de montaison jusqu'à le stade d'épiaison on a mesuré la longueur de 5^{ème} feuille, à l'aide d'une règle graduée à raison de trois répétitions dans chaque micro parcelle.



Fig. 05: La longueur de 5^{ème} feuille (Originale, 2017).

- **La hauteur de la plante totale (HPT en cm)**

La hauteur représente la distance allant du ras du sol jusqu'à sommet de l'épi. À maturité, la hauteur moyenne de cinq plantes de chaque répétition a été mesurée en centimètre à l'aide d'une règle graduée, à raison des sept répétitions dans chaque micro parcelle.

- **La longueur d'entre nœud (LEN)**

La longueur d'entre nœud a été mesurée à l'aide d'une règle graduée.

- **La longueur de l'épi (LE)**

Cette mesuré a été effectuée après le stade de remplissage du grain sur un échantillon de sept plantes pris au hasard, la longueur de l'épi a été mesurée à partir de la base d'épi jusqu'à son extrémité, les barbes ne sont pas incluses.

- **La longueur des barbes (LB)**

Nous avons mesuré cette longueur depuis le sommet de l'épillet terminale jusqu'à l'extrémité des barbes sur un échantillon de sept plantes pris au hasard.

II.3.2. Paramètres physiologiques

- **La 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. La teneur relative en eau de la feuille étandard a été déterminée par la méthode décrite par (Serries, 1992). Selon cette méthode, trois (03)

feuilles sont coupées à la base du limbe. Le poids frais (PF) est obtenu par pesage immédiatement de retour au laboratoire de l'université.

Ces feuilles sont mises par la suite dans des tubes à essai contenant de l'eau distillée et placées à l'obscurité dans un endroit frais, après 24 heures, les feuilles sont retirées, passées dans un papier buvard pour absorber l'eau de la surface, pesées de nouveau pour obtenir le poids turgide (PT) à saturation hydrique. Les feuilles sont enfin mises à l'étuve à 85°C pendant 24h et pesés pour avoir leur poids sec (PS). La teneur relative en eau est calculée par la formule de (Ali *et al.*, 1999):

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

- **Dosage des Pigments Chlorophylliens**

Les teneurs moyennes en chlorophylle a et b sont déterminées par la méthode de Rao et le blanc (1965). L'extraction de la chlorophylle est réalisée par broyage de 0.5g de matière fraîche de la feuille de chaque échantillon qui est additionnée de carbonate de calcium et d'acétone (20ml à 80%). La solution obtenue est filtrée à l'abri de la lumière pour éviter l'oxydation de la chlorophylle. On procède ensuite aux mesures spectrophotométriques (JENWAY 6300) à deux longueurs d'onde ($\lambda_1= 645$ et $\lambda_2= 663\text{nm}$). (Bouchelaghem., 2012).

Le calcul de la qualité de la chlorophylle est obtenu par la formule suivante :

- ✓ **Chl a:** 12, 7 (DO 663) - 2, 69 (DO 645).
- ✓ **Chl b:** 22, 9 (DO 645) - 4, 86 (DO663).
- ✓ **Chla+b:** 8,02 (DO645) +20, 20 (DO663).

- **L'intégrité cellulaire (IC %)**

Le test de l'intégrité cellulaire (IC) est effectué sur les deux dernières feuilles entièrement développées, prises au hasard par génotype et traitement. Ces échantillons sont lavés à l'eau courante. Les feuilles sont découpées en segments de 1 cm de long. Un échantillon de 10 segments du limbe foliaire est mis dans un tube à essai et lavé par trois avec de l'eau distillée pour enlever les poussières adhérentes qui influent sur les résultats du test.

A chaque tube on ajoute 10 ml d'eau distillée déminéralisée. Les tubes, ainsi traités, sont périodiquement agités manuellement et laissés à la température ambiante du laboratoire. Une première lecture est faite (EC1) avec le conductimètre 24 heures après. Les tubes sont ensuite mis au bain marie, dont la température est portée à 100°C, pendant 60 minutes. Une deuxième lecture de la conductivité est faite 24 heures après le passage des échantillons dans le bain marie (EC2). Le pourcentage de cellules endommagées par le stress hydrique est estimée, selon la procédure décrite par (Bajji *et al.*, 2001), comme suit :

$$\% \text{ IC} = 100 (\text{EC1} / \text{EC2})$$

Où % **IC** est le % de cellules endommagées par le déficit hydrique, **EC1**, et **EC2** sont respectivement les conductivités du traitement avant et après passage au bain marie.

II.3.3. Paramètres biochimiques

- **Dosage de la proline**

La proline ou acide pyrrolidine 2-carboxylique est l'un des vingt principaux acides aminés qui entrent dans la constitution des protéines. La proline est facilement oxydée par la ninhydrine ou tricetohydrindène. C'est sur cette réaction que se base le protocole de mise en évidence de la proline dans les échantillons foliaires (**El Jaafari, 1993**). La méthode suivie est celle de **Trolls et Lindsley, (1955)**, simplifiée et mise au point par **Rasio et al., (1987)**.

Elle consiste à prendre 100 mg de matière fraîche dans des tubes à essai contenant 2 ml de méthanol à 40%. Le tout est chauffé à 85°C dans un bain-Marie pendant 60mn. (Les tubes sont recouverts de papier aluminium pendant le chauffage pour éviter la volatilisation de l'alcool.) Après refroidissement ; on prélève 1ml d'extrait auquel il faut ajouter :

- ✓ -1 ml d'acide acétique (CH_3COOH) ;
- ✓ -25 mg de ninhydrine ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_4$) ;
- ✓ -1 ml de mélange contenant :
 - 120 ml d'eau distillée ;
 - 300 ml d'acide acétique ;
 - 80 ml d'acide orthophosphorique (H_3PO_4 .d=1.7).

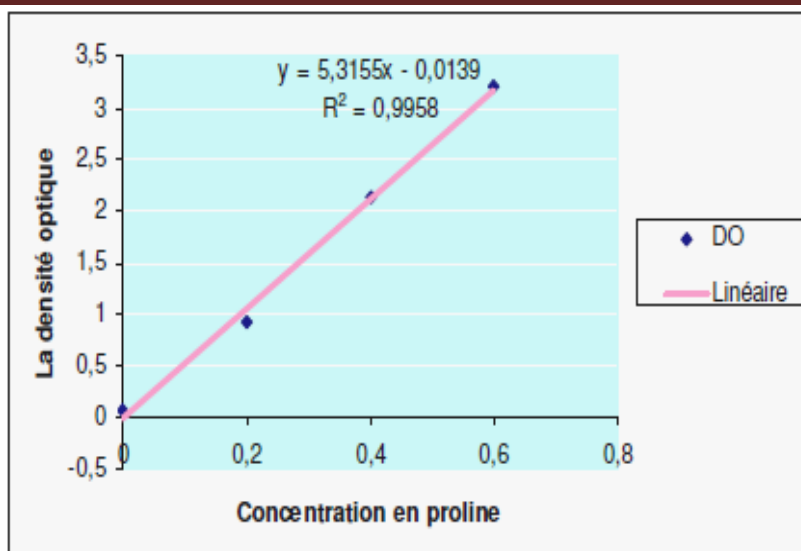


Fig. 06: Courbe étalon du dosage de la proline.

La solution obtenue est portée à ébullition pendant 30 mn à 100°C, la solution vire au rose, après refroidissement, 5 ml de toluène sont rajoutés à la solution qui est agitée, deux phases se séparent (une phase supérieure à la couleur rouge contient la proline et une phase inférieure transparente sans proline). Après avoir éliminé la phase inférieure, la phase supérieure est récupérée est déshydratée par l'ajout d'une spatule de Sulfate de Sodium Na₂So₄ anhydre (pour éliminer l'eau qu'elle contient). On détermine la densité optique (Do) à l'aide d'un spectrophotomètre (type 20D) sur une longueur d'onde de 528nm. Les valeurs obtenues sont converties en taux de proline par le biais d'une « courbe étalon » (**Fig. 06**), préalablement établie à partir d'une série de solution de concentration en proline connue. Cette courbe est utilisée pour déterminer les teneurs en proline dans les feuilles des plantes.

- **Dosage des sucres solubles « µg/100mg MF »**

Les sucres solubles totaux (saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthyles et les polysaccharides) sont dosés par la méthode au phénol de **Dubois et al., (1956)**. Elle consiste à prendre 100 mg de matière fraîche, placées dans des tubes à essais, on ajoute 3 ml d'éthanol à 80% pour faire l'extraction des sucres. On laisse à température ambiante pendant 48h à l'obscurité. Au moment du dosage les tubes sont placés dans l'étuve à 80°C pour faire évaporer l'alcool. Dans chaque tube on ajoute 20ml d'eau distillée à l'extrait. C'est la solution à analyser.

Dans des tubes à essais propres, on met 2ml de la solution à analyser, on ajoute 1ml de phénol à 5% (le phénol est dilué dans de l'eau distillée); on ajoute rapidement 5ml d'acide sulfurique concentré 96% tout en évitant de verser de l'acide contre les parois du tube. On obtient, une solution jaune orange à la surface, on passe au vortex pour homogénéiser la couleur de la solution. On laisse les tubes pendant 10mn et on les place au bain-marie pour 10

à 20mn à une température de 30°C (La couleur de la réaction est stable pendant plusieurs heures.). Les mesures d'absorbances sont effectuées à une longueur d'ondes de 485 nm. Enfin des résultats des densités optiques sont rapportés sur un courbe étalon (**Fig. 07**) des sucres solubles (exprimés en glucose).

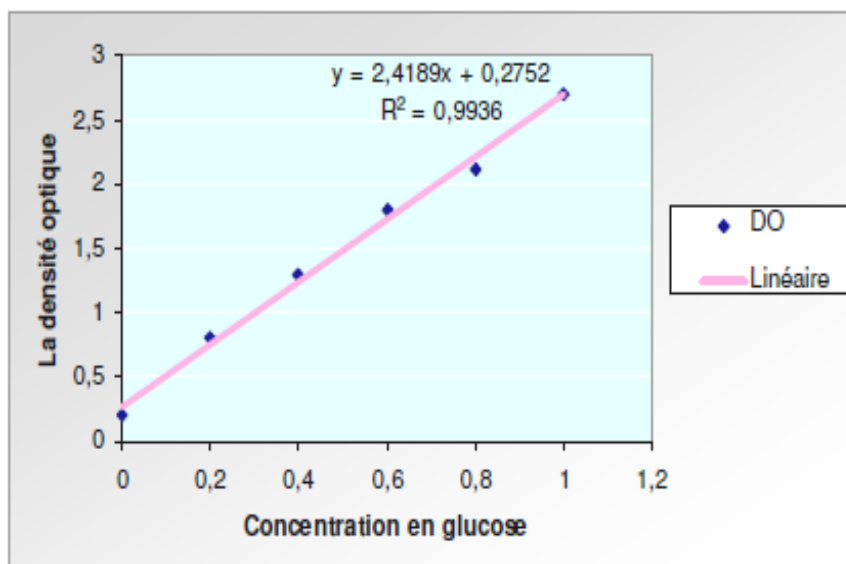


Fig. 07: Courbe étalon du dosage des sucres solubles.

II.4. Analyse des données

La signification statistique des résultats obtenus au cours de cette expérimentation a été testée par :

- ✓ L'analyse de la variance est réalisée à l'aide de la procédure GLM (general linear model) du logiciel SAS (Statistical Analysis System), version 8.00 (SAS Institute, 2002, Cary, Etats-Unis).
- ✓ Excel 2007, SAS 9.00 pour établir les courbes, graphes et quelques figures.
- ✓ Le test de Fisher's LSD (least significant difference method). Il est utilisé pour les groupes homogènes (non différents significativement) sont symbolisés par une lettre commune.

CHAPITRE III
RÉSULTATS ET
DISCUSSIONS

Chapitre III : Résultats et Discussions

III.1. Condition climatiques de l'année d'expérimentation 2016 /2017

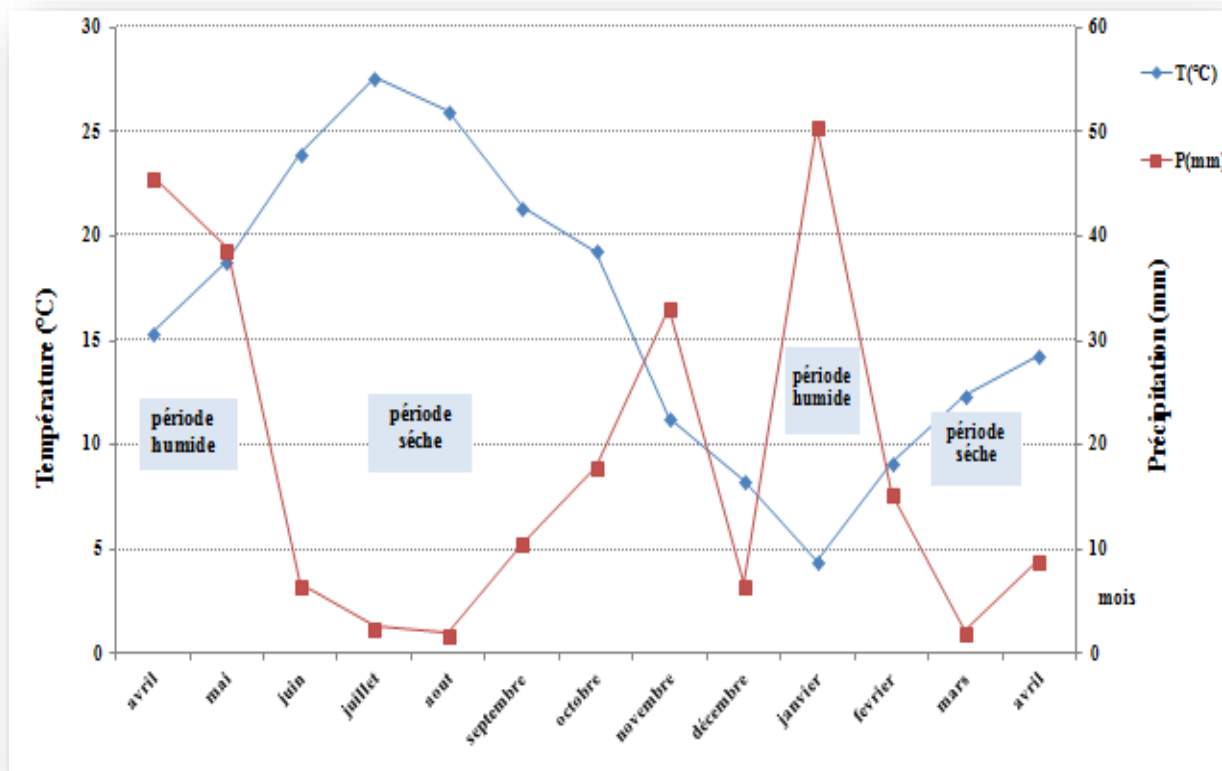


Fig. 08: Diagramme ombrothermique de la campagne 2016/2017 d'El Hammadia donnée par la station météorologique de BBA.

La campagne agricole 2016/2017 a été caractérisée par deux périodes sèches, la première est longue s'étend de mois mai jusqu'à mi-novembre 2016, la seconde période débute de mi-février 2017 et se termine à la fin de cycle cultural.

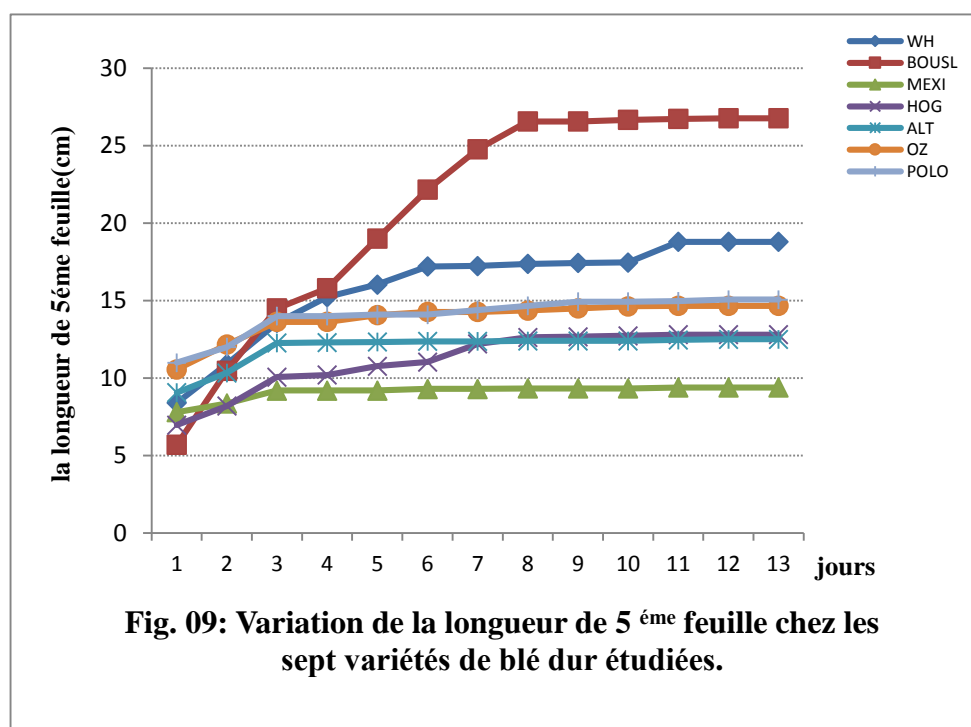
Aussi, on a enregistré deux périodes humides la première a coïncide avril et mai 2016, et la deuxième période débute de mi-décembre et s'étale jusqu'à la mi-février 2017, nous expliquant cette dernier enregistrement par un changement climatique.

III.2. Variation des caractères morphologiques

- **La longueur de 5^{ème} feuille (LF)**

L'analyse de la variance de La longueur de 5^{ème} feuille indique une différence très hautement significative entre les sept génotypes étudiés (**Tab annexe 04**), et mis en évidence 4 groupes homogènes qui sont:

- ✓ **Groupe a** : BOUSL.
- ✓ **Groupe b** : WH.
- ✓ **Groupe c** : HOG, ALT, MEXI.
- ✓ **Groupe d** : OZ, POLO.



La LF élevé est observé chez BOUSL avec (26,76 cm) suivi par WH avec (18,8 cm), par contre POLO, OZ, HOG et ALT avec (15,06 cm), (14,66cm), (12,8 cm), et (12,5) respectivement et en dernier la variété MEXI avec (9,4 cm).

Pendant les 13 jours de LF on observe que la vitesse de croissance est vite chez BOUSL et relativement moins faible chez WH et presque semblable chez POLO, OZ, HOG, et ALT mais plus faible chez MEXI. Par contre la vitesse de stabilité elle est plus vite chez, ALT, POLO, OZ, et MEXI en conséquence qu'avoir LF moindre que les autres variétés BOUSL et WH et HOG.

Plusieurs auteurs montrent que 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**).

Un stress hydrique se traduit par une réduction de la croissance de la plante et de sa production par rapport au potentiel du génotype.

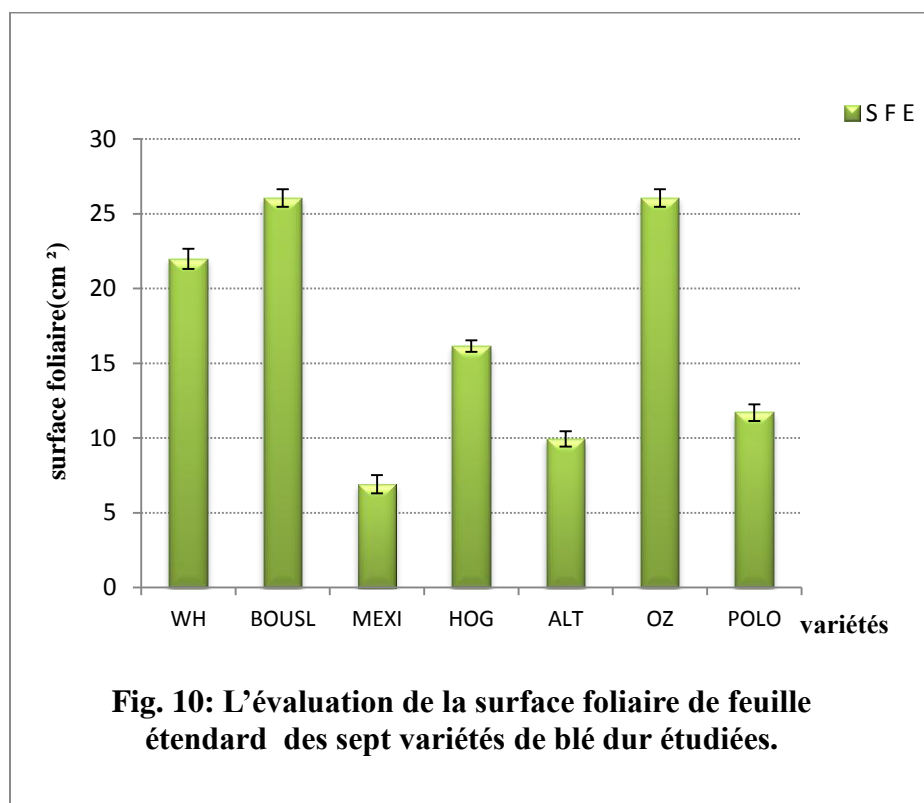
Une réduction significative (seuil 5%) de la croissance des parties aériennes, et en particulier des dernières feuilles, sous l'effet du stress hydrique: ce comportement vis-à-vis d'un déficit hydrique avait déjà été noté par **Benlaribi et Monneveux, (1988)**, chez les variétés algériennes nous avons relevé précédemment que cette réduction de croissance intéressait également.

En effet, d'après les résultats obtenus dans notre expérimentation et selon les chercheurs cités précédant, la variété MEXI possède un LF réduit par rapport aux autres variétés cultivées, qui permet de mieux adapté au stress hydrique.

- **La surface de la feuille étendard (SFE)**

L'analyse de la variance de la surface de la feuille étendard indique une différence très hautement significative entre les sept génotypes étudiés (**Tab annexe 04**), et mis en évidence 6 groupes homogènes qui sont:

- ✓ **Groupe a** : BOUSL et OZ.
- ✓ **Groupe b** : WH.
- ✓ **Groupe c** : HOG.
- ✓ **Groupe d** : POLO.
- ✓ **Groupe e** : ALT.
- ✓ **Groupe f** : MEXI.



En fonction de date d'échantillonnage, la surface foliaire de la feuille étendard varie selon les génotypes, de (26,06 cm²) pour BOUSL et OZ, suivi par WH, HOG, POLO, et ALT avec (21,97cm²), (16,69cm²), (11,69cm²), et (9,93cm²) respectivement. Pour MEXI qui ressort comme le génotype prenant la surface foliaire la plus faible avec (6,91 cm²).

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. En milieux variables, la diminution de la surface foliaire peut avoir des effets bénéfiques en réduisant la surface évaporant et celle soumise à la radiation solaire.

En effet, Selon **Blum (1996)**, la réduction de la surface foliaire est considérée comme une réponse ou adaptation au manque d'eau.

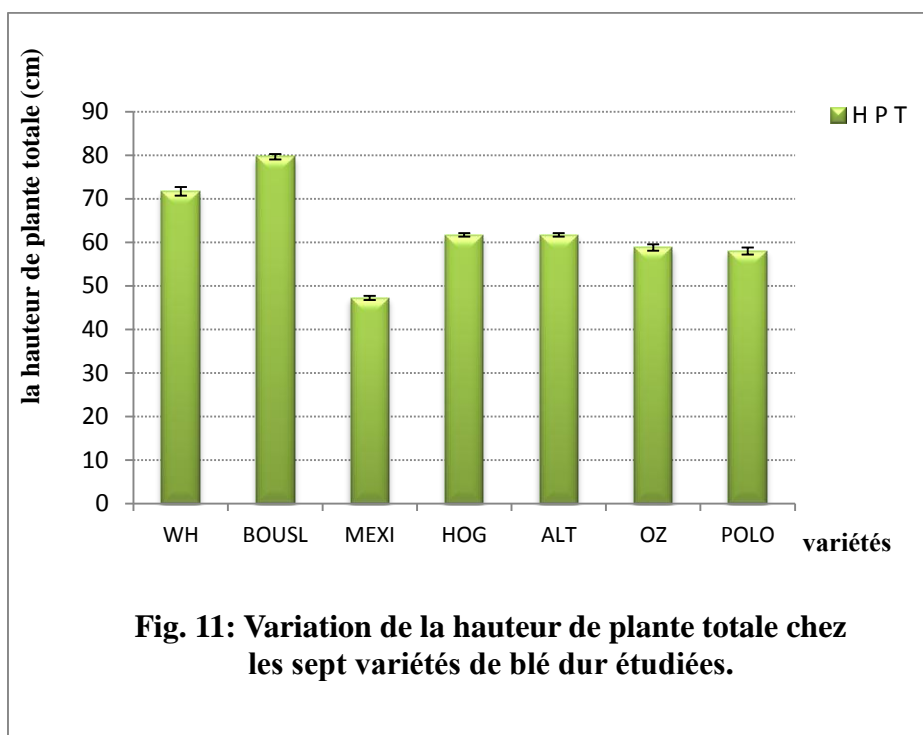
Selon (**Johnson et al., 1973; Adjab, 2002**), les plantes à surface foliaire plus grande peuvent tolérer la déshydratation et maintenir un potentiel hydrique élevé. Par contre, **Kirkham et al. (1980) in Nadjem**, suggèrent qu'une surface foliaire réduite peut être avantageuse, du fait qu'elle réduit effectivement les pertes en eau totale de la plante.

Selon les chercheurs cités précédant et d'après les résultats obtenus, on conclut que les variétés MEXI et ALT qui présentent une surface de la feuille étandard faible par rapport aux autres variétés étudiées utilisent la stratégie de la réduction de la surface foliaire comme une réponse ou adaptation au stress hydrique.

- **La hauteur de la plante totale (HPT)**

L'analyse de la variance de la surface de La hauteur de la plante totale indique une différence très hautement significative entre les sept génotypes testés à l'épiaison seulement, (Tab annexe 04), et mis en évidence 5 groupes homogènes qui sont:

- ✓ **Groupe a** : BOUSL.
- ✓ **Groupe b** : WH.
- ✓ **Groupe c** : HOG et ALT.
- ✓ **Groupe d** : POLO et OZ.
- ✓ **Groupe e** : MEXI.



La hauteur de la plante à l'épiaison est fluctue entre (79,64 cm) et (46,5 cm). La valeur maximale (79,64 cm) est observée chez la variété BOUSL, la valeur minimale (46,5 cm) est observée chez la variété MEXI et les autres variétés (WH, HOG, ALT, OZ et POLO) présentent des valeurs médianes avec (71,64 cm), (61,71 cm), (61,71 cm) (58,78 cm) et (58 cm) respectivement.

Dans les zones semi-arides, la hauteur du chaume serait pertinente pour la sélection de variétés mieux adaptées à la sécheresse. Une paille relativement haute conférerait à la plante, en cas de limitation sévère de l'alimentation hydrique, une meilleure capacité à tolérer la sécheresse.

Ce comportement s'expliquerait par des potentiels plus élevés de constitution de réserves glucidiques. Cette contribution de la hauteur du chaume avec les substrats stockés au niveau surtout du dernier entre nœud et du col de l'épi assure un rendement en grain sous stress (**Blum, 1988 in Nadjem**).

Nizam Uddin et Marshall (1989) in Nadjem, mentionnent que la réduction du rendement, sous stress hydrique, est plus importante chez les variétés naines que chez les variétés hautes, pour un même degré de précocité.

La réduction de la hauteur des chaumes est corrélée à une réduction du système racinaire, ceci se traduit par un accroissement de la sensibilité du déficit hydrique (**Subbiah et al., 1968**).

Siddique et al. (1989), en plus la hauteur du chaume est associée à un système racinaire capable d'aller en profondeur, suggérant l'adoption des variétés hautes dans les environnements à faible pluviométrie et dans des sols où il y a une humidité résiduelle exploitable en profondeur.

Par opposition, la variété BOUSL est caractérisé par un HPT important, et d'après les auteurs cités précédant ce caractère contribué à l'adaptation à la sécheresse par ce que les substances stockés joue un rôle dans l'augmentation de rendement par contre les autres variétés (WH, HOG, ALT, OZ, MEXI, et POLO).

- **La longueur des épis (LE)**

L'analyse de la variance de La longueur des épis indique une différence très hautement significative entre les sept génotypes testés à l'épiaison seulement, (**Tab annexe 04**), et mis en évidence 4 groupes homogènes qui sont:

- ✓ Groupe a : BOUSL, WH, HOG et ALT.
- ✓ Groupe b : POLO.
- ✓ Groupe c : OZ.
- ✓ Groupe d : MEXI.

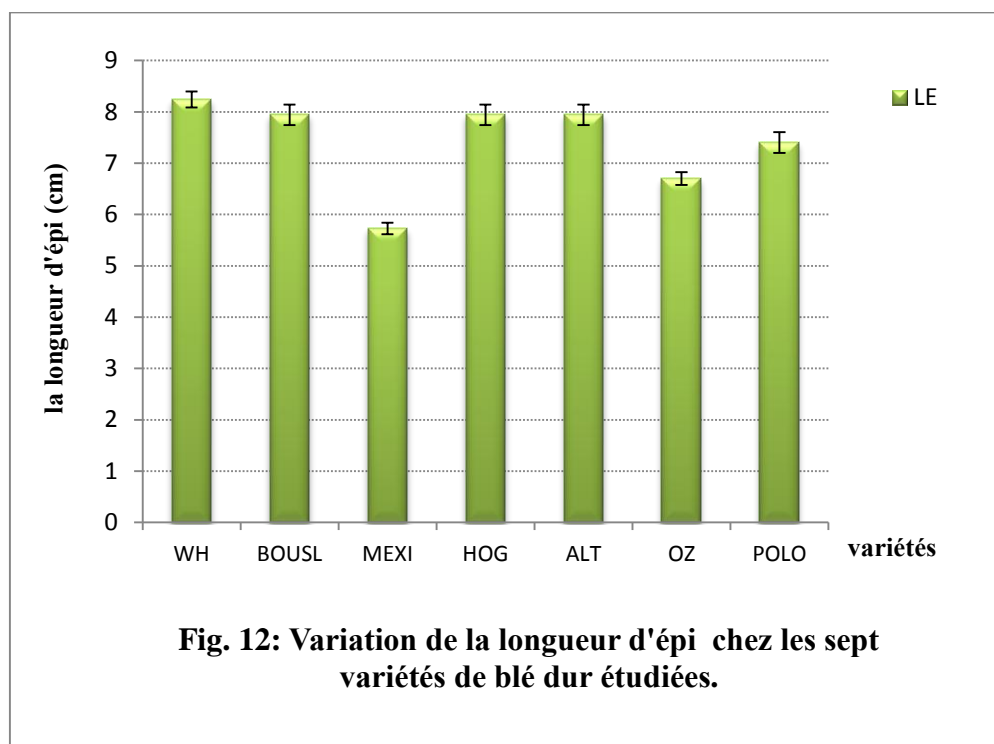


Fig. 12: Variation de la longueur d'épi chez les sept variétés de blé dur étudiées.

La longueur de l'épi se situe entre 5,72 cm et 8,24 cm. Les variétés WH, BOUSL, HOG, ALT et POLO enregistrent les valeurs de 8,24 cm, 7,94 cm, 7,94 cm, 7,94 cm et 7,4 cm, respectivement. Ces génotypes possèdent la longueur d'épi la plus élevée. Par contre les autres variétés OZ et MEXI montrent la plus faible longueur de l'épi de l'ordre de 6,7 cm et 5,72 cm.

Selon **Febrero et al., (1990)**, ce paramètre est un indice de rendement, parce qu'il participe par les assimilés photosynthétiques à la formation du grain.

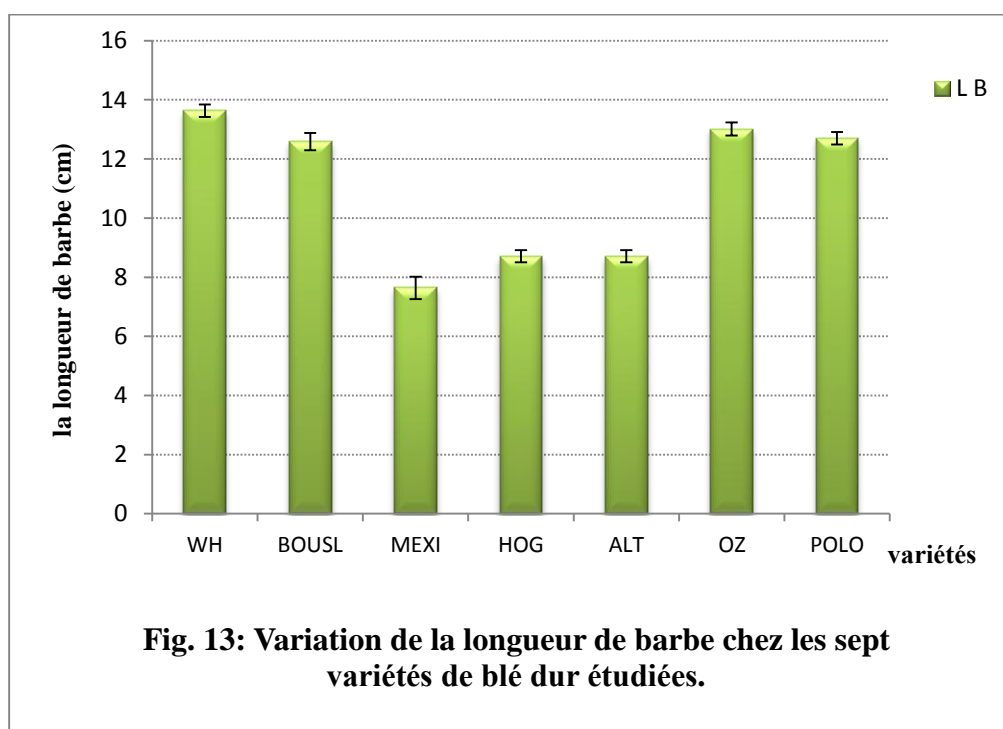
La longueur de l'épi est une caractéristique variétale peu influençable par les variations dues au milieu (**Jonard, 1964 in Cheraf et Touabet 2013**), ceci peut expliquer les variations obtenues entre les différentes variétés.

D'après les résultats et selon (**Jonard, 1964 in Cheraf et Touabet 2013**), cette variation est caractéristique génétique pour les variétés étudiées qui sont : BOUSL, WH, HOG et ALT.

- **La longueur de barbe (LB)**

L'analyse de la variance de la longueur de barbe indique une différence très hautement significative entre les sept génotypes testés à l'épiaison seulement (**Tab annexe 04**), et mis en évidence 4 groupes homogènes qui sont:

- ✓ **Groupe a** : WH, OZ.
- ✓ **Groupe b** : POLO et BOUSL.
- ✓ **Groupe c** : ALT et HOG.
- ✓ **Groupe d** : MEXI.



La longueur des barbes la plus élevée chez les variétés WH, OZ, BOUSL et POLO est de 13,62 cm, 13,01 cm, 12,58 cm, et 12,7 cm, respectivement.

Chez les variétés HOG et ALT les barbes sont courtes de même valeur 8,71 cm. Pour la variété MEXI les barbes sont le plus courtes comparant les autres variétés avec valeur de 7,64 cm.

Nemmar (1980), mentionne que la présence des barbes chez les céréales augmente la possibilité d'utilisation de l'eau et l'élaboration de la matière sèche lors de la phase de maturation.

Lors de la phase de remplissage du grain, la photosynthèse est moins sensible à l'action inhibitrice des hautes températures chez les génotypes barbues comparativement aux génotypes glabres (**Fokar et al., 1998**).

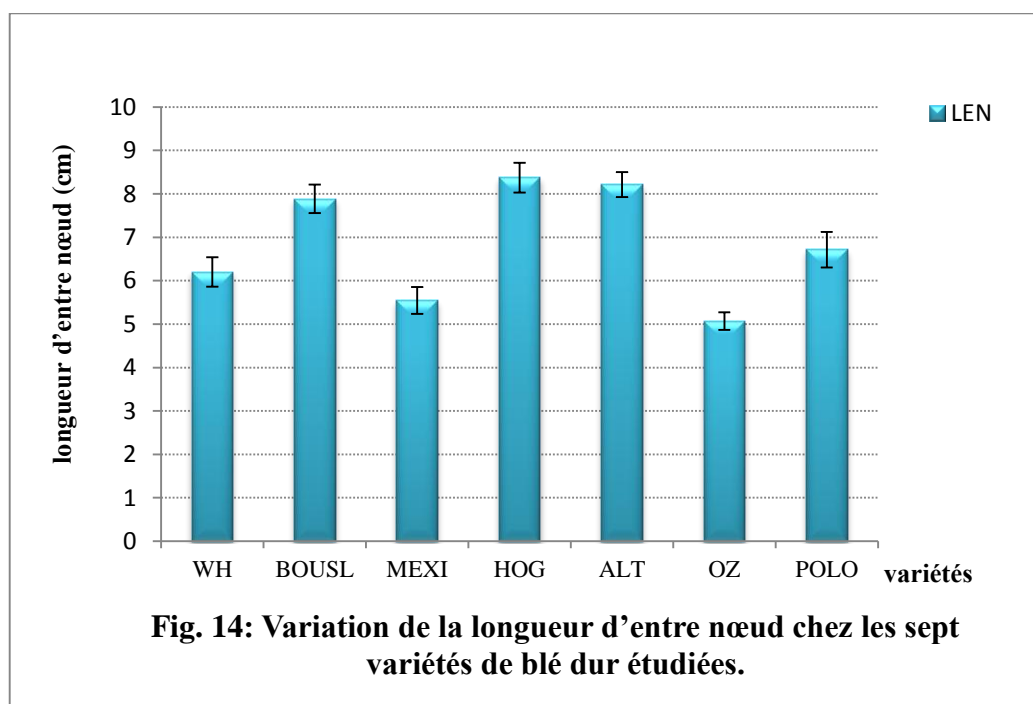
La longueur des barbes est un paramètre morphologique qui semble également étroitement lié à la tolérance au déficit hydrique terminal tout au moins chez le blé dur (**Hadji christodoulou, 1985**), de même pour **Grignac (1965 in Cheraf et Touabet 2013)**, dans le cas de WH. Les barbes, par leur port dressé et leur position au voisinage immédiat de la graine, conditionnent sa formation (**Gate et al., 1993**).

Pour cette raison, la variété WH présente une LB élevée par rapport aux autres variétés, ce dernier est contribué à l'adaptation et la formation des grains selon les travaux de plusieurs auteurs cité précédant.

- **La longueur d'entre nœud (LEN)**

L'analyse de la variance de la longueur d'entre nœud indique une différence très hautement significative entre les sept génotypes testés à l'épiaison seulement (**Tab annexe 04**), et mis en évidence 4 groupes homogènes qui sont:

- ✓ **Groupe a** : BOUSL, HOG et ALT.
- ✓ **Groupe b** : POLO et WH.
- ✓ **Groupe c** : MEXI.
- ✓ **Groupe d** : OZ.



La longueur d'entre nœud le plus grand est observé chez la variété HOG (8,37 cm) suivi par ALT, BOUSL, POLO, WH et MEXI avec (8,21cm), (7,88 cm), (6,71cm), (6,2cm) et (5,54 cm) respectivement et OZ présente la plus faible valeur avec (5,07cm).

Ce paramètre constitue un bon indicateur de tolérance au déficit hydrique (**Fisher et al.1979**).

Le rôle de ce paramètre s'expliquerait par la quantité d'assimilats stockée par ces organes susceptibles d'un transfert vers le grain en cas de déficit terminal (**Gate et al.1990**).

Ces résultats sont en conformité avec les résultats d'autres chercheurs tels que **Heuer et Nadler (1998)**.

Ces auteurs ont pu constater qu'une contrainte hydrique sur différents génotypes de blé dur provoquait des modifications de ces paramètres, et que ces modifications sont plus marquées chez les variétés sensibles au stress hydrique.

III.3. Variation des paramètres physiologiques

- **Effet du Stress Hydrique Sur la Teneur Relative en eau (TRE)**

L'analyse de la variance de la teneur relative en eau indique une différence hautement significative entre les sept génotypes testés (**Tab annexe 04**), et mis en évidence 5 groupes homogènes qui sont:

- ✓ **Groupe a** : ALT.
- ✓ **Groupe b** : POLO et BOUSL.
- ✓ **Groupe c** : MEXI, OZ.
- ✓ **Groupe d** : WH.
- ✓ **Groupe e** : HOG.

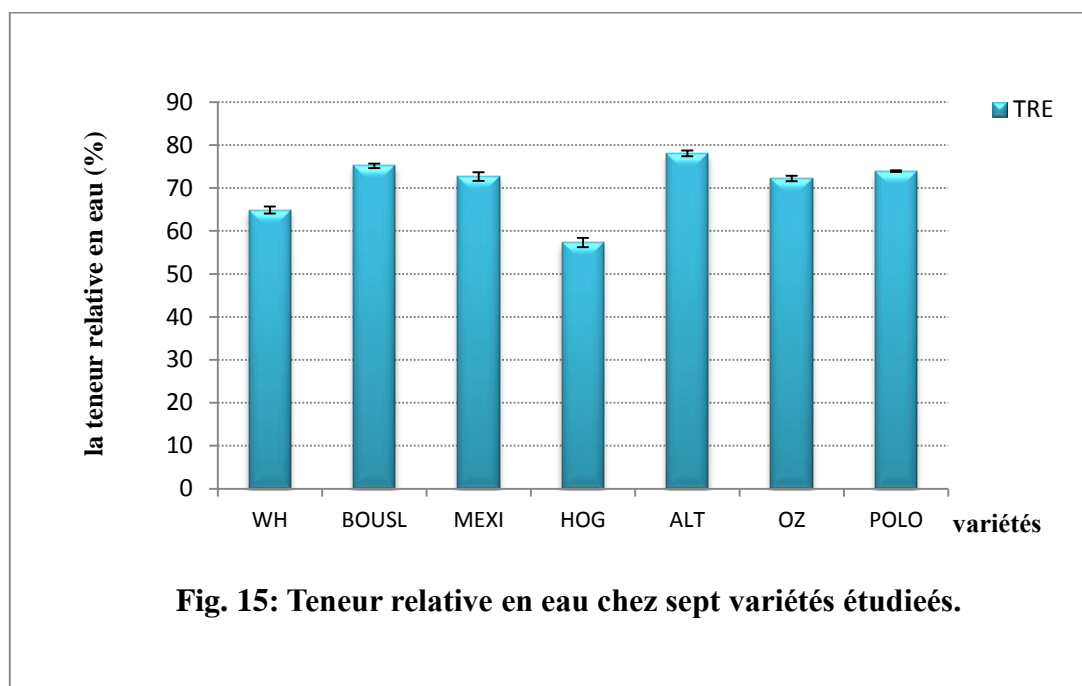


Fig. 15: Teneur relative en eau chez sept variétés étudiées.

La teneur relative en eau des géotypes appartenant aux variétés ALT, BOUSL, POLO, MEXI et OZ sont respectivement de 78,04%, 75,15%, 73,93%, 72,65% et 72,21% et représentent les valeurs élevées comparativement à celles des géotypes des variétés WH et HOG qui possèdent les valeurs les plus faibles de 64,87%, 57,28 %, respectivement (**Fig. 15**).

La mesure de la teneur relative en eau de tous les géotypes de blé dur (**Fig. 15**) nous renseigne que la teneur relative en eau baisse au fur et à mesure que le cycle de la culture tire vers sa fin.

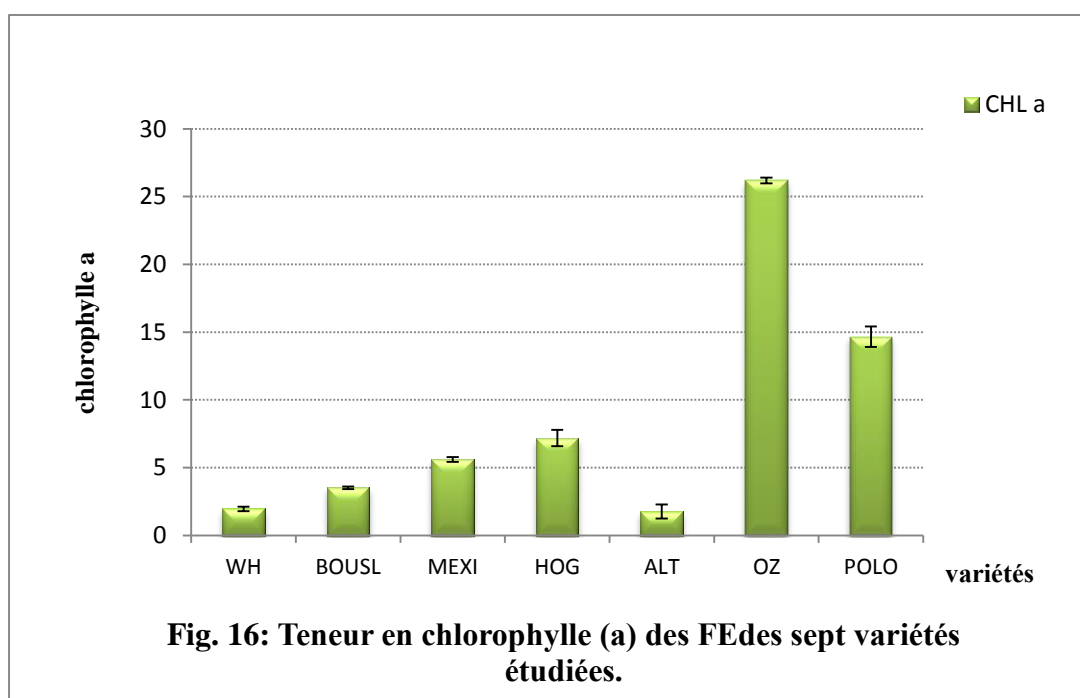
d'après **Bajji et al., (2001)**, la teneur en eau des feuilles de blé diminue proportionnellement avec la réduction d'eau contenue dans le sol ainsi, Selon (**Slafer et Andrade, 1990**), la diminution de la teneur relative en eau est due à la fermeture des stomates à cause de l'élévation de la température. **Scofield et al., (1988)**, 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.

- **Effet de stress hydrique sur la teneur moyenne en chlorophylle a, b et a+b au niveau de feuille étandard :**
- **Chlorophylles a**

L'analyse de la variance de la teneur de chlorophylles a indique une différence hautement significative entre les sept génotypes testés (**Tab annexe 04**), et mis en évidence 6 groupes homogènes qui sont:

- ✓ **Groupe a :** OZ.
- ✓ **Groupe b :** POLO.
- ✓ **Groupe c :** HOG.
- ✓ **Groupe d :** MEXI.
- ✓ **Groupe e :** BOUSL.
- ✓ **Groupe f :** WH et ALT.



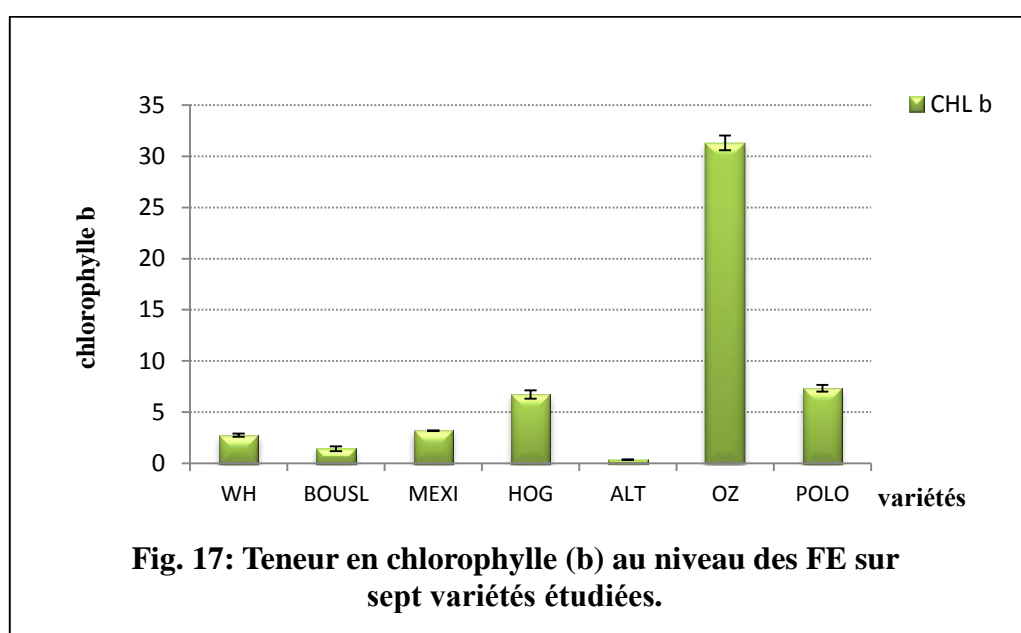
L'observation de la figure (16) précise clairement que le stress hydrique a exercé une forte diminution de la teneur en chlorophylle (a) pour les trois variétés WH, BOUSL et ALT avec des valeurs de 1,95, 3,51 et 1,76 µg/g MF respectivement. Pour les variétés, POLO, HOG et MEXI on observe une diminution présentée avec 14,65, 7,18 et 5,60 µg/g MF.

Par ailleurs, ce paramètre est moins affecté chez la variété OZ avec une faible diminution de la teneur en chlorophylle (a) avec une valeur de 26,19 µg/g MF.

- **Chlorophylles b**

L'analyse de la variance de la teneur de chlorophylles b indique une différence très hautement significative entre les sept génotypes testés, et mis en évidence 4 groupes homogènes qui sont:

- ✓ **Groupe a** : OZ.
- ✓ **Groupe b** : POLO et HOG.
- ✓ **Groupe c** : MEXI et WH.
- ✓ **Groupe d** : BOUSL et ALT.



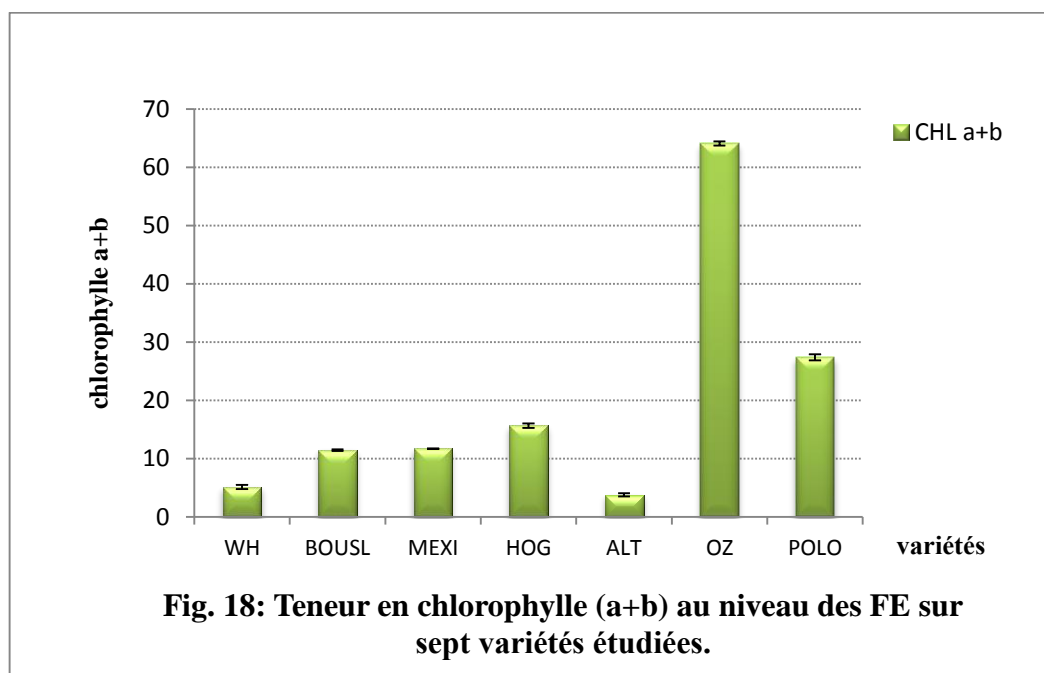
L'observation de la (**Fig. 17**) précise clairement que le stress hydrique a exercé une forte diminution de la teneur en chlorophylle (b) pour les trios variétés WH, BOUSL, ALT et MEXI avec des valeurs de 2,75 1,43 1,76 et 3,19 µg/g MF respectivement. Par contre les deux variétés, POLO, HOG on observe une diminution presque semblable présentait avec 7,32 et 6,71 µg/g MF.

Par ailleurs, ce paramètre est moins affecté chez la variété OZ avec une faible diminution de la teneur en chlorophylle (b) avec une valeur de 31,29 µg/g MF.

- **Chlorophylles (a+b)**

L'analyse de la variance de la teneur de chlorophylles a+b indique une différence très hautement significative entre les sept génotypes testés (**Tab annexe 04**), et mis en évidence 6 groupes homogènes qui sont:

- ✓ Groupe a : OZ.
- ✓ Groupe b : POLO.
- ✓ Groupe c : HOG.
- ✓ Groupe d : BOUSL et MEXI.
- ✓ Groupe e : WH.
- ✓ Groupe f : ALT.



L'observation de la (Fig. 18) précise clairement que le stress hydrique a exercé une forte diminution de la teneur en chlorophylle (b) pour les deux variétés WH, et ALT avec des valeurs de 5,10 et 3,76 µg/g MF. Par contre les quatre variétés, POLO, HOG, BOUSL et MEXI on observe une diminution présentaient avec 27,40 15,67 11,46 et 11,69 µg/g MF respectivement.

Par ailleurs, ce paramètre toujours est moins affecté chez la variété OZ avec une faible diminution de la teneur en chlorophylle (a+b) avec une valeur de 64,10 µg/g MF.

D'autre part nos résultats ont mis en évidence une augmentation de la teneur moyenne en chlorophylle a, b et par conséquent a+b chez la variété OZ, Selon **Ernez et Lannoye (1991)**, l'altération de l'état physiologique des plantes, causée par des conditions défavorables de l'environnement, se reflète rapidement au niveau des signaux lumineux et thermiques émis par les feuilles.

La quantité de la chlorophylle des feuilles peut être influencée par beaucoup de facteurs tels que l'âge des feuilles, la position des feuilles, et les facteurs environnementaux tels que la lumière, la température et la disponibilité en eau (**Hikosaka et al, 2006**).

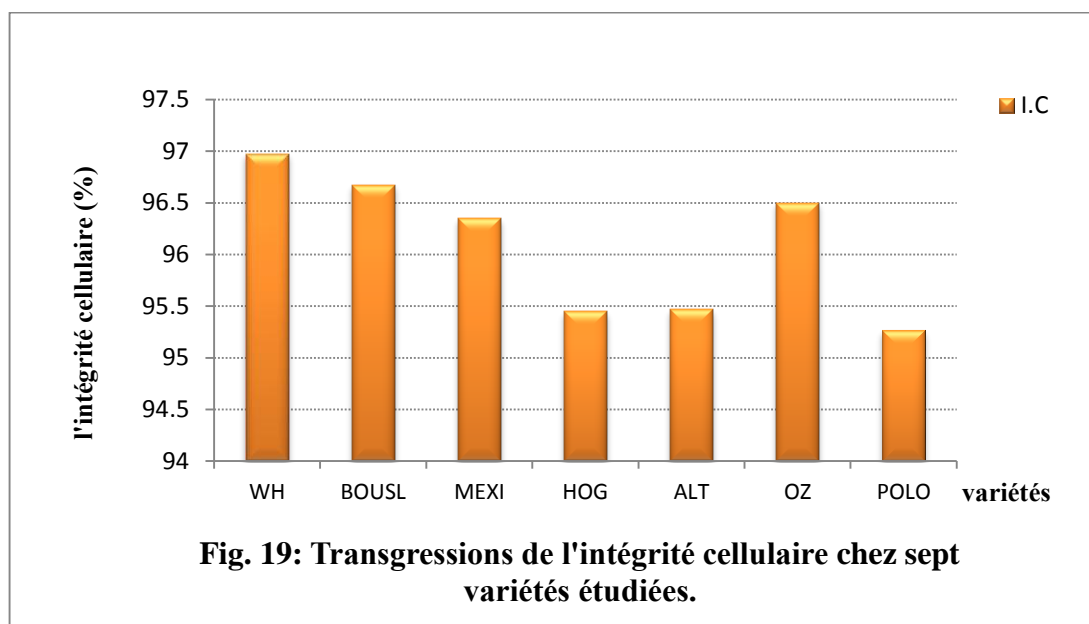
La chute des teneurs en chlorophylle chez les deux variétés ALT et WH est la conséquence de la réduction de l'ouverture des stomates visant à limiter les pertes en eau par évapotranspiration et par augmentation de la résistance à l'entrée du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse (**Bousba et al., 2009**).

Lorsque la plante subit un stress, le niveau de Chlorophylle diminue, affectant la coloration de la plante et ralentissant ses activités de croissance. La chute observée des teneurs en Chlorophylle a et b et en Chlorophylle a+b chez la variété Alt résulte probablement de la synergie de plusieurs facteurs : réduction de l'ouverture des stomates qui limite les pertes en eau par évapotranspiration et par augmentation de la résistance, baisse de l'entrée du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse. Indiquent que la diminution en Chlorophylles perturbe la redistribution des assimilâtes stockés par la tige vers les différentes parties de la plante, ce qui perturbe sa croissance (**Karima et al., 2012**).

- **L'intégrité cellulaire**

L'analyse de la variance de l'intégrité cellulaire indique une différence significative entre les sept génotypes testés (**Tableau annexe 04**), et mis en évidence 2 groupes homogènes qui sont:

- ✓ **Groupe a** : OZ, WH, BOUSL et MEXI.
- ✓ **Groupe b** : POLO, HOG et ALT.



La valeur moyenne du dommage cellulaire la plus élevée est notée chez la variété WH avec un taux de 96.97%, la plus faible est exprimée par POLO avec 95.26%. Parmi les 7 variétés étudiées, les variétés POLO, ALT et HOG semblent les moins affectées sous l'effet du stress hydrique enregistrant des valeurs de dommage cellulaire la plus faible qui sont 95,26 95,46 et 95,45 % respectivement, par contre les autres variétés.

Ces valeurs représentent le pourcentage des cellules endommagées sous l'effet du stress. Elles sont relativement élevées et variables d'un génotype à un autre. Les variétés HOG, ALT et POLO apparaissent moins sensibles au dommage cellulaire que les autres.

Le maintien de l'intégrité des membranes cellulaires en cas de stress hydrique est un des caractères universellement reconnus dans l'explication de la tolérance des plantes à la sécheresse.

Selon **Cornaire et al., (1995)** et **Lefebvre et al., (2009)**, parmi les mécanismes qui peuvent intervenir dans le maintien de la turgescence cellulaire figure la résistance protoplasmique qui dépend de la capacité des cellules à résister à un dommage mécanique et à la dénaturation des protéines au niveau membranaire ou cytoplasmique.

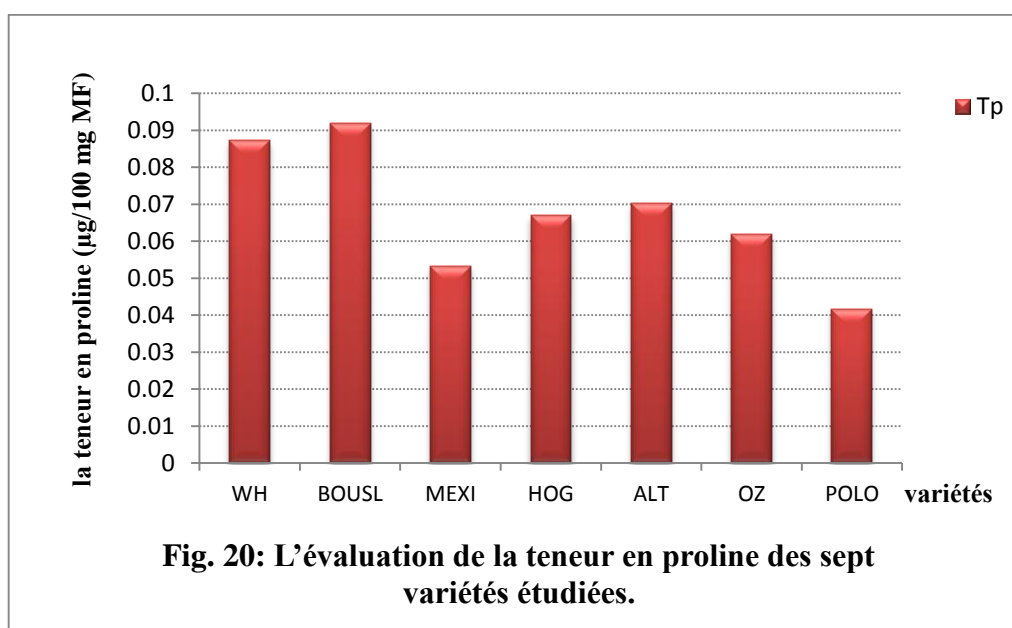
Reynolds et al., (1994), trouvent une forte corrélation entre le pourcentage de dégâts cellulaires causés par le choc thermique et la réduction de la productivité des génotypes testés. Ceci suggère que la sélection sur la base d'un faible dommage cellulaire améliore significativement le rendement grain. De ce fait, la sélection pour cette caractéristique privilégie les variétés POLO, ALT et HOG.

III.4. Variation des paramètres biochimiques

- **Variation de la teneur en proline ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$)**

L'analyse de la variance de la teneur en proline indique une différence significative entre les sept génotypes testés (**Tab annexe 04**), et mis en évidence 2 groupes homogènes qui sont:

- ✓ **Groupe a :** WH, BOUSL et ALT.
- ✓ **Groupe b :** POLO, HOG, MEXI et OZ.

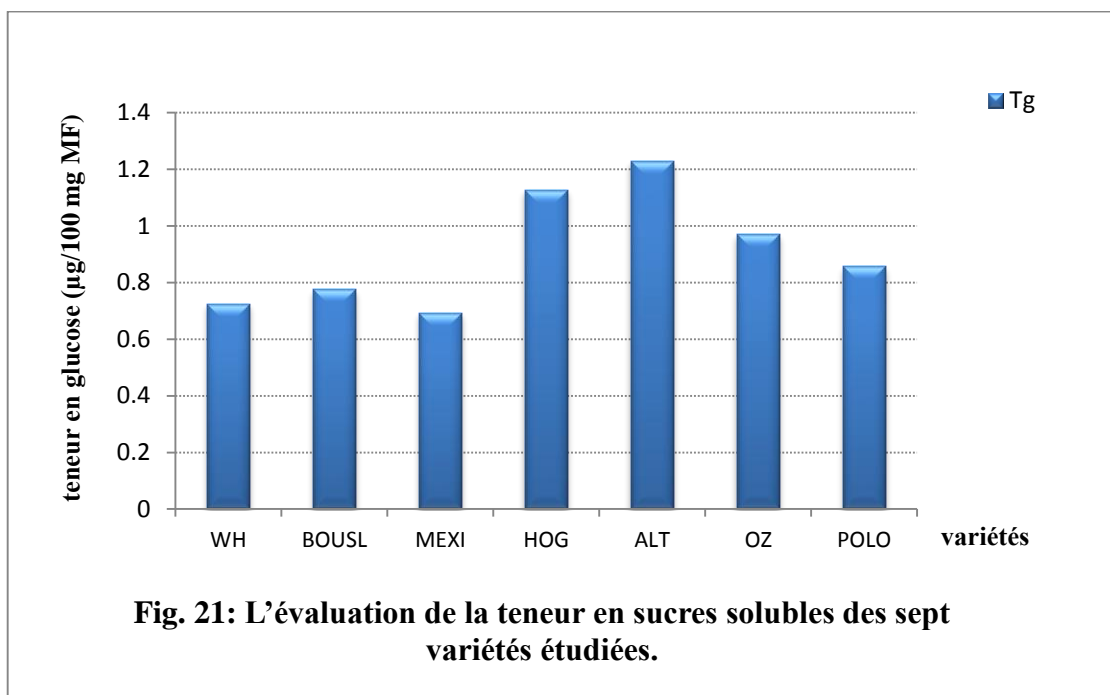


Les résultats des moyennes, qui illustrés sur la (**Fig. 20**), Chez les variétés WH et BOUSL le stress hydrique a provoqué une accumulation de la proline augmenté dans les feuilles étandard par rapport les autres variétés. Les taux d'augmentation de la proline ont atteint BOUSL avec une valeur maximale de ($0.092 \mu\text{g}/100\text{mg MF}$), WH ($0.087 \mu\text{g}/100\text{mg MF}$) et ALT ($0.070 \mu\text{g}/100\text{mg MF}$), par contre les variétés HOG et OZ ($0.067 \mu\text{g}/100\text{mg MF}$) et ($0.062 \mu\text{g}/100\text{mg MF}$) par rapport aux POLO avec une valeur minimale ($0.041 \mu\text{g}/100\text{mg MF}$).

- **Variation de la teneur en sucres solubles ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$)**

L'analyse de la variance de la teneur en sucres solubles indique une différence significative entre les sept génotypes testés (**Tab annexe 04**), et mis en évidence 2 groupes homogènes qui sont:

- ✓ Groupe a : ALT et HOG.
- ✓ Groupe b : OZ.
- ✓ Groupe c : POLO, BOUSL et WH.
- ✓ Groupe d : MEXI.



Les résultats des moyens, qui illustrés sur la (**Fig. 21**), Les fortes accumulations des sucres solubles sont observées au ALT et HOG. Dans la variété ALT, La valeur enregistrée de (1.22 µg/100mg MF) et une valeur (1.12 µg/100mg MF) enregistrée chez la variété HOG. Sous condition de stress, on observe une forte accumulation en sucres solubles chez les deux dernières variétés par rapport aux autres. La teneur la plus élevée est notée chez la variété ALT et une teneur minimale notée chez la variété WH avec une valeur de (0,72 µg/100mg MF).

Dans cette expérience les sept variétés ni utilise pas le même stratégie au coure la teneur en proline pour tolérance au stress. La variété BOUSL utilise la proline pour la tolérance au stress. Selon **Wilfred (2005)**, la capacité d'accumuler la proline chez les plantes est un facteur variétal et un signe de tolérance au stress hydrique. Mais la variété POLO n'utilise pas la proline comme une substance de résistance au stress hydrique.

Plusieurs auteurs montrent que l'augmentation de la teneur en proline est reliée directement à l'application du stress hydrique (**Cechin et al., 2006**). L'accumulation de la proline a été démontrée chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress

(osmotiques, hydriques, thermiques) (Blum., 1996). Plus le niveau de stress appliqué augmente plus les teneurs en proline deviennent plus marquées (Savouré et al., 1995).

L'accumulation des sucres solubles est un moyen adopté par les plantes en cas de stress, afin de résister aux contraintes du milieu (Mouellef., 2010).

Les sucres solubles protègent les membranes contre la déshydratation, en condition de déficit hydrique, ils participent en grande partie à l'abaissement du potentiel osmotique chez le blé.

Les plantes stressées ont réagi par l'augmentation des quantités de sucres solubles au niveau de leurs cellules (Hireche, 2006). Cette augmentation est en réalité une confirmation des résultats des chercheurs qui ont affirmé que le déficit hydrique a causé une accumulation importante des sucres solubles au niveau des feuilles (Zerrad et al., 2006).

Différents sucres solubles peuvent être présents dans les tissus bien hydratés, mais le saccharose est préférentiellement accumulé dans les tissus en déshydratation. (Dubos, 2001).

L'accumulation des sucres solubles peut résulter d'une augmentation de l'hydrolyse de l'amidon puisqu'ils ont enregistré, simultanément, une diminution de l'amidon et une accumulation de sucres solubles dans les tissus stressés (Bouchelaghem, 2012).

Les osmolytes, les plus importants, qui s'accumulent chez les céréales en conditions de déficit hydrique, sont représentés, entre autres, par le sucre et la proline. Ces osmolytes jouent un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation de la plante au manque d'eau (Laala, 2010). L'existence chez les céréales d'une variation intra-spécifique pour l'accumulation de la proline sous l'effet du déficit hydrique suggère la possibilité d'une sélection, sur la base de ce caractère, des génotypes performants en condition de stress hydrique (Laala, 2010).

III.5. Analyse des liaisons inter- variables

L'étude des corrélations entre les différentes variables mesurées indique que chez les variétés la surface foliaire est positivement liée avec la longueur de l'épi ($r=0,361$), la longueur des barbes ($r=0,747$), la hauteur de plantes totale ($r=0,791$), chlorophylle a ($r=0,305$), l'intégrité cellulaire ($r=0,621$) et encor avec la teneur en proline ($r=0,634$) et négativement liée avec la teneur relative en eau ($r=-0,155$) et avec la teneur en sucres solubles ($r=-0,159$).

Cela signifie qu'une augmentation de la surface foliaire induit une augmentation de la capacité photosynthétique pour la synthèse des composés carbonés organiques, et par conséquent une augmentation du nombre de grain par épi.

Puisque le nombre de grains que produit une plante est lié à ses capacités de croissance, en cas de stress provoquant une diminution de la surface foliaire donc de la photosynthèse, la priorité de la plante est de préserver sa capacité à produire au moins une graine viable. Elle met donc en œuvre un processus d’avortement des graines qui ne pourront pas être remplies faute de ressources suffisantes.

D’autre part, la réduction de la surface foliaire est accompagnée par une augmentation de la teneur relative en eau de la feuille. Ces résultats sont en accord avec ceux de **Bouzerzour et al., (1998b) ; Hioun et al., (2002) et Oulmi (2010) in Salmi 2015.**

En effet, les espèces végétales qui maintiennent des teneurs foliaires relatives en eau élevées sont considérées comme étant des espèces résistantes à la sécheresse (**Berka et Aïd, 2009**).

Mais cette stratégie d’évitement d’après **Bidinger et Witcombe, (1989)**, peut aussi diminuer le rendement à cause de la réduction de la capacité photosynthétique.

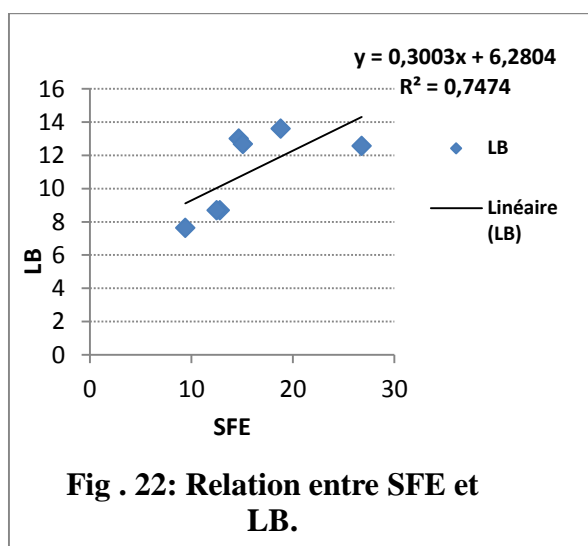


Fig . 22: Relation entre SFE et LB.

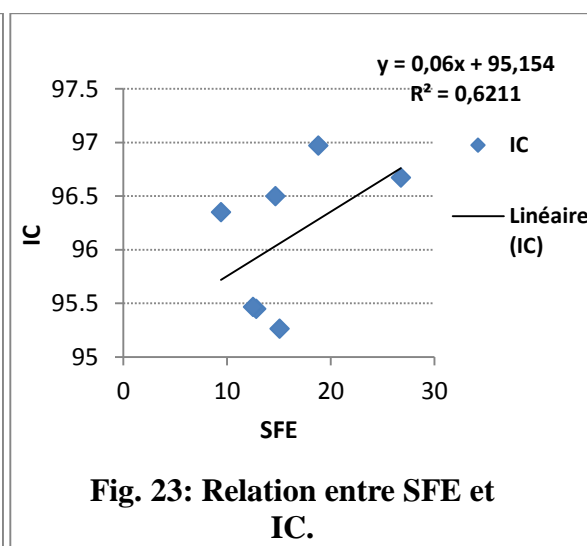
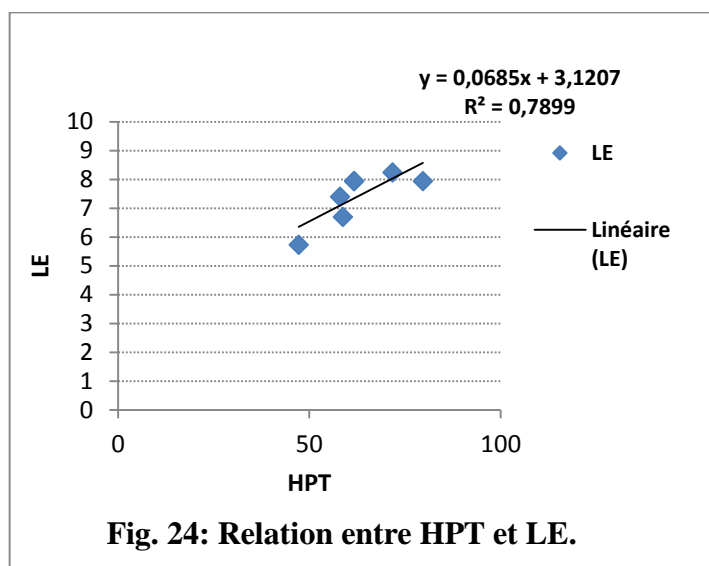


Fig. 23: Relation entre SFE et IC.

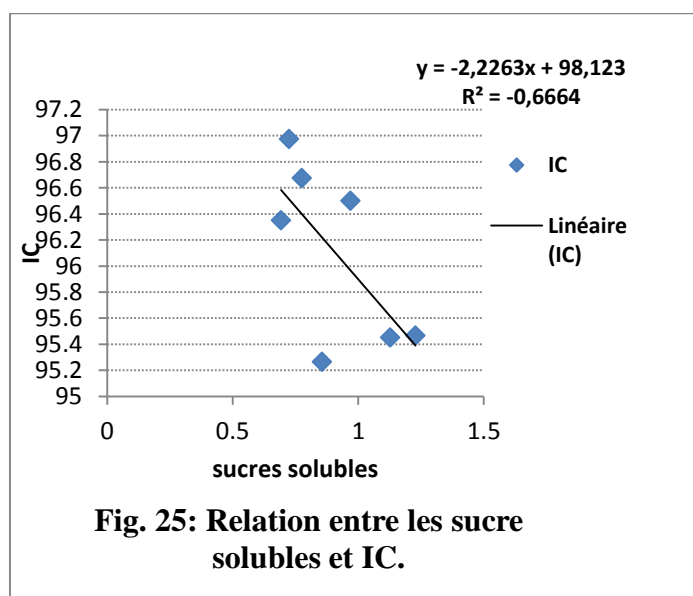
La teneur relative en eau présente une liaison négative avec la longueur de l’épi ($r=-0.262$). Cette corrélation est rapportée par **Ali Dib et al., (1992)**, qui suggèrent que les caractéristiques d’un épi court contribuent à une limitation des pertes en eau, et que la présence sur les glumes et les barbes non seulement de stomates, mais également de lenticelles lui confèrent en effet une conductance épidermique élevée, 4 fois plus importante environ que celle de la feuille étandard.

On trouve que la hauteur de la plante est positivement corrélée avec la longueur d’épis ($r=0.789$) ce qui indique que les génotypes courts sont les moins productifs d’épis longs. En effet, un génotype relativement haut émet plus d’épis longs. Toutefois, une paille relativement haute devient une caractéristique désirable sous stress hydrique.

Ces résultats différents de ceux obtenus par **Bouzerzour et Hafsi, (1993)** et **Hamada (2002)**, qui ont montré que les variétés à paille courte produisent mieux que celles à paille haute en zone semi-aride.



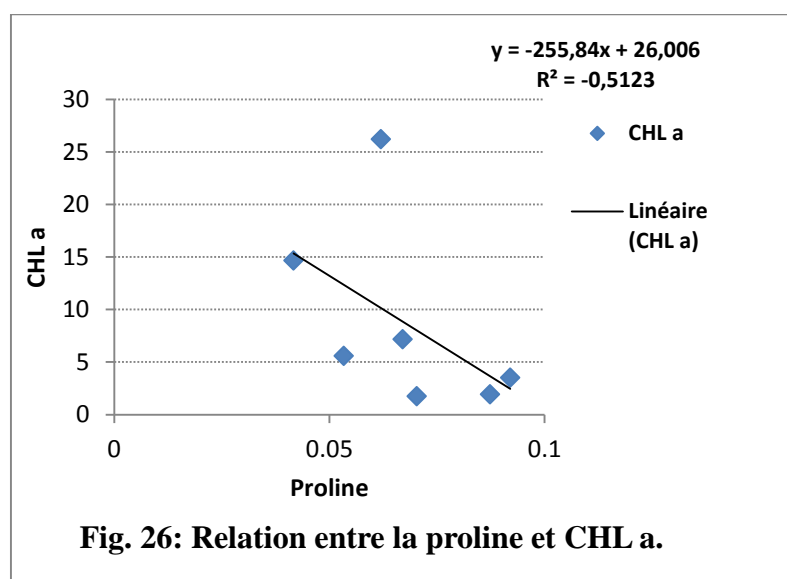
La présence d’une corrélation négative entre la teneur en sucres solubles et l’intégrité cellulaire ($r=-0.666$) pourrait s’expliquer par le rôle des sucres dans la protection des membranes cellulaires.



Alors que cette variable est liée positivement avec la longueur de feuille ($r=0,666$), la longueur des barbes ($r=0,290$) et la hauteur de la plante totale ($r=0,860$).

En effet, l'accumulation de la proline semble beaucoup plus destinée à la tolérance au stress mais elle n'est pas en mesure d'avoir un apport avec l'expression du rendement dans les zones semi-arides. D'autre part, **Slama (2002)**, a trouvé que la variété qui accumule plus de proline dans ses différents organes et en particulier au niveau de la barbe et de la feuille drapeau en conditions de déficit hydrique, donne le rendement le plus élevé et présente la capacité de remplissage de grains la plus importante.

Dans notre cas, on a trouvé une corrélation négative entre la quantité en chlorophylle a et la teneur en proline ($r=0,512$).



Les résultats de **Tahri et al., (1997)**, révèlent une certaine proportionnalité, mais inverse entre les teneurs en proline accumulées et les teneurs en pigments chlorophylliennes perdues.

Ainsi la variété qui accumule plus de proline et aussi celle qui connaît la plus forte diminution de ses teneurs en pigments chlorophylliennes et vice versa (**Tahri et al., 1997**).

III.6. Discussion générale

Les différentes analyses entreprises ont porté sur quelques caractères morphologiques et physiologiques et biochimiques chez sept variétés; le but étant de cerner les mécanismes d'adaptation au stress hydrique et ce, à travers l'expression des réponses génotypiques.

A la lumière des résultats obtenus, s'il est illusoire de vouloir identifier avec grand discernement les mécanismes d'adaptation, il est cependant possible d'en dégager quelques traits caractéristiques et spécifiques à chaque génotype.

Face à un stress hydrique, les réponses génotypiques sont diversifiées : elles sont soit l'expression d'un ajustement osmotique, à travers une teneur élevée en eau, soit l'accumulation d'osmolytes importante telle que la proline ou soit d'un surcout énergétique représenté par les teneurs pigmentaires chlorophylliennes.

C'est ainsi qu'il a été noté des augmentations de SFE chez les variétés BOUSL, OZ par rapport à les autres variétés, c'est le cas de variétés WH et HOG, par contre chez ALT, POLO, et MEXI le stress diminue la SFE.

C'est ainsi qu'il a été noté chez les résultats des teneurs en eau, des valeurs élevées concernent les variétés ALT, POLO, BOUSL, MEXI et OZ et adaptation faible chez HOG et WH.

La tolérance au stress imposé reflétée par le statut énergétique et plus particulièrement par la chlorophylle montre une valeur élevée chez OZ par contre les autres variétés qui représentent des valeurs plus faibles.

Une autre forme d'accommodation est imputée à l'accumulation importante de proline chez WH et BOUSL par rapport à les autres variétés.

D'après nos résultats on conclue que :

Les variétés WH, BOUSL, OZ et HOG sont les plus tolérantes au stress hydrique, par contre les autres variétés qui sont ALT, MEXI et POLO très sensible au stress hydrique.

CONCLUSION

Conclusion

L'expérimentation que nous avons menée durant la campagne 2016-2017, nous a permis de répondre aux principaux objectifs fixés au départ.

Les résultats de cette étude montrent que le stress hydrique affecte toutes les composantes du rendement chez tous les génotypes étudiés. Ceci est confirmé par les résultats obtenus par comparaison entre, les sept variétés.

Disposer des paramètres morphologiques et physiologiques d'étudier le comportement des variétés vis-à-vis du milieu.

Pour les caractères morphologiques de croissance étudiés (la longueur de 5^{ème} feuille, la surface de la feuille étendue (SFE)), nous avons remarqué que la variété BOUSL a une vitesse de croissance élevée par rapport aux autres variétés et donc BOUSL est mieux adaptée à la zone semi-aride.

Concernant les caractères morphologiques étudiés, ceux qui interviennent fortement dans l'adaptation et aussi dans le rendement sont la hauteur de la plante totale (HPT), la longueur des épis (LE), la longueur de barbe (LB) et la longueur du col de l'épi (CE), nous avons trouvé que les deux variétés BOUSL et WH présentent les valeurs les plus élevées par rapport aux autres variétés.

Pour les paramètres physiologiques étudiés, la teneur en chlorophylle est présentée avec des quantités importantes dans la feuille étendue, qui contribue à la nutrition de l'épi. La variété à une teneur en chlorophylle élevée est OZ.

Pour les deux paramètres : l'intégrité cellulaire et la teneur relative en eau les variétés BOUSL et WH occupent les premières places dans le classement.

Concernant les paramètres biochimiques étudiés la variété ALT contient une quantité importante en sucres solubles avec 1,22 ($\mu\text{g}/100 \text{ mg MF}$) et par rapport à la teneur en proline la variété BOUSL présente la valeur la plus élevée avec 0,092 ($\mu\text{g}/100 \text{ mg MF}$).

Finalement nous pouvons dire qu'il y a des variétés locales qui ont été bien adaptées à la zone semi-aride.

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

- D'appliquer cette étude sur plusieurs stades de cycle de vie.

- Utiliser plusieurs variétés.
- De compléter le travail par des études de biologie moléculaire pour identifier les gènes responsables.
- D'étudier la résistance aux stress biotiques et abiotiques.

REFERENCE
BIBLIOGRAPHIQUE

Référence Bibliographique

- Adjab M. 2002.** Recherche des traits morphologiques, physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress agronomique. *INRA*.1:21-31p.
- Ait Kaki S. (2008).** Contribution à l'aide de l'interaction génotype x milieu, pour la qualité technologique chez le blé dur en Algérie. *Thèse doctorat*, Université de Annaba, 174p.
- Ali Dib, T. (1992).** Contribution à l'étude de la tolérance à la sécheresse de blé dur. Etude de la diversité de caractères physiologiques d'adaptation. Thèse de doctorat, Montpellier, 196p.
- Ali M., Jensen C. R., Mogensen V.O. et Bahrun A. 1999.** Drought adaptation of field grown wheat in relation to soil physical conditions. *Plant and Soil* 208: 149-159.
- Amokrane A., Bouzerzour H., Benmahammed A. et Djekoun A. 2002.** Caractérisation des variétés locales, syriennes et européennes de blé dur évaluées en zone semi-aride d'altitude. *Sciences et Technologie*, Université Mentouri Constantine. Numéro spécial D, 33-38.
- Araus J. L., Slafer G.A., Reynolds M. P. et Royo, C. 2002.** Plant breeding and water relations in C3.
- Assem, N., El Hafid, L., Haloui, B., & El Atmani, k. (2006).** Effets du stress hydrique appliqué au stade trois feuilles sur le rendement en grains de dix variétés de blé cultivées au Maroc oriental. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 17 (4) : 499-505.
- Bagga A.K., Ruwal K.N. et Asana R. D. 1970.** Comparison of some Indian and semi-dwarf Mexican wheat to unirrigated cultivation. *Indian J. agric. Sci.* 40: 421- 427 p.
- 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.
- Bajji M., Lutts S. & Kinet J-M. 2001.** Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Sci.* 160 : 669 -681p.
- Belkharchouche H, Fellah S, Bouzerzour H, Benmahammed A, Chellal N, (2009).** vigueur de croissance translocation et rendement en grains du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous condition semi-aride. *courrier du savoir* N°09. pp 17-24.
- Ben Naceur M., Gharbi M. S. et 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 p.
- Ben Salem M., Boussen H. et 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 p.
- Benlarabi, M., & Monneveux, P. (1988).** Etude comparée du comportement en situation de déficit hydrique de deux variétés algériennes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) adaptées à la sécheresse. *C.R Acad. Agric. France.*, 74 (5): 73-83.
- Berka, S., & Aïd, F. (2009).** Réponses physiologiques des plants d'*Argania spinosa* (L.) Skeels soumis à un déficit hydrique édaphique. *Sécheresse*, 20 (3) : 296-302.

Référence Bibliographique

- Bidinger, F. R., & Witcombe, J. R. (1989).** Evaluation of specific deshydration tolerance traits improvement of drought resistance. In drought resistance in cereals F.W.G. *Baker of CAB international*, 151-164.
- Blum A., 1996.** Crop responses to drought and the interpretation of adaptation plant growth regulation. **20**: 135 - 148 p.
- Bouchelaghem S., 2012.** Contribution à l'étude de l'impact d'un engrais couramment utilisé en Algérie (NPK) sur la croissance le métabolisme et le développement racinaire d'un modèle végétale blé dur. Thèse de doctorat. Univ. Constantine.
- Bousba, R., Ykhlef, N., & Djekoun, A. (2009).** Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *World Journal of Agricultural Sciences* 5. 5: 609 -616.
- Bouzerzour, H., & Hafsi, M. (1993).** Diagnostic du comportement variétal du blé dur dans les hautes plaines sétifiennes. In : Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale. Montpellier, France. Ed. INRA. Paris. 64: 205-215.
- Boyer J. S. 1982.** *Plant productivity and environment. Sci, New series.* 218: 443 - 448 p.
- Bozzini A. 1988.** Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. in
- Braam J., Sistrunk M., Polisenky D. H., Xu W., Purugganan M. M., Antosiewicz D. M., Campbell P. et Johnson K. A. 1997.** Plant responses to environmental stress: regulation and functions of the Arabidopsis TCH genes. *Planta.* 203 : 35 - 41p.
- Cechin I., Rossi S.C., Oliveira V.C. & Fumis T.F., 2006.** Photosynthetic responses and proline content of mature and young leaves of sunflower plants under water deficit. *PHOTOSYNTHEICA* .**44** (1): 143-146p.
- cereals. What should we breed for? *Annals of Botany.* 89: 925-940.
- Cherif N., Touabet F., 2013.** La vigueur de croissance et de rendement de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous condition semi-aride. L.Thèse de Magistère. Univ. MBB-BBA (Algérie).
- Clarke J.M., Norvell W.A., Clarke F.R. et Buckley T.W. (2002).** Concentration of cadmium and other elements in the grain of near-isogenic durum lines. *Can. J. Plant Sci. /Revue canadienne de phytotechnie*, **82**: 27-33.composantes chez des populations F3 de blé dur (*Triticum durum* Desf.) Sous conditions consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants. Constantine.
- Cornaire, B., Phamthi, A. T., Zuily-Fodil, Y., Daniel, C., & Vieira Da Silva, J. B. (1995).** Contribution to study on oil palm drought tolerance: Protoplasmic resistance. *INRA, Inter drought*, VI-7.
- Croston R. P. et Williams J.T. (1981).** A world survey of wheat genetic resources. *IBRGR. Bulletin / 80/59*, 37 p.
- Davidson, D. J., & Chevalier, P. M. (1990).** Pre-anthesis tiller mortality in spring wheat. *Crop Sci*; 30 : 832-6.
- Debaeke P., Cabelguenne M., Casals ML. & Puech J. 1996.** Élaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. II. Mise au point et test d'un modèle de simulation de la culture de blé d'hiver en conditions d'alimentation hydrique et azotée variées. *Epicphase-blé. Agronomie.***16**: 25 - 46 p.
- Dixon R. et Paiva N. L. 1995.** Stress - induced phenylpropanoid metabolism. *The plant cell* .7: 1085 - 1097p.
- Dubois M., Gilles K.A., Hamilton P.A., Ruberg A. & Smith F., 1956.** Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry.***28.3**:350- 356p.
- Dubos C., 2001.** Réponse moléculaire de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress
- El hassani T.A. et Persoons E. 1994.** Agronomie moderne. Bases physiologiques et agronomiques de la production végétale. (éd). *AUPELF-UREF*: 544 p.

Référence Bibliographique

- El Jaafari, S., & Paul, R. (1993).** Accumulation foliaire de proline et résistance à la sécheresse chez le blé (*Triticum aestivum* L). *Arch Int Physiol Biochem Biophys* 101: B8. environmental and hormonal regulation of expression. *Plant Journal*. 9: 879 - 889 p.
- Ernez M. Lannoye R., 1991.** Quantification des désordres photosynthétiques chez la plante stressée: aspects conceptuels et méthodologiques, L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris : 9-23. Etats-Unis, pp: 1-16. Fabriani G. et C. Lintas (éd). Durum: Chemistry and Technology. AACCC (Minnesota),
- Fahmi, F., Tahrouch, S., Bouzoubâa, Z., & Hatimi, A. (2011).** Effet de l'aridité sur la biochimie et la physiologie d'argania spinosa. Actes du Premier Congrès International de l'Arganier, Agadir, pp. 299-308.
- Febrero A., Brot J., Brown R.H. et Araus J.L., (1990).** The role of durum wheat ear as photosynthetic organ during grain filling. In: advanced trend in photosynthetic, Mallorca, Spain (unpublished).
- Feillet P. (2000).** Le grain du blé. Composition et utilisation. Ed. INRA, Paris, pp : 17-18.
- FERTIAL SPA /Groupe Villar Mir –Route des Salines-ANNABA.**
- Fischer Ra, Wood Jt- 1979:** Drought resistance in spring wheat cultivar III yields.
- Fokar M., Nguyen H .T.et Blum A., (1998).** Heat tolerance in spring wheat II. Grain Filling *Eupytica* 104,915.
- Gate P, Brain P, Colnenne J, Briffaux G – 1993 :** pour les cereales à paille à chaque variété son époque de survie - Perspectives agricoles 148 : 20-27.
- 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. H. (1995).** Ecophysiologie du blé ; Technique et documentation : Lavoisier, Paris, 429 p.
- Gaufichon, L., Prioul, J. L., & Bachelier, B. (2010).** Quelles sont les perspectives d'amélioration génétique de plantes cultivées tolérantes à la sécheresse? *In. Etude de la foundation FARM*.
- Gharti-Chhetri, G. B., & Lales, S. (1990).** Biochemical and physiological responses of nine spring wheat (*Triticum aestivum*) cultivars to drought stress at reproductive stage in the tropic. *Belg. Bot.* 123 (2): 27-35.
- Gonzalez A., Martin I. et Ayerbe L. 1999.** Barley yield in water stress conditions.
- Granier, C., Inzé, D., & Tardieu, F. (2000).** Spatial distribution cell division rate can be deduced from that of P34cdc2 kinase activity in maize leaves grown in contrasting conditions of temperature and water status. *Plant Physiol.* 124:1393-1402 p.
- Hadjichistodoulou 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.
- Hamada, Y. (2002).** Evaluation de la variabilité génétique et utilisation des espèces tétraploïdes du genre *Triticum* pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse Magister. Université Mentouri Constantine. 167p.
- Harlan J.R. (1975).** Our vanishing genetics resources. *Science*, **188**: 618-621.
- Hegarty, T. W., & Ross, H. A. (1978).** Differential sensitivity to moisture stress of seed germination and seedling radicle growth in calabrese (*Brassica oleracea* var. italica) and cress (*Lepidium sativum*). *Annals of Botany*, 42:1003–1005
- Heuer B. and Nadler A., 1998.** Physiological response of potato plants to soil salinity.

Référence Bibliographique

- Hikosaka K., Ishikawa K., Borjigidai A., Muller O. & Onoda Y., 2006.** Temperature acclimation of photosynthesis: mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rate. *J. Exp. Bot.* **57**: 291-302 p.
- Hireche, Y. (2006).** Réponse de la luzerne (*Medicago sativa* L) au stress hydrique et à la profondeur de semis. Mémoire de magister, Département d'Agronomie. Université EL-Hadj Lakhdar, Batna. 83p.
- Hopkins, W. G. (2003).** Physiologie végétale. 2ème édition. De Boeck, Bruscelles: 61-476.
- Hsissou D. 1994.** Sélection *In vitro* et caractérisation de mutants de blé dur tolérants à la sécheresse. Thèse de doctorat. Univ. Catholique de Louvain. hydrique chez différents génotypes de blé dur (*Triticum durum* desf.). Thèse de Magister, faculté des Sciences, Université Badji Mokhtar, Annaba, 84p. hydrique en milieu hydroponique. Thèse de doctorat. Univ. Henri Poincaré, Nancy-I. France.
- Johanson D. A., Richards R. A. et Turner N.C. 1973.** Yield water relation gas exchange and surface
- Kaiser, W. M. (1987).** Effect of water deficit on photosynthetic capacity. *Physiol. Plant*, **71**, 142-149.
- Karima K., Louhichi B., 2012.** Réponse Physiologique au Stress Hydrique de Variétés de Blé Tendre (*Triticum Aestivum* L.) Cultivées en Algérie
- Kirkham M. B., Smith E. L., Danasobhon C. et Draket T. I. 1980.** Resistance to water loss of winter
- Laala Z., 2010.** Analyse en chemin des relations entre le rendement en grains et les semi-arides. L.Thèse de Magistère. Univ. ferhat abbas-setif ufas (algerie).
- Laberche J-C . 2004.** La nutrition de la plante In Biologie Végétale. *Dunod*. 2e (éd). Paris:154 -163 p.
- Lefebvre, V., Poormohammad Kiani, S., & Durant-Tardif, M. (2009).** A focus on natural variation for abiotic constraints response in a model species *Arabidopsis thaliana*. *International Journal of molecular sciences*, **10**: 3547-3582.
- Mackey J. (1968).** Species relations in *Triticum*. Proc. 2nd International Wheat Genetic Symposium, Hereditas, **2**: 237-276.
- Madhava Rao K.V., Raghavendra A. S. et Janardhan Reddy K. 2006.** Printed in the Netherlands. *méditerranéennes* série A (Séminaires méditerranéens), **40**: 19 1-201.
- Monneveux P. (1991).** Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance à au déficit hydrique des céréales d'hiver . In amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. N. Chalabi and Y. Demarly (eds). Tunis (Tinisie), AUPELF- UREF, pp: 165-186.
- Mouellef A., 2010.** Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Thèse de Magistère Université Mentouri.
- Mouhouche B. & Boulassel A. 1997.** Gestion rationnelle des irrigations des compléments des cultures de légumineuses alimentaires et céréales.*Recherche*.
- Nadjem K., 2011.** Contribution à l'étude des effets du semis direct sur L'efficacité d'utilisation de l'eau et le Comportement variétal de la culture de blé en Région semi-aride.. l.thèse de magistère. Univ. ferhat abbas-setif ufas (Algérie). 102-107.
- Nouri, L. (2011).** Identification de marqueurs physiologiques de la tolérance à la sécheresse chez le tournesol. Thèse de Doctorat es Science, spécialité, Biologie et Physiologie végétales, option, Génétique et Amélioration des plantes, Université Constantine. 131 p. *Physiology* .**13**: 175- 90 p. *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*. Springer: 1-14 p.
- Plaut, Z., & Federman, E. (1991).** Acclimation of CO₂ assimilation in cotton leaves to water stress and salinity. *Plant Physiol.*, **97** : 515-522.

Référence Bibliographique

- Poorter H. 1989.** Interspecific variation in relative growth rate: on ecological consequences. In: Causes and precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance. *Field Crop Research*.62: 23 -34 p.
- Radhouane, L. (2009).** La photosynthèse du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.) en présence de contrainte hydrique et saline. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, 103 (3): 185-200.
- Rasio A., Sorrentinio G., Cedola M.C., Pastore D. & Wittner G., 1987.** Osmotic and elastic adjustment of durum wheat leaves under stress conditions. *Genetic Agr.* **41**: 427 – 436 p.
- Reynolds, M. P., Balota, M., Delgato, M. I. B., Amani, I., & Fischer, R. A. (1994).** Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot, irrigated conditions. *Aust. J. Plant. Physiology*, 21: 717-730.
- Richards R. A., Rebtzke G. J., Van Herwaardlen A. F., Dugganb B. L., Condon A. 1997.** Improving root distributions of high yielding wheat varieties. *Inst. J. Apple. Radiat. Isot.*, 19, 385-390.
- Salmi M., 2015.** Caractérisation morpho-physiologique et biochimique de quelques générations F2 de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. L.Thèse de magistère. Univ. ferhat abbas-setif ufas (Algérie).
- Savouré A., Jaoua S., Hua XueJun., Ardiles W., Van Montagu M. & Verbruggen N., 1995.** Isolation, characterization, and chromosomal location of a gene encoding the DELTA 1.
- Scofield T., Evans J., Cook M. G. et Wardlow I. F. 1988.** Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Australian Journal of Plant physiology*. 4: 785 - 797 p.
- Serries 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.
- Siddique K. H. M., Kirby E. J. M. et Perry M. W. 1989.** Ear stem ratio in old and modern wheat varieties:
- Slafer G. A. et Andrade F. H. 1990.** Genetic improvement effect on pre- anthesis/ phonological attributes.
- 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-libbeyeuotext.fr/fr/revues/agro_biotech/sec/e-docs/00/04/11/2E/telecharger.md).
- Slama, A. (2002).** Étude comparative de la contribution des différentes parties du plant du blé dur dans la contribution du rendement en grains en irrigué et en conditions de déficit hydrique. Thèse de doctorat en biologie, faculté des sciences de Tunis.
- Sorrells M. E., Diab A. et Nachit M. 2000.** Comparative genetics of drought tolerance.
- Soltner D., 2005.** Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. Sainte-Gemme-sur Loire, Sciences et Techniques Agricoles.
- Subbiah B. V., Katyal J. C., Narasimham R. L., Dakshinamurti C. 1968.** Preliminary investigation on root distributions of high yielding wheat varieties. *Inst. J. Apple. Radiat. Isot.*, 19, 385-390.
- 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*. Rabat, 21: 81-89 .
- Triboï E.1990.**Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre.*Agronomie*. **10** : 191- 200p.
- Troll, W. et Lindesly, J., 1955.** A photometric method for the determination of proline. *J. Biol. Chem.* (215): 655-660.

Référence Bibliographique

Turner N. C. 1986. Adaptation to water deficit: a changing perspective. *Australian Journal of Plant wheat flag leaves. Cer. Res. Commun.* 8: 393 p.

Wilfried C., 2005. Proline as a measure of stress in tomato plants. *Plant Sci* 168 : 241- 248.

Xu W., Campbell P., Vargeese A. K. et Braam J. 1996. The Arabidopsis XET-related gene family: yield in rainfed environments through physiological plant breeding. *Dryland Agriculture*, 36: 254-66.

Yves H. et De Buyser J. (2000). L'origine des blés. *Pour la science*, 26: 60-62.

Zerrad W., Hillali S., Mataoui B., El Antri S. & Hmyene A., 2006. Etude comparative des mécanismes biochimiques et moléculaires de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. *Biochimie, Substances naturelles et environnement. Congrès international de biochimie. Agadir.*

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

ANNEXES

Annexe 01 : Méthodes de mesure les caractères morphologiques.



La longueur d'épi



La longueur de feuille étendard



La longueur des barbes



La largeur de la feuille étendard

Annexe 02 : Les étapes de détermination des caractères physiologiques et biochimiques.



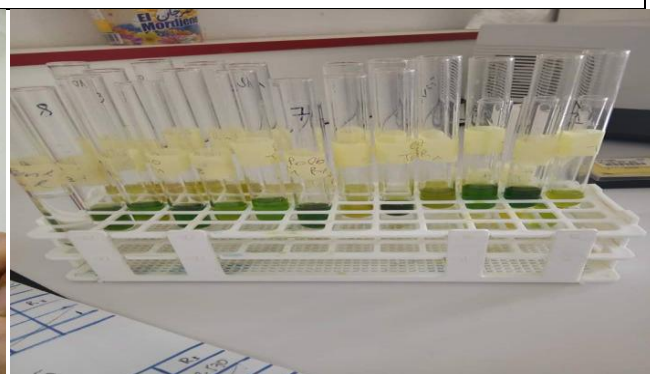
Détermination de PS pour la TRE



Détermination de PT pour la TRE



Broyage des pigments chlorophylliens



Les tubes de chlorophylle



Dosage de proline



Lecture de la DO de proline a l'aide d'un spectrophotomètre

Annexe

Annexe 03: Résultats de mesure des caractères morphologiques, physiologiques et biochimique.

Variété	LF	SFE	LEN	LE	LB	HPT
WH	18,8	21,9775714	6,2	8,24285714	13,6285714	71,7142857
BOUSL	26,7666667	26,0627143	7,88571429	7,94285714	12,5857143	79,6428571
MEXI	9,4	6,91742857	5,54285714	5,72857143	7,64285714	47,2142857
HOG	12,8	16,1512857	8,37142857	7,94285714	8,71428571	61,7142857
ALT	12,5	9,93171429	8,21428571	7,94285714	8,71428571	61,7142857
OZ	14,6666667	26,0627143	5,07142857	6,7	13,0142857	58,7857143
POLO	15,0666667	11,6944286	6,71428571	7,4	12,7	58

Variété	chla	chlb	chla+b	TRE	IC	prol	Sucres
WH	1,951	2,75633333	5,10433333	64,874	96,9733333	0,08733333	0,724
BOUSL	3,511	1,431	11,4623333	75,158	96,6733333	0,092	0,776
MEXI	5,60133333	3,19366667	11,695	72,657	96,35	0,05333333	0,692
HOG	7,182	6,71933333	15,6713333	57,286	95,45	0,067	1,12666667
ALT	1,761	0,353	3,76433333	78,0443333	95,4666667	0,07033333	1,22766667
OZ	26,197	31,2983333	64,104	72,219	96,5	0,062	0,96966667
POLO	14,6563333	7,32333333	27,4073333	73,9313333	95,2633333	0,04166667	0,85566667

Annexe 04 : Analyse de signification des variables mesurées.

Caractère	F calculé	P (probabilité)
LF	22,36**	$P \leq 0.01$
SFE	176,27***	$P \leq 0.001$
LEN	15,91***	$P \leq 0.001$
LE	31,81***	$P \leq 0.001$
LB	96,06***	$P \leq 0.001$
HPT	231,42***	$P \leq 0.001$
CHLa	436,43***	$P \leq 0.001$
CHLb	922,90***	$P \leq 0.001$
CHLa+b	4755,68***	$P \leq 0.001$
TRE	85,97***	$P \leq 0.001$
IC	5,5*	$P \leq 0.05$
proline	3,12*	$P \leq 0.05$
sucres s	6,20*	$P \leq 0.05$

*** : Significative, ** : Hautement significative, *** : Très hautement significative.**

Annexe 05 : Analyse des groupes homogènes.

variété	LF	1	2	3	4
	Mean				
3	9,40000		****		
5	12,50000	****	****		
4	12,80000	****	****		
6	14,66667	****			
7	15,06667	****			
1	18,80000			****	
2	26,76667				****

variété	SFE	1	2	3	4	5	6
	Mean						
3	6,91743		****				
5	9,93171			****			
7	11,69443				****		
4	16,15129					****	
1	21,97757						****
2	25,08851	****					

variété	HPT	1	2	3	4	5
	Mean					
3	47,21429			****		
7	58,00000	****				
6	58,78571	****				
5	61,71429		****			
4	61,71429		****			
1	71,71429				****	
2	79,64286					****

Annexe

variété	LE	1	2	3	4
	Mean				
3	5,728571		****		
6	6,700000			****	
7	7,400000				****
5	7,942857	****			
4	7,942857	****			
2	8,157143	****			
1	8,242857	****			

variété	LB	1	2	3	4
	Mean				
3	7,64286				****
4	8,71429		****		
5	8,71429		****		
2	12,58571	****			
7	12,70000	****			
6	13,01429	****		****	
1	13,62857			****	

variété	LEN	1	2	3	4
	Mean				
6	5,071429		****		
3	5,542857		****	****	
1	6,200000			****	****
7	6,714286				****
2	7,885714	****			
5	8,214286	****			
4	8,371429	****			

Annexe

variété	chl a	1	2	3	4	5	6
	Mean						
5	1,76100	****					
1	1,95100	****					
2	3,51100		****				
3	5,60133			****			
4	7,18200				****		
7	14,65633					****	
6	26,19700						****

variété	chl b	1	2	3	4
	Mean				
5	0,35300	****			
2	1,43100	****			
1	2,75633		****		
3	3,19367		****		
4	6,71933			****	
7	7,32333			****	
6	31,29833				****

variété	chl a+b	1	2	3	4	5	6
	Mean						
5	3,76433		****				
1	5,10433			****			
2	11,46233	****					
3	11,69500	****					
4	15,67133				****		
7	27,40733					****	
6	64,10400						****

Annexe

variété	proline	1	2
	Mean		
7	0,041667	****	
3	0,053333	****	
6	0,062000	****	****
4	0,067000	****	****
5	0,070333	****	****
1	0,087333		****
2	0,092000		****

variété	sucres	1	2	3	4
	Mean				
3	0,692000	****			
1	0,724000	****	****		
2	0,776000	****	****		
7	0,855667	****	****		
6	0,969667		****	****	
4	1,126667			****	****
5	1,227667				****

Annexe

variété	TRE	1	2	3	4	5
	Mean					
4	57,28600			****		
1	64,87400				****	
6	72,21900	****				
3	72,65700	****				
7	73,93133	****	****			
2	75,15800		****			
5	78,04433					****

variété	IC	1	2
	Mean		
7	95,26333	****	
4	95,45000	****	
5	95,46667	****	
3	96,35000	****	****
6	96,50000	****	****
2	96,67333	****	****
1	96,97333		****

Annexe

Annexe 06: Les matrices de corrélation.

	LF	SFE	LEN	LE	LB	HPT	CHLa	CHLb	CHLa +b	TRE	IC	proline	sucres
LF	1,00 0000	0,75 9311	0,18 3562	0,53 5435	0,75 0017	0,90 5373	- 0,08 7408	- 0,06 9709	- 0,01 8184	0,19 9464	0,46 9745	0,66 6785	- 0,31 4978
SFE	0,75 9311	1,00 0000	- 0,11 2073	0,36 1091	0,74 7092	0,71 9253	0,30 5615	0,45 8713	0,41 5675	- 0,15 5860	0,62 1173	0,63 4007	- 0,15 9069
LEN	0,18 3562	- 0,11 2073	1,00 0000	0,69 8097	- 0,30 3492	0,44 3649	- 0,57 4314	- 0,59 2775	- 0,57 7156	- 0,13 5455	- 0,50 2598	0,33 4513	0,56 8141
LE	0,53 5435	0,36 1091	0,69 8097	1,00 0000	0,35 1883	0,78 9253	- 0,41 9335	- 0,36 1605	- 0,39 9078	- 0,26 2470	- 0,09 3244	0,61 0802	0,34 3945
LB	0,75 0017	0,74 7092	- 0,30 3492	0,35 1883	1,00 0000	0,58 0605	0,36 5608	0,35 6982	0,38 9398	0,07 0712	0,45 0375	0,29 0737	- 0,37 3590
HPT	0,90 5373	0,71 9253	0,44 3649	0,78 9253	0,58 0605	1,00 0000	- 0,34 0955	- 0,24 3423	- 0,25 7856	- 0,05 0594	0,40 4693	0,86 0056	- 0,08 3829
CHLa	- 0,08 7408	0,30 5615	- 0,57 4314	- 0,41 9335	0,36 5608	- 0,34 0955	1,00 0000	0,94 5250	0,98 7057	0,06 6732	- 0,06 1266	- 0,51 2128	0,07 4048
CHLb	- 0,06 9709	0,45 8713	- 0,59 2775	- 0,36 1605	0,35 6982	- 0,24 3423	0,94 5250	1,00 0000	0,97 7177	- 0,03 0919	0,13 5113	- 0,28 5289	0,12 2063
CHLa +b	- 0,01 8184	0,41 5675	- 0,57 7156	- 0,39 9078	0,38 9398	- 0,25 7856	0,98 7057	0,97 7177	1,00 0000	0,06 9263	0,05 2599	- 0,38 5596	0,07 1644
TRE	0,19 9464	- 0,15 5860	- 0,13 5455	- 0,26 2470	0,07 0712	- 0,05 0594	0,06 6732	- 0,03 0919	0,06 9263	1,00 0000	- 0,00 2504	- 0,12 9229	- 0,06 8022
IC	0,46 9745	0,62 1173	- 0,50 2598	- 0,09 3244	0,45 0375	0,40 4693	- 0,06 1266	0,13 5113	0,05 2599	- 0,00 2504	1,00 0000	0,62 3420	- 0,66 6662
proline	0,66 6785	0,63 4007	0,33 4513	0,61 0802	0,29 0737	0,86 0056	- 0,51 2128	- 0,28 5289	- 0,38 5596	- 0,12 9229	0,62 3420	1,00 0000	- 0,09 1724
sucres	- 0,31 4978	- 0,15 9069	0,56 8141	0,34 3945	- 0,37 3590	- 0,08 3829	0,07 4048	0,12 2063	0,07 1644	- 0,06 8022	- 0,66 6662	- 0,09 1724	1,00 0000

Annexe

Annexe 07: Les données climatiques pour la campagne 2016/2017.

	avril	mai	juin	juillet	aout	septembre	
T(°C)	15,4	18,8	24	27,6	26	21,4	
P(mm)	45,7	38,9	6,7	2,6	2	10,7	

	octobre	novembre	décembre	janvier	février	mars	avril
T(°C)	19,3	11,3	8,3	4,4	9,2	12,4	14,3
P(mm)	18	33,2	6,7	50,6	15,4	2,2	9