

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA 01
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ETDE LA VIE
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE DESPOPULATIONS ET DES ORGANISMES



Mémoire de Fin d'Etudes en vue de l'obtention
du diplôme de Master en Science Biologique
Option : Biodiversité et physiologie végétale
Thème

Etude de la variabilité morpho-phénologique et
physiologique chez le blé tendre
(*Triticum aestivum* L.)

Réalisé par :

M^{elle} BEGHDADI nesrine

Date de soutenance : 15 septembre 2019

Devant le jury :

M^{me} AMEDJKOUH.H	MAA/BPO	USDB 1	Présidente
M^{me} FAIDL.H	MAA/BPO	USDB 1	Examinatrice
M^{me} ZERKAOUA	MAA/BPO	USDB 1	Promotrice
M^r BACHIRI. H	CHARGÉ D'ÉTUDES	INRAA	Co-promoteur

Année universitaire : 2018-2019

Remerciements

Je remercie avant tout ALLAH tout puissant, de m'avoir aidée toutes les années d'étude et m'avoir données la volonté, la patience et le courage pour réaliser ce travail.

J'exprime mes remerciements et profonde gratitude à :

Mr BACHIRI H, pour m'avoir orientées dans mes travaux et m'avoir fait découvrir le monde de recherche, pour la documentation qu'elle m'a procurée, pour ses précieux conseils, pour son suivi tout au long de la réalisation de ce mémoire et je tiens à lui avouer que j'ai beaucoup appris à ses côtés, tant sur le plan scientifique que personnel.

Mme ZARKOUI A, pour l'honneur qu'elle m'a fait de m'encadrer et diriger mon travail, ainsi que pour son aide et ses conseils.

J'adresse mes vifs remerciements et toute ma gratitude aux membres du jury :

À Mme AMADJKOUH H, d'avoir accepté de présider ce jury.

À Mme FAIDI H, d'avoir accepté de juger ce travail.

mes sincères remerciements s'adressent également à toute l'équipe de recherche de l'INRAA qui nous a facilité l'accès et le travail au sein de l'institut.

Je remercie Mme LARIBI F et Mme LAIMECH F, pour leur aide et leurs encouragements.

Je remercie aussi tous ceux qui ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A Mes très chers parents, Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être. C'est à travers vos critiques que je me suis réalisée. J'espère avoir répondu aux espoirs que vous avez fondés en moi.

A mes chères sœurs, mon frère, mes cousins et mes cousines pour leur amour et pour leurs encouragements.

Toute ma famille : Beghdadi et Hamadou.

A ma moitié Nesrine : tu es toujours là pour moi. Une présence chaleureuse, bienveillante, qui sait me faire du bien. Tu me connais mieux que quiconque et c'est réciproque, tu es surtout la personne avec qui je peux parler de tout et de rien. Notre amitié fait partie des choses que je ne veux jamais voir changer.

A mes amis (e) et mes collègues.

La promotion de master 2 biodiversité et physiologie végétale de l'année universitaire 2018-2019 de- Blida01-

En fin à vous qui prenez la peine de lire ce mémoire.

Liste des abréviations

ABA : Acide abscissique

ANOVA : Analyse de la variance (ANalysis Of Variance)

BSA : Bovine sérum albumine

CAT : catalase

Chl : Chlorophylle

CIMMYT : Centre international d'amélioration du maïs et du blé
(International Maize and Wheat Improvement Center)

CR : Capacité de Rétention

INRAA : Institut National de Recherche Agronomique d'Algérie

L : Lignés

LEA : Late-Embryogenesis-Abundant.

LEA : Embryogenèse tardive – abondante (Late-Embryogenesis- Abundant) MADRP :
Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche

MVF : Matière Végétal Fraiche

ONFAA : Observatoire National des Filières Agricoles et Agroalimentaires

PF : Poids Frais

PH : Potentiel Hydrogène

PS : Poids Sec

PT : Poids Turgescence

ROS : Espèce Réactive d'Oxygène

SF : Surface Foliaire

SH : Stress Hydrique

SPAD : Développement d'analyses de plantes de sol (Soil Plant Analyses Development).

T₀ : Témoin

TRE : Teneur Relative en Eau foliaire.

Tris : Hydroxyméthyl

Figure

Figure 01 : zone d'origine et de domestication de blé	2
Figure 02 : phylogénie du blé tendre	Erreur ! Signet non défini.
Figure 03 : production de blé dans le monde en million de tonnes	4
Figure 04 : histologie du grain de blé tendre	7
Figure 05 : un épillet de blé tendre	8
Figure 06 : fleur de blé tendre	9
Figure 07 : les différents stades de développement du blé tendre	9
Figure 08 : La serre en verre où a été réalisée notre expérimentation	21
Figure 09 : le dispositif expérimental de l'essai	2Erreur ! Signet non défini.
Figure 10 : mesure la hauteur de la plante	24
Figure 11 : mesure de la surface foliaire	25
Figure 12 : les différents stades de la durée végétative	26
Figure 13 : mesure de chlorophylle totale	27
Figure 14 : les étapes de la teneur relative en eau (TRE)	28
Figure 15 : les étapes d'extraction des protéines	29
Figure 16 : le courbe étalon de BSA	Erreur ! Signet non défini.0
Figure 17 : mesure l'activité de la catalase	Erreur ! Signet non défini.1
Figure 18 : Aspect morphologique des plantes de blé tendre témoin et sous l'effet du stress	32
Figure 19 : Variation de la hauteur des cinq génotypes de blé tendre....	Erreur ! Signet non défini.3
Figure 20 : Variation de la surface foliaire des cinq génotypes de blé tendre	Erreur ! Signet non défini.4
Figure 21 : variation de la biomasse de blé tendre	Erreur ! Signet non défini.5
Figure 22 : transgressions de la durée de la phase végétative des génotypes.	Erreur ! Signet non défini.7

Figure 23 : Variation de taux de chlorophylle totale des cinq géotypes de blé tendre	Erreur ! Signet non défini. 8
Figure 24 : Variation de la teneur relative en eau des cinq géotypes de blé tendre	40
Figure 25 : Variation de la teneur en protéines solubles foliaires des cinq géotypes blé tendre	41
Figure 26 : Activité de catalase des cinq géotypes de blé tendre	Erreur ! Signet non défini. 4

Liste des tableaux :

Tableau 01: statistiques douanières à l'importation des céréales.

Tableau 02 : classification du blé tendre.

Tableau 03: la description de matériel végétal de blé tendre.

Tableu04 : préparation de la gamme étalon à partir de 1 mg/ml BSA.

Introduction *Erreur ! Signet non défini.*

Chapitre I: Synthèse Bibliographique

I- 1-Généralité sur le Blé tendre

1-1-Origine géographique..... **Erreur ! Signet non défini.**

1-2- Origine génétique..... **Erreur ! Signet non défini.**

I-2- Importance de la culture du blé

2-1- Dans le monde..... **Erreur ! Signet non défini.**

2-2 En Algérie **Erreur ! Signet non défini.**

I-3 Biologie des plantes de blé tendre

3-1 Classification botaniqueErreur ! Signet non défini.

3-2 Description morphologique..... **Erreur ! Signet non défini.**

3-2-1 Grain..... **Erreur ! Signet non défini.**

3-2-2 Appareil végétative..... **Erreur ! Signet non défini.**

3-2-3 L'appareil reproducteur..... **Erreur ! Signet non défini.**

3-3 Cycle de développement **Erreur ! Signet non défini.**

3-3-1La période végétative **Erreur ! Signet non défini.**

3-3-2La période reproductrice : **Erreur ! Signet non défini.**

I-4 Exigences du blé

4-1Température **Erreur ! Signet non défini.**

4-2 Eau..... **Erreur ! Signet non défini.**

4-3 La lumière **Erreur ! Signet non défini.**

4-4 Le sol..... **Erreur ! Signet non défini.**

I-5 Effet de stress abiotique

5-1Effet du stress hydrique sur la photosynthèse **Erreur ! Signet non défini.**

5-2 Effet du stress hydrique sur la croissance et le développement du blé **Erreur ! Signet non défini.**

5-3 Influence sur la membrane plasmique..... **Erreur ! Signet non défini.**

5-4 Influence sur les échanges gazeux et la transpiration **Erreur ! Signet non défini.**

I-6 Adaptation des plantes aux stress hydrique

6-1 Les stratégies adaptatives du blé face à un déficit hydrique . **Erreur ! Signet non défini.**

6-1-1 Adaptation morphologique **Erreur ! Signet non défini.**

a- Le système racinaire **Erreur ! Signet non défini.**

b- Hauteur de la plante **Erreur ! Signet non défini.**

c- Surface et l'enrôlement foliaire **Erreur ! Signet non défini.**

6-1-2 Adaptation phénologiques **Erreur ! Signet non défini.**

6-1-3 Adaptation physiologique **Erreur ! Signet non défini.**

a- Régulation stomatique **Erreur ! Signet non défini.**

b- La teneur relative en eau de la feuille **Erreur ! Signet non défini.**

c-La teneur en chlorophylle **Erreur ! Signet non défini.**

Chapitre II : Matériel et méthode

II -1 Objectif de l'essai **Erreur ! Signet non défini.**

II-2 Conduite de l'essai..... **Erreur ! Signet non défini.**

II-3 Matériel végétal **Erreur ! Signet non défini.**

II-4 Equipement et produits de laboratoire **Erreur ! Signet non défini.**

II-5 Méthode d'étude..... **Erreur ! Signet non défini.**

5-1 Le semis **Erreur ! Signet non défini.**

5-2 Détermination de la capacité de rétention en eau du sol .. **Erreur ! Signet non défini.**

5-3 Désherbage **Erreur ! Signet non défini.**

5-4 Application de stress..... **Erreur ! Signet non défini.**

II-6 Les paramètres mesurés **Erreur ! Signet non défini.**

6-1 Paramètres morphologiques **Erreur ! Signet non défini.**

6-1-1 Hauteur **Erreur ! Signet non défini.**

6-1-2 Surface foliaire (SF cm²)..... **Erreur ! Signet non défini.**

6-1-3 La biomasse aérienne	Erreur ! Signet non défini.
6-2 Paramètres phénologiques.....	Erreur ! Signet non défini.
6-3 Paramètres physiologiques	Erreur ! Signet non défini.
6-3-1 Teneur en chlorophylle totale.....	Erreur ! Signet non défini.
6-3-2 Teneur relative en eau (TRE %).....	Erreur ! Signet non défini.
6-3-3 Mesure de protéines solubles foliaires	Erreur ! Signet non défini.
6-4 Mesure d'activés enzymatiques	Erreur ! Signet non défini.
6-4-1 La catalase	Erreur ! Signet non défini.
II-7 Analyses statistiques.....	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre III : Résultats et discussion

III-1 paramètre morphologiques	Erreur ! Signet non défini.
1-1 Hauteur	Erreur ! Signet non défini.
1-2 La surface foliaire	Erreur ! Signet non défini.
1-3 La biomasse	Erreur ! Signet non défini.
III-2 caractères phénologique	Erreur ! Signet non défini.
1-La durée de la phase végétative :	Erreur ! Signet non défini.
III-3 Analyses des paramètres physiologiques	Erreur ! Signet non défini.
3-1 Analyse du taux de la chlorophylle totale.....	39
3-2 Analyse de la teneur relative en eau (TRE %).....	40
3-4 analyses le taux de protéines soluble foliaire	Erreur ! Signet non défini.
III- 4 Analyse de catalase	Erreur ! Signet non défini.
conclusion.....	46
Références bibliographiques.....	
Annexe.....	

Résumé

L'objectif de ce présent travail consiste à une analyse du comportement de cinq génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum*) : (Ain abid, L1, L2, L3, L4) soumises à un stress hydrique, en effectuant une étude comparative de quelques mécanismes de tolérance. Les résultats obtenus montrent que le stress hydrique a entraîné une réduction de la croissance, surface foliaire, une diminution de Biomasse aérienne et de la teneur relative en eau (TRE). De même, une augmentation de la teneur de chlorophylle totale, de l'accumulation des protéines solubles foliaires et l'activité de la catalase sont également enregistrées. Au même temps, les résultats de la durée de phase végétative a entraîné une précocité en condition de stress hydrique.

Le génotype L4 et L1 sont tolérantes au stress hydrique, Pour la variété Ain abid, elle est sensible pour le stress hydrique.

Le stress hydrique affecte des changements dans les différents paramètres (morphologiques, phénologiques, physiologique) étudiés chez l'ensemble des génotypes mais à des degrés différents.

Mots clés : Blé tendre, variété, lignée, tolérance, stress hydrique.

Abstract

The objective of this work is to analyze the behavior of five genotypes of soft wheat (*Triticum aestivum* L.): (Ain abid, L1, L2, L3, L4) subjected to water stress, by carrying out a comparative study of some mechanisms of tolerance. The results obtained show that water stress resulted in reduced growth, leaf area, decreased aerial biomass and relative water content (TRE).

Likewise, an increase in the total chlorophyll content, the accumulation of soluble leaf proteins and the activity of catalase are also recorded. At the same time, the results of the vegetative phase duration led to early maturity under water stress conditions.

Genotype L4 and L1 are tolerant to water stress, For Ain abid variety, it is sensitive for water stress.

Water stress affects changes in the various parameters (morphological, phenological, physiological) studied in all genotypes but to different degree.

Key words: Soft wheat, variety, lineage, tolerance, water stress.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو تحليل سلوك خمسة أنماط وراثية من القمح اللين (*Triticum aestivum*): (Ain abid ، L1 ، L2 ، L3 ، L4) يتعرض لضغوط مائية ، عن طريق إجراء دراسة مقارنة لبعض الآليات التسامح. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الإجهاد المائي أدى إلى انخفاض النمو ، مساحة الورقة ، انخفاض الكتلة الحيوية الهوائية والمحتوى المائي النسبي (TRE). وبالمثل ، يتم تسجيل زيادة في إجمالي محتوى الكلوروفيل ، وتراكم بروتينات الأوراق القابلة للذوبان ونشاط الكاتالاز. في الوقت نفسه ، أدت نتائج فترة المرحلة الخضرية إلى مرحلة النضج المبكر في ظل ظروف الإجهاد المائي.

النمط الجيني L4 و L1 يتحملان الإجهاد المائي ، أما بالنسبة للعين متنوعة Ain abid فهي حساسة للإجهاد المائي. يؤثر إجهاد الماء على التغيرات في المعايير المختلفة (المورفولوجية ، الفينولوجية ، الفسيولوجية) التي تمت دراستها في جميع الأنماط الوراثية ولكن بدرجات مختلفة.

الكلمات المفتاحية: القمح الطري ، التنوع ، النسب ، التسامح ، الإجهاد المائي.

Introduction

Les céréales occupent à l'échelle mondiale, une place primordiale dans les programmes de recherche agricoles. Elles sont les principales sources de la nutrition humaine et animale dans le monde, le blé occupe la première place pour la production mondiale et la deuxième après le riz, comme source de nourriture pour les populations humaines (Slama *et al.*, 2005). Les deux espèces de blé les plus cultivées sont le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) avec plus de 90% de production mondiale et le blé dur (*Triticum durum* Desf.) qui constitue 5% de celle-ci (Gooding, 2009). Le blé tendre est une céréale importante en termes de consommation humaine dans de nombreux pays du monde. Cependant, dans les milieux arides et semi-arides, les stress abiotiques imposent des limites au développement de la plante. La résistance à ces stress est dépendante du génotype qui développe des mécanismes morphologiques, physiologiques, et/ou biochimiques pour éviter ou tolérer la contrainte (Neffar, 2013). Les stress environnementaux tels que le déficit hydrique, les hautes températures et d'autres, affectent la croissance et le rendement des plantes. Cependant, ces dernières ont développé des stratégies d'adaptation pour répondre à ces changements en ajustant leurs systèmes métaboliques. L'adaptation au stress est définie comme un ordre de processus qui mènent à une nouvelle optimalité. Différentes stratégies adaptatives sont utilisées pour régler les différents paramètres fonctionnels et structuraux du système (Oukkaroum, 2007). Les stress abiotiques sont des processus impliqués dans l'élaboration du rendement d'une culture, ils sont influencés par deux types de facteurs, à savoir, les facteurs génétiques (intrinsèque à la plante) et les facteurs environnementaux. La sécheresse est considérée comme le facteur le plus important limitant la production des céréales. Il est à signaler que la production des céréales dépend des conditions climatiques, des caractéristiques morphologiques, phénologiques et agronomiques du génotype et, en grande partie, des interactions génotypes-environnement (Slama *et al.*, 2005).

Dans ce contexte, l'objectif de notre travail est axé sur l'étude de l'influence de stress abiotique sur les comportements d'une variété et quelques lignées de blé tendre (*T. aestivum* L.) et les différents mécanismes de tolérance et d'adaptation morpho- phénologique et physiologiques qui déclenchent ces stress.

L'étude comptera trois chapitres essentiels qui seront précédés par une introduction et finissant par une conclusion :

Le chapitre I, est une synthèse bibliographique sur le blé tendre, le stress hydrique, les mécanismes morphologiques, phénologique et physiologiques de la tolérance des plantes au stress hydrique.

Le second chapitre, porte sur « matériel et méthodes » qui décrit d'une manière détaillée la description du matériel végétal, les différents caractères mesurés et les méthodes d'analyse utilisées dans ce travail.

Le troisième chapitre, est réservé aux résultats et discussions et leur interprétation.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I- 1-Généralité sur le Blé tendre (*Triticum aestivum*)

1-1- Origine géographique

Le blé est l'une des principales ressources alimentaires de l'humanité. Sa culture précède l'histoire et caractérise l'agriculture néolithique (Feuillet, 2000). Selon le même auteur, le passage d'une civilisation de nomades à celle de l'agriculture sédentarisée est le résultat de la domestication progressive des graminées cultivées tel que le blé tendre.

Le Croissant fertile semble être le centre originaire des céréales du premier groupe (blé, seigle et avoine) et forme une zone à cheval sur l'Afrique et l'Asie. Il est centré sur les plaines alluviales du Nil à l'ouest, de la Jordanie au centre, de l'Euphrate et du Tigre à l'est (Clerget, 2011). Selon cet auteur, il est limité à l'ouest par le désert de Libye et la Méditerranée, au nord par les monts Taurus en Turquie, à l'est par les monts Zagros en Iran au sud par la mer Rouge et le désert d'Arabie. (Fig 01)

L'évolution du blé s'est produite dans de nombreux écosystèmes, de manière indépendante jusqu'au XIXe siècle (Doussinault et al., 2004). Une fois la domestication des blés effectuée, jusqu'à la moitié du XIXe siècle, les blés ont été cultivés avec les adventices et très souvent en mélange, soit avec d'autres céréales comme le seigle ou l'orge (Bonjean, 2001).



Figure 01 : zone d'origine et de domestication de blé (Clerget, 2011)

1-2- Origine génétique

Les blés cultivés aujourd'hui dans le monde appartiennent au genre *Triticum*, qui regroupe plusieurs espèces. Leur génome de base comporte sept chromosomes, avec plusieurs variations, les plus importantes pour la genèse du blé étant notées A, B et D par les généticiens (Le Stum *et al.*, 2017).

Blé hexaploïde ou blé tendre *T. aestivum* ($2n = 6x = 42$ chromosomes), c'est un organisme d'une grande complexité génétique, il contient trois génomes issus de plantes ancestrales à l'origine du blé, génomes A, B et D provenant d'espèces diploïde différentes. L'identification de ces espèces a été rendue possible par l'étude d'hybrides entre les différents blés puis entre ces blés et des espèces voisines appartenant au genre *Aegilops* (Clerget, 2011).

Le génome A ($2n=14$) vient de *Triticum urartu*, alors que le génome B ($2n=14$) vient de l'*Aegilops speltaoides*. Ces deux génomes, ensemble, forment la constitution génomique du blé dur (*Triticum durum*) (feuillet, 2000). Le croisement entre l'espèce *Triticum durum* de constitution génomique AABB et l'*Aegilops tauschii* ($2n=14$) de constitution génomique DD, donna naissance à l'espèce *Triticum aestivum* de constitution génomique AABBDD. (Figure 2) (Feldman et sears, 1946). KIHARA a été le premier à montrer que c'est *Aegilops tauschii* qui est le donneur du génome D du blé tendre. Le croisement entre *Triticum durum* et *Aegilops tauschii ssp. strangulata*, a eu lieu il y a plus de 7000 à 9500 ans (Dvorak, 1998).

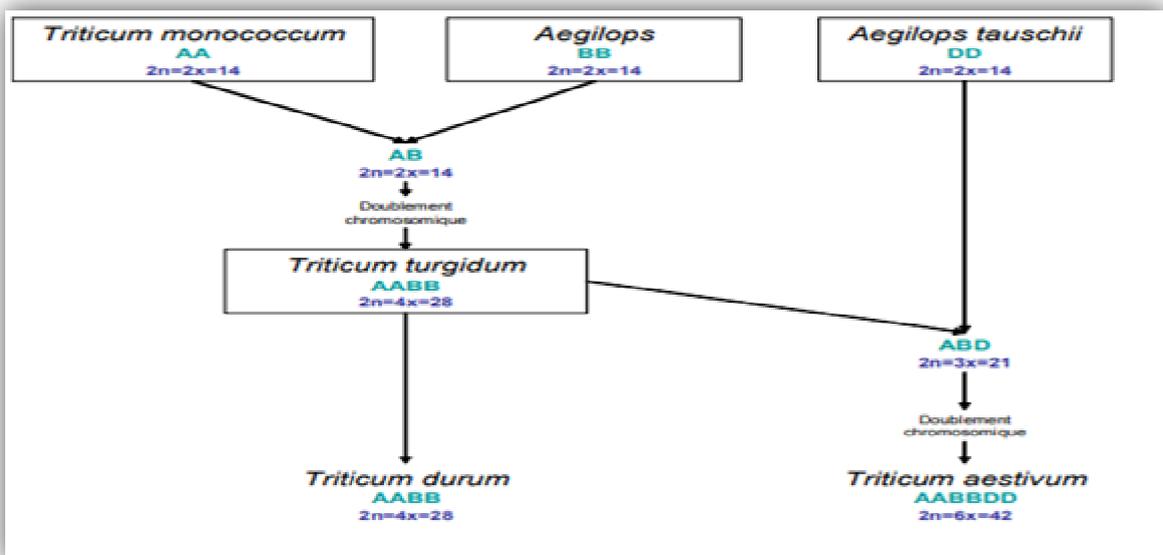


Figure 02 : phylogénie du blé tendre (Debiton, 2010).

I-2- Importance de la culture du blé

2-1- Dans le monde

Le blé est la culture la plus cultivée au monde, représentant une ressource renouvelable pour l'alimentation humaine et animale, et les matières premières industrielles (Charmet, 2011).

La production mondiale de toutes céréales confondues (blé et céréales secondaires) en 2017/2018 sont en hausse de 19 millions de tonnes d'un mois à l'autre, (Statista, 2018) (fig3). Sébastien (2016) affirme que plus de la moitié des terres à blé de la planète se situent dans 10 « puissances » (l'Inde, la Chine, la Russie, les Etats-Unis, l'Union européenne, le Canada, l'Australie, le Pakistan, l'Ukraine et la Turquie) avec 85% de la production mondiale de blé. La consommation annuelle moyenne du blé au niveau mondial s'élève à 90Kg par individu, essentiellement en pain, qui est la forme d'utilisation la plus connue depuis des millénaires (Henkrar, 2017).

Les graines de blé constituent une ressource énergétique de qualité du fait de leur richesse en glucides lentement assimilés (amidon), surtout dans l'alimentation de la France sous forme de pain, biscuits, et pâtes alimentaires (charmet et *al.*, 2017). Pour environ 19% de sa production, le blé est devenu récemment un aliment pour animaux dans les pays industriels pour les monogastriques (porcs et volailles) et les poissons de pisciculture, et sa paille est utilisée comme engrais organique, comme aliment de pauvre qualité pour les polygastriques et comme litière pour les animaux (le Stum et *al.*, 2017).

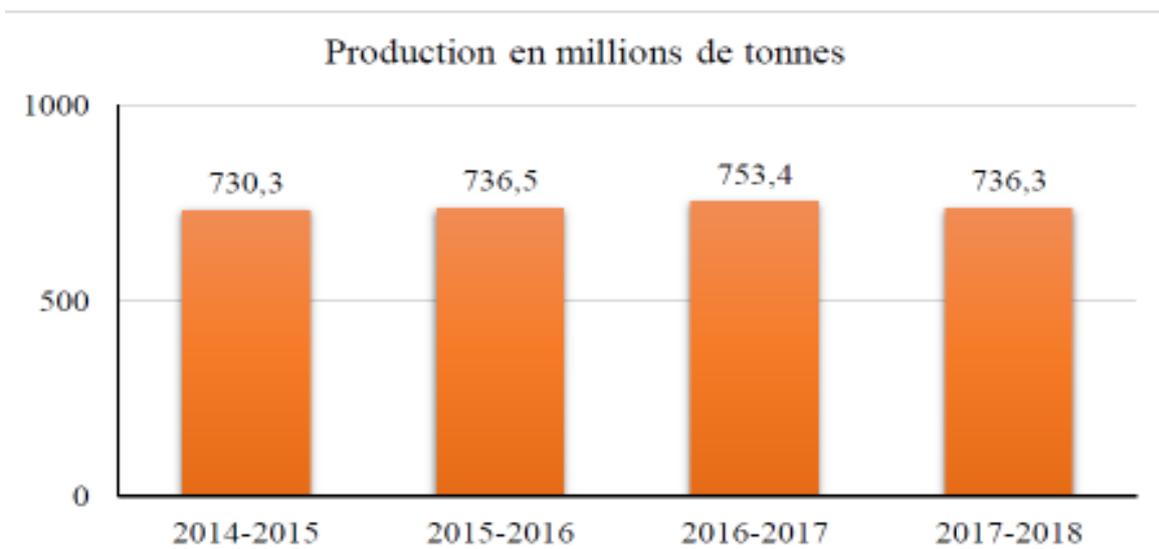


Figure 03 : production de blé dans le monde en million de tonnes (Statista. 2018).

2-2 En Algérie

La consommation de céréales en Algérie représente 25% des dépenses alimentaires et 230kg/an d'équivalent-graines. (Rastoin et Benabderazik, 2014).

Le total de la production nationale des céréales pour la campagne 2016/2017 est de 34.8 millions de quintaux, essentiellement constitué de 20 millions de quintaux de blé dur et près de 10 millions de quintaux d'orge en hausse de 1.4% comparativement à la campagne 2015/2016(MADRP ,2017).

Les importations du blé tendre ont atteint 4.64 millions de tonnes lors des dix premiers mois de l'année 2017 contre 4.57 millions de tonnes à la même période de l'année dernière, soit une augmentation de 2% en quantité et une diminution de 5% en valeur (ONFAA ,2017)

Tab 01.

Tableau 01: statistiques douanières à l'importation des céréales (ONFAA, 2017).

	Millions Tonnes (janvier-septembre)		Evolution en quantité % T
	2016	2017	
Blé dur	1,40	1,39	-2
Blé tendre	4,57	4,64	2
Orge	0,76	0,42	-45
Mais	3,20	3,04	-6

I-3 Biologie des plantes de blé tendre

3-1 Classification botanique

Le blé (*Triticum sp*, L) est une plante annuelle, monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des *Poaceae*. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscent, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments. C'est une espèce autogame à reproduction sexuée, qui a acquis la tolérance à la consanguinité au cours de l'évolution. Le genre *Triticum* comprend les espèces diploïdes, tétraploïdes et hexaploïdes. Ainsi, leur polyploïdes a joué un rôle important dans l'évolution du blé (Hankrar, 2017) (Tab02).

Tableau 02 : classification du blé tendre (Feillet, 2000).

Règne	Plantae
Embranchement	Spermaphyte
Sous-embranchement	Magnoliophyta (angiospermes)
Classe	Liliopsida (Monocotylédones)
Sous-classe	Commélinidés
Ordre	Poales
Famille	Poaceae (ex Graminées)
Sous-famille	Triticeae
Tribu	Triticeae (Triticées)
Sous-tribu	Triticinae
Genre	<i>Triticum</i>
Espèce	<i>Triticum aestivum</i> L.

3-2 Description morphologique

3-2-1 Grain :

Le blé est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscant, appelé caryopse constitué d'une graine et de téguments (Débiton, 2010 ; henkrar, 2017). Le grain de blé a la forme d'un petit œuf, arrondi aux deux bouts, bombé sur sa surface dorsale et creusé sur tout sa longueur d'un sillon ou passe le faisceau nourricier du grain et dont l'extrémité la plus grande s'orne d'une fine brosse (Merouche, 2015).

Le grain de blé est composé de (Fig 04) :

- L'albumen : il correspond au tissu de réserve, et il est constitué de l'albumen amylicé et de la couche à aleurone (80% - 85% du grain) (Feillet, 2000).
- Le germe : il est constitué d'une part, de l'axe embryonnaire qui donnera la tigelle, le mésocotyle et la radicule et d'autre part du scutellum qui donnera le cotylédon. (Surget et Barron, 2005).

- Les enveloppes : Elles sont constitués de quatre tissus : le péricarpe externe, le péricarpe interne, la testa et la couche nucellaire ou bande hyaline (qui correspond à l'épiderme du nucelle) (Débiton, 2010).

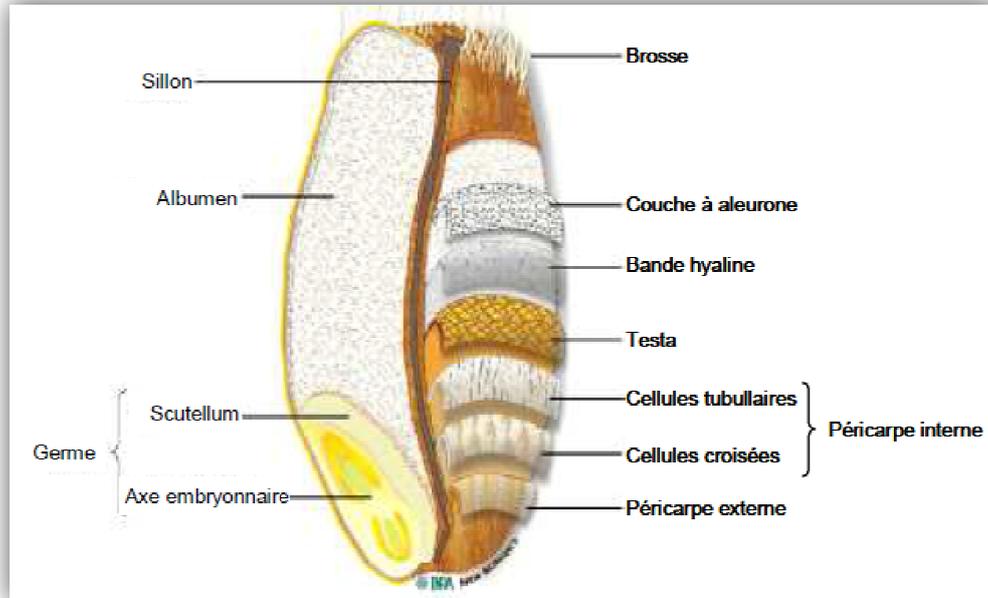


Figure 04 : histologie du grain de blé tendre (Surget et Barron, 2005).

3-2-2 Appareil végétatif

Il est composé de :

L'appareil racinaire :

Il est composé de deux systèmes racinaire successifs :

-Un système séminal, fonctionnel seul de la levée au début de tallage. Les racines de ce système sont au nombre de six, rarement sept (Benlaribi *et al.*, 1990, Hazmoune, 2006).

-Un système adventif ou coronal, apparaissant au moment où la plante émet ses tiges. Ce système se substitue progressivement au précédent durant l'avancement du cycle biologique des céréales à paille. Il est de type fasciculé.

L'appareil aérien

Il est formé d'un certain nombre d'unités biologiques ou des ramifications appelées talles. ces ramifications partent toutes d'une zone, appelée court-nouée située à la tige : le plateau de tallage. La tige est creuse et formée d'entre-nœuds, zones méristimatiques à partir desquelles s'allongent les entre-nœuds et se différencient les feuilles. Chaque nœud est le point d'attache d'une feuille.

La hauteur de la tige varie selon les espèces, les variétés, et les conditions de culture. Chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) elle varie de 90cm à 150 cm (Pétrequin et Baudais, 1997).

Les feuilles sont alternes, longues, étroites et à nervures parallèles. Chaque feuille comprend deux parties : une portion inférieure enveloppant l'entre-nœud correspondant à la gaine, et une portion supérieure, le limbe. Les gaines attachées au niveau des nœuds, sont emboîtées les unes dans les autres et forment un tube cylindrique entourant la tige qui se déboîte au fur et à mesure de la croissance des entre-nœuds. A la jonction du limbe et de la gaine, on rencontre une petite membrane non vasculaire, plus ou moins longue et dentelée, la ligule. De chaque côté de celle-ci, à la base du limbe se trouvent deux stipules appelées oreillettes plus au moins embrassantes, les velues chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) (soltner, 1990).

3-2-3 L'appareil reproducteur

Le rachis, ou axe de l'épi, porte 15 à 25 épillets constitués chacun de 3 à 4 fleurs. La disposition de celle-ci fait ressortir une caractéristique d'une grande importance : le blé est une plante autogame ou à autofécondation, c'est-à-dire que la fécondation a lieu à l'intérieur des glumelles avant que les étamines n'apparaissent à l'extérieur. De ce fait, la conservation de la pureté variétale sera parfaite d'une génération à l'autre (Soltner, 2005).



Figure05 : un épillet de blé tendre (soltner 2005).



Figure06 : fleur de blé tendre (Soltner, 2005).

3-3 Cycle de développement

Le cycle de développement du blé est constitué d'une série d'étapes séparées par des stades repérés, permettant de diviser en trois périodes de la vie des céréales. Une période végétative, une période reproductrice et enfin la maturation de grain. (Soltner, 2005).

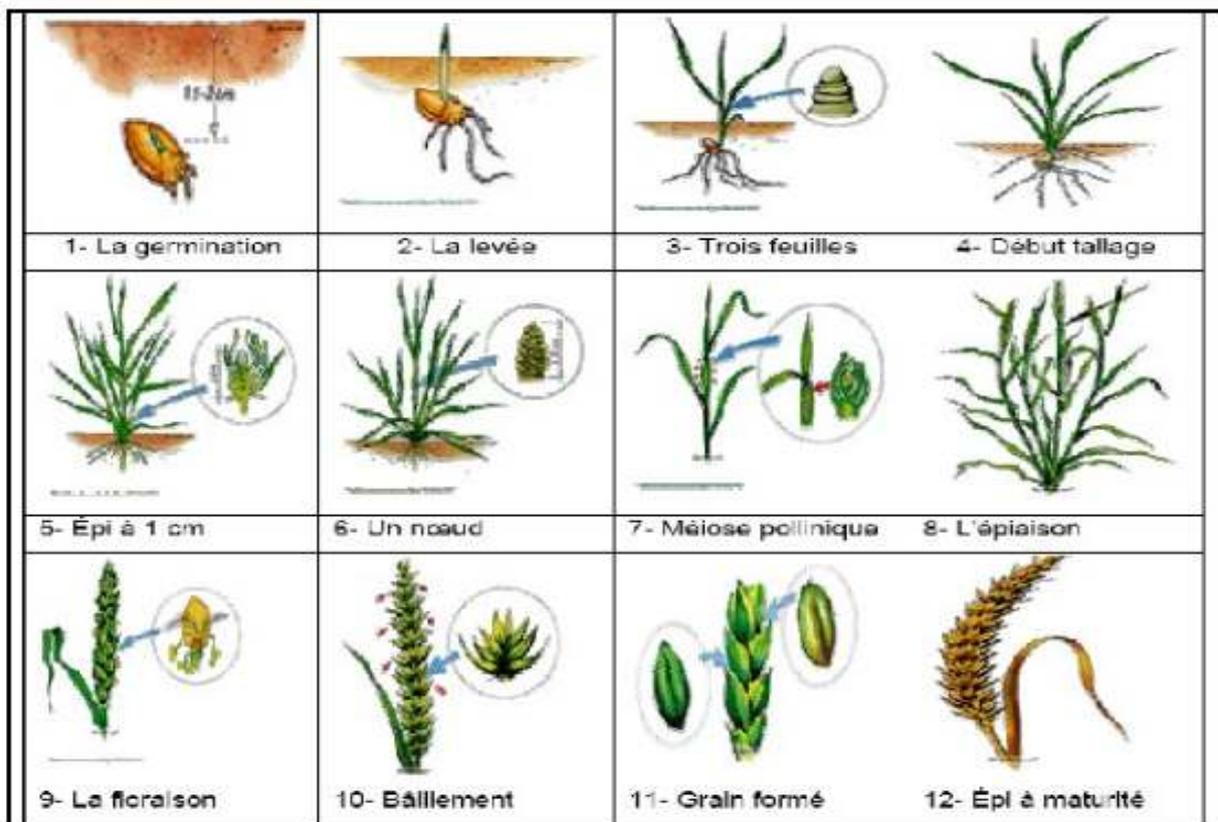


Figure07 : les différents stades de développement du blé tendre (zaboubi, 2007).

3-3-La période végétative :

Elle se caractérise par un développement strictement herbacé et s'étend du semis jusqu'à la fin de tallage.

➤ La germination-levée

La germination de la graine se caractérise par l'émergence du coléorhize donnant naissance à des racines séminales et la date de la levée est définie par l'apparition de la première feuille qui traverse le coléoptile, graine rigide et protectrice enveloppant la première feuille. La levée se fait réellement dès la sortie des feuilles à la surface du sol (Soltner, 2005).

Au sien d'un peuplement, la levée est atteinte lorsque la majorité des lignes de semis est visible (Gate, 1995). Les principaux facteurs édaphiques qui interviennent dans la réalisation de cette phase sont, la chaleur, l'aération et l'humidité (Eliard, 1974).

➤ Le tallage

Lorsque la plante possède 3 à 4 feuillés, une nouvelle tige, la talle primaire, apparaît à l'aisselle de la feuille la plus âgée. Après l'émission de la première talle, la plante va émettre des talles primaires, qui prennent naissance à l'aisselle du maître-brin (tige principale), puis, lorsque le maître-brin a 6 feuilles au moins, des talles secondaires dont ces bourgeons seront alors situées à l'aisselle des feuilles des talles primaires. Le tallage herbacé s'arrête dès l'évolution de l'apex de la formation d'ébauches florales (futurs épillets) qui sont suffisamment avancées (Gate et Giban, 2003).

3-3-2 La période reproductrice :

Elle comprend la formation et la croissance de l'épi (Soltner, 2005).

➤ La phase ébauches d'épillets (phase A et B)

Le stade A indique l'acheminement vers la fonction de reproduction qui est marqué par une différenciation des ébauches d'épillets sur l'apex. Le stade B est repéré par l'apparition de deux renflements latéraux qui apparaissent sur l'épillet, ce sont les ébauches des glumes (Boufenar et al., 2006).

➤ Phase montaison :

Au cours de cette phase, un certain nombre de talles herbacées vont évoluer vers des tiges couronnées d'épis, tandis que d'autres commencent à régresser. La croissance en taille et en matière sèche est alors active. Cette phase se termine au moment de la différenciation des stigmates. La durée de cette phase est de 29 à 30 jours (Clément-Grandcourt ; Prat, 1971).

➤ Phase d'épiaison et fécondation :

Elle est marquée par la méiose pollinique, l'éclatement de la graine avec l'émergence de l'épi. C'est au cours de cette phase que s'achève la formation des organes floraux et s'effectue la fécondation (Soltner, 2005). La vitesse de croissance de la plante est maximale. Cette phase correspond à l'élaboration d'une grande quantité de la matière sèche, cette phase dépend étroitement de la nutrition minérale et de la transpiration qui influence le nombre final de grains par épi (Masle, 1980 ; Soltner, 2005).

➤ La maturation du grain :

Au cours de cette phase, l'embryon se développe et l'albumen se charge de substances de réserve. On observe une augmentation du volume du poids des graines. La phase se termine par le stade laiteux. En suite, le poids frais des grains continue à augmenter alors que celui des tiges et des feuilles diminue. La phase se termine par le stade pâteux. Puis les grains deviennent durs et leur couleur devient jaunâtre (Boufnar-Zaghoune et Zaghouane, 2006).

I-4 Exigences du blé :

Un bon comportement de la culture durant tout son cycle de développement exige la réunion de certains facteurs qui conduisent à l'observation d'un meilleur rendement et parmi les exigences nous pouvons citer :

4-1-Température

Les besoins thermiques par stade végétatif sont variables avec des températures basses (< 5 °C) à très basses (négatives voisines de la valeur zéro) pour la levée, 8-10 °C (stade développement), 22-24 °C (stade épiaison-floraison) et 22-24 °C (stade maturation) (Zouaoui et Benasid, 2007). Un abaissement de la température pendant l'hiver est nécessaire aux variétés d'hiver pour la mise à fleur (Soltner, 2005).

4-2 Eau

Les besoins hydriques du blé sont variables avec une moyenne de 550 mm, ils sont de l'ordre de 480 mm pour les variétés précoces et environ de 630 mm pour les variétés tardives (Ben Mbarek et Boubaker, 2017). La phase post-floraison jusqu'au stade maturité physiologique nécessite une bonne alimentation hydrique pour assurer le remplissage des grains d'une part et limiter l'échaudage d'autre part (Belaid, 2015).

4-3 La lumière

Une certaine durée du jour (photopériodisme) est nécessaire pour la réalisation du stade B précédant la montaison. Quant à l'intensité lumineuse et à l'aération, elles agissent directement sur l'intensité de la photosynthèse dont dépendent à la fois la résistance des tiges à la verse et le rendement (Soltner, 2005).

4-4 Le sol

Le blé prospère sur une gamme assez variés de sols de texture bien équilibrée (Boulal et *al.*, 2007). Il s'adapte mieux dans des sols sains, profonds et bien structuré à pH voisin de la neutralité. Il ne supporte pas l'engorgement puisqu'il rend sensible aux maladies cryptogamiques tels que les piétins et les fusarioses (Ahmadi et *al.*, 2002 ; Alaoui, 2005).

I-5 Effet de stress abiotique

Les basses températures hivernales, les chaleurs extrêmes de l'été, la sécheresse, les radiations élevées, la salinité et la pollution de l'air et des sols ne sont que quelques exemples de ce à quoi une plante doit faire face. Dans l'environnement, des conditions qui génèrent des stress sont créées lorsque les paramètres environnementaux atteignent des valeurs extrêmes. Il peut en résulter des impacts importants sur la physiologie, le développement et la survie des plantes. Bien que la terminologie existante ne fasse pas l'unanimité chez tous les scientifiques, la définition qui peut être la plus pertinente d'un stress biologique serait: une force ou une influence hostile qui tend à empêcher un système de fonctionner normalement (Jones et Jones, 1989).

Le stress hydrique a été défini comme une baisse de la disponibilité de l'eau, traduisant chez la plante par une série de modifications qui touchent les caractères morphologique, physiologiques (Brisson, 2008) et biochimiques à partir du moment où les besoins en eau de la plante sont supérieurs aux quantités disponibles (Mefti et *al.*, 2000). Ou de sa reproduction par rapport au potentiel du génotype. La contrainte hydrique est le facteur ou l'ensemble de facteurs ayant pour conséquence le stress (Lamaze et *al.*, 1994). Avec le réchauffement climatique, la pression exercée par certains stress augmentera très certainement. La sécheresse, par exemple, est déjà l'un des principaux facteurs limitant la productivité des récoltes à l'échelle mondiale (Boyer, 1982; Bartelset Nelson, 1994). L'installation d'une sécheresse se manifeste par la combinaison, d'une part, de la restriction de la disponibilité en eau du sol et, d'autre part, de l'augmentation de la demande évaporatrice (kiani, 2007). Le stress oxydatif, quant à lui, peut être causé directement par les oxydants atmosphériques ou indirectement dans les réponses initiées par une multitude d'autres stress. En effet (Zarrad et *al.*, 2009) montrent que le stress hydrique conduit à un stress oxydatif par production des espèces oxygènes réactives particulièrement le radical superoxyde et le peroxyde d'hydrogène. Il est reconnu que le stress oxydatif représente aussi l'une des principales causes de la baisse de production en agriculture (Foyer et Noctor, 2005).

Les stress provoqués par un déficit en eau constituent une menace permanente pour la survie des plantes (Hopkins, 2003). L'effet du stress dépend de son degré, sa durée, le stade de développement de la plante, le génotype et son interaction avec l'environnement (Yokota et *al.*, 2006).

5-1 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.

Lors d'un stress hydrique, l'inhibition de la photosynthèse, et plus précisément la fuite d'électrons due la diminution de la fixation du CO₂, entraîne une forte accumulation de ROS, et les peroxydases, sont des enzymes qui jouent un rôle important dans le métabolisme et la physiologie de la plante. Elles sont présentes dans tous les tissus des végétaux et sont impliquées dans les réponses des plantes aux infections et aux stress abiotiques (Benkaddour, 2014).

Abousouan-Seropian et Planchon (1985), montrent que le déficit hydrique chez le blé affecte les phénomènes stomatiques et les non stomatiques de la photosynthèse à la conductance stomatique.

5-2 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.*, 1993). 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 (Assem, 2006).

I-6 Adaptation des plantes aux stress hydrique

L'adaptation est définie comme la capacité d'une plante à croître et à donner des rendements satisfaisants dans les zones sujettes à des stress de périodicité connus. Selon (Berthet, 2006). L'adaptation c'est la modification d'une structure ou d'une fonction, ou processus de modification d'une structure ou d'une fonction, dont on peut supposer ou démontrer qu'il est favorable à la survie de l'individu ou à sa multiplication dans un milieu donné.

6-1 Les stratégies adaptatives du blé face à un déficit hydrique

Pour lutter contre le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu. Les formes d'adaptation aux stress hydrique sont classées en trois grands types (Belehssen et al. 1995) :

- L'échappement ou esquivage qui consiste à réaliser le cycle pendant la période favorable.
- L'évitement de la déshydratation ou résistance qui permet le maintien d'un potentiel hydrique élevé dans la plante, elle 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 et al, 2006).
- La tolérance est la stratégie qui permet à la plante d'assurer ses fonctions physiologiques malgré une dégradation de son état hydrique (Blum et al, 1981. Passiora, 1996).

6-1-1 Adaptation morphologique

En milieu variable, les caractères morphologiques peuvent jouer des rôles assez importants qui réduisent la variabilité des rendements en grains (Harrath, 2003).

a- Le système racinaire

Un système racinaire capable d'extraire l'eau du sol serait un caractère essentiel pour l'adaptation à la sécheresse.

Cette caractéristique revêt une importance particulière pour les cultures qui subissent régulièrement des déficits hydriques durant le cycle de croissance (El Fakhri *et al.*, 2010). L'exploitation d'un plus grand volume de sol permet à la plante de satisfaire ses besoins en eau, de maintenir ses échanges gazeux et sa croissance en conditions de sécheresse (Annerose, 1990).

b- Surface et l'enroulement foliaire

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. (Cooper *et al.*, 1983; Benmahammed *et al.*, 2008). Les résultats de Mouellef (2010) montrent que le stress hydrique a entraîné une réduction de la surface foliaire. En milieux variables, la diminution de la surface foliaire peut avoir des effets bénéfiques en réduisant de la surface évaporante et celle soumise à la radiation solaire. (Cooper *et al.*, 1983 ; Benmahammed *et al.*, 2008 ; Belkherchouche *et al.*, 2009). L'enroulement foliaire, fréquent chez de nombreuses plantes cultivées (blé, sorgho...) peut donc être considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement de la déshydratation (Monneveux et This, 1997). Chez le blé, l'enroulement foliaire observé chez certaines variétés résistantes relève de ces mécanismes d'économie en eau (Clarke, 1986). L'inflorescence des céréales est relativement protégée de l'évaporation par des surfaces protectrices comme une cuticule épaisse qui fait que le statut hydrique des inflorescences est meilleur que celui des feuilles (Shepherd et Griffiths, 2006).

De nombreux travaux, réalisés sur une large gamme de génotypes, semblent confirmer le rôle des barbes dans le remplissage du grain en conditions de déficit hydrique (Ali Dib *et al.*, 1992). En effet, les barbes peuvent améliorer le rendement en conditions de sécheresse par augmentation de la surface photosynthétique de l'épi (Slama *et al.*, 2005).

6-1-3 Adaptation physiologique

a- Régulation stomatique

Les stomates jouent un rôle fondamental dans la régulation des pertes en eau de l'appareil foliaire. Cependant la fermeture stomatique réduit l'assimilation du CO₂ et conduit inévitablement à une réduction de l'activité photosynthétique, la fermeture des stomates est

contrôlée par un signal hormonal, l'acide abscissique ou ABA (Clavel et *al.*, 2005), est un mécanisme physiologique qui permet le maintien d'un potentiel hydrique foliaire élevée, tout en réduisant les pertes en eau lors d'un déficit hydrique cette régulation dépend de l'espèce et des conditions climatiques. Elle peut être totale ou partielle, assurant ainsi là pour suite des processus vitaux tels que la photosynthèse et la transpiration (Berka et Aïd, 2009). La plante peut réduire sa transpiration en fermant ses stomates la régulation de la conductance stomatique reste le mécanisme majeur intervenant à court terme pour limiter les pertes d'eau ; le potentiel hydrique foliaire sera maintenu d'autant plus longtemps que la fermeture des stomates est précoce, celle-ci peut intervenir à des potentiels hydriques foliaires différents en fonction du génotype.

La régulation dépend, à un instant donnée, du potentiel hydrique foliaire et de l'humidité de l'air au champ (Grieu et *al.*, 2008 ; Maury et *al.*, 2011). L'ABA induit la fermeture rapide des stomates et empêche leur réouverture lors d'un stress hydrique (Belin, 2006) et interviennent dans la régulation de l'expression de nombreux gènes lors d'un déficit hydrique, les gènes induits par l'ABA sont souvent des gènes codants pour des protéines de type LEA (Late-Embryogenesis- Abundant) mais également des gènes impliqués dans la synthèse d'osmolytes et dans la perméabilité membranaire (Maury et *al.*, 2011).

a- La teneur relative en eau de la feuille

La teneur relative en eau correspond à une signification physiologique directe de l'état hydrique du végétal (Collinson et *al.*, 1997). C'est un paramètre physiologique indicateur de la résistance des espèces vis-à-vis d'un stress hydrique (Berka et Aïd, 2009). Le maintien d'un potentiel hydrique élevé est lié à l'aptitude à extraire l'eau du sol et à la capacité à limiter les pertes d'eau par transpiration (Turner, 1986). Les génotypes qui maintiennent leur TRE élevée lors du stress hydrique seront probablement les plus tolérants et seront les plus productifs (Sassi et *al.*, 2012). Benmahammed et *al.*, (2008) notent que la corrélation positive entre la teneur relative en eau et la biomasse accumulée indique, qu'en général, l'accumulation de la biomasse sous stress est dépendante du contenu foliaire en eau.

Chapitre II : Matériel et méthodes

II -1 Objectif de l'essai

Le but de notre travail est d'étudier la variabilité de cinq génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.), à travers des paramètres morpho-phénologiques et physiologiques.

II-2 Conduite de l'essai

La Conduite de l'essai a été réalisée au niveau de l'Institut National de Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA) de Mehdi Boualem Baraki, Alger durant la période allant de Janvier à Mai 2019. Dans une serre semi-contrôlée (**Fig 08**) avec une température de 25°/15°C (jour / nuit), humidité relative de l'air 60-80% et luminosité naturelle et au niveau du laboratoire de Physiologie Végétale et d'Amélioration des plantes du même institut.



Figure 08: La serre en verre où a été réalisée notre expérimentation

(Photo personnelle).

II-3 Matériel végétal

Pour réaliser notre essai, nous avons utilisé cinq géotypes de blé tendre inscrit dans un projet national piloté par l'institut national de la recherche agronomique d'Algérie (INRAA). Un des géotypes est une variété locale homologuée et les autres géotypes sont des lignées avancées en génération d'origine Mexique (CIMMYT), **Tab 03**.

Géotype	Variétés ou Lignées	Origine
Ain abid	Ain abid	Algérie
L1	KACHU*2/3/PBW343*2/KUKUNA//PBW343*2/KUKUNA	Mexique
L2	PRL/2*PASTOR	
L3	KACHU*2/BECARD	
L4	PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/WBLL1/4/SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU	

Tableau 03: la description de matériel végétal de blé tendre.

II-4 Equipement et produits de laboratoire

Pour notre essai, les équipements et les produits utilisés sont représentés en (annexe01).

II-5 Méthodes d'étude:

L'essai a été réalisé dans des pots en plastiques capacité de 5 Kg avec 20cm de diamètre et 18cm de profondeur dont le fond est troué, remplis 4Kg contenant 1/3 du terreau 1/3, sol de station 1/3 et du sable1/3.

L'essai est mené en dispositif split-plot (Blocs complètement randomisés) à trois répétitions avec deux facteurs (traitement hydrique et géotype) : le facteur principale est le traitement hydrique, et comme facteur secondaire les géotypes (Ain Abid, L1, L2, L3, L4).

Chaque bloc est composé de deux parcelles élémentaires (témoin et avec stress hydrique) (Fig9).

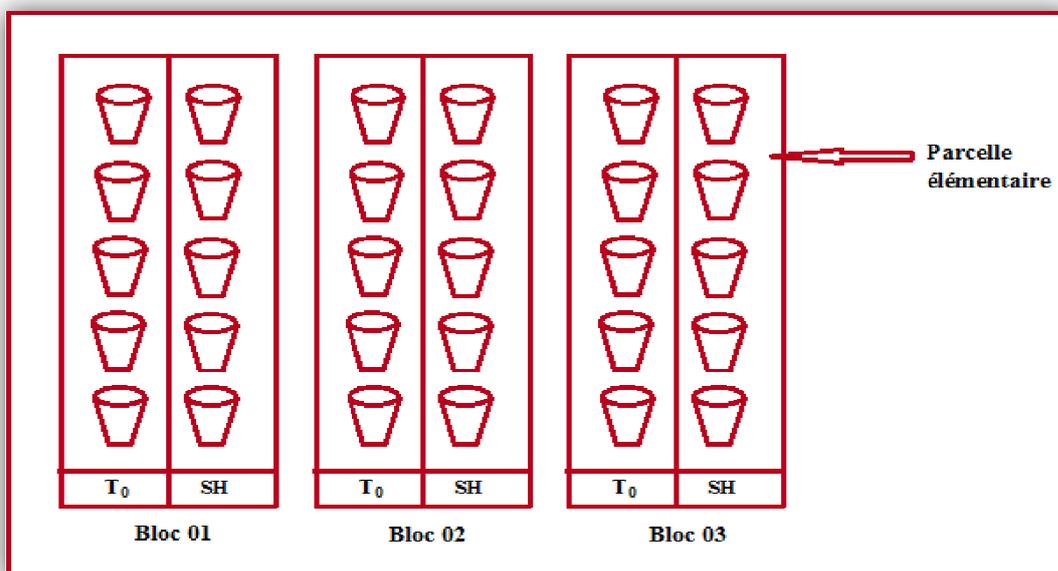


Figure09 : le dispositif expérimental de l'essai

5-1 Le semis

Le semis a été réalisé manuellement le 28/01/2019 à une profondeur de 2-3cm. Les graines sont méticuleusement choisies avant leur utilisation (pas de cassures ni signes apparents de maladies). Le nombre de graines a été 3 graines de chaque génotype par pot.

5-2 Détermination de la capacité de rétention en eau du sol

La capacité de rétention (CR) en eau du sol (ou quantité d'eau retenue dans le sol), correspond à la différence pondérale entre un échantillon de sol et le même échantillon saturé d'eau par capillarité, après un séjour de 24 heures de ressuyage (drainage) (Annexe 02). L'arrosage a été effectué à la dose 150 ml /pot d'eau de robinet à raison de 3 fois par semaine.

5-3 Désherbage

Un désherbage manuel a été effectué à chaque fois qu'il y a apparition de jeunes plantules des mauvaises herbes.

5-4 Application de stress

Le stress a été effectué le 27/02/2019 au stade de 3^{ème} feuilles pendant 20 jrs par diminution de volume d'arrosage jusqu'à 30% (45ml/pot). La partie continue à être arrosée normalement est considérée comme témoin.

II-6 Les paramètres mesurés

Les différents paramètres du stress hydrique ont été mesurés sur 30 échantillons prélevés sur des feuilles (3^{ème} et 4^{ème}).

6-1 Paramètres morphologiques

6-1-1 Hauteur

La hauteur de la plante (cm) a été mesurée soigneusement à l'aide d'une règle graduée. Les mesures s'effectuent du collet jusqu'à dernier nœud des plantules avec ou sans stress hydrique (fig 10).



Figure10 : mesure la hauteur de la plante (source personnel).

6-1-2 Surface foliaire (SF cm²)

La surface foliaire est estimée à partir de 3 échantillons de 4^{ème} feuille, dont on mesure la longueur (L) et la plus grande largeur (l) de la feuille, placé sur du papier millimétré (fig11).

Selon Spagnoletti et al.,(1990) la surface foliaire est déduite par la formule :

$$SF (cm^2) = 0.607 (L \times l)$$

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)

0.607= coefficient de régression de la surface.

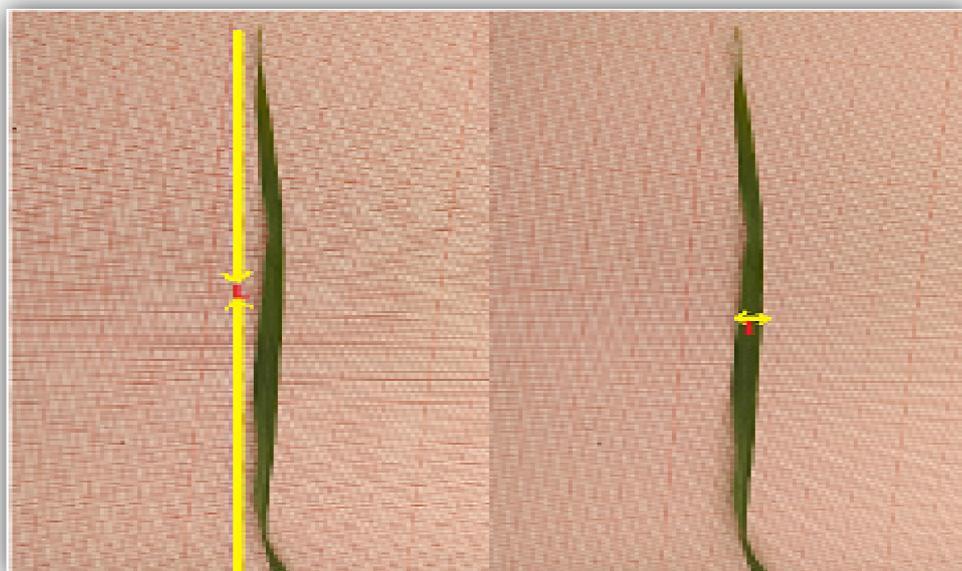


Figure 11: mesure de la surface foliaire (source personnel)

6-1-3 La biomasse aérienne

Il est quantifié en le poids de la matière sèche. Cette quantification concerne les organes aériens (tige, feuille). À l'aide d'une balance analytique de précision, les pesés sont effectués pour avoir le poids sec après le passage à l'étuve à une température 80° C pendant 24h avec ou sans stress hydrique.

6-2 Paramètres phénologiques

La durée de la phase végétative

La durée de phase végétative est déterminée en nombre de jours calendaires comptés à partir de 28 janvier à la date de réalisation de l'épiaison. La date d'épiaison est indiquée par la sortie des épis de la gaine de la dernière feuille



Figure12 : les différents stades de la durée végétative (source personnel).

6-3 Paramètres physiologiques

6-3-1 Teneur en chlorophylle totale

La chlorophylle est le pigment vert qui permet aux plantes de photosynthétiser, à travers la photosynthèse, qui utilise l'énergie lumineuse pour convertir le dioxyde de carbone et l'eau en composants de bases pour les plantes. La teneur en chlorophylle totale (chlorophylle a et b) a été déterminée à l'aide d'un chlorophylle mètre SPAD-502 qui donne les lecteurs en unités SPAD (Soil Plant Analyses Development).

Le principe repose sur la mesure de la fraction de la lumière transmise par la feuille à deux ondes (650 nm et 940 nm) sur une surface de 2 mm X 3 mm. C'est une méthode non destructrice avec ou sans stress hydrique.

L'appareil SPAD a l'aspect d'une pince que l'on garde dans la main; il est plein et léger. Il marque jusqu'à 30 mesures, peuvent être annoncées une à une. Généralement les valeurs perçues se situent entre 40 et 52 (unité SPAD). Il suffit de fermer la pince vide sur elle-même pour équilibrer l'appareil. Par la suite, trois prises de mesure sont effectuées au niveau de la feuille sur trois différents (sommet, milieu, et base). La moyenne des trios valeurs s'affiche sur l'écran à la fin (unité SPAD). Sachant que le temps de chaque mesure est de l'ordre de deux secondes.



Figure13 : mesure de chlorophylle totale
(Source personnel).

6-3-2 Teneur relative en eau (TRE %)

L'état hydrique des plantes est évalué par des mesures de la teneur relative en eau (TRE). la teneur relative en eau est mesuré sur la 4^{ème} feuille avec ou sans stress hydrique à partir de la méthode de (BARRS et *al.*, 1968).

Les feuilles échantillonnées sont coupées à la base du limbe, elles sont pesées immédiatement pour obtenir le poids frais (PF). Ces feuilles sont mises par la suite dans des tubes à essai remplis d'eau distillée et placés à l'obscurité à une température de 4°C, après 24h les feuilles sont retirées, passées dans un papier buvard pour absorber l'eau de la surface, pesées de nouveau pour obtenir le poids en pleine turgescence (PT).

Les échantillons sont enfin mis à l'étuve régler à 80°C pendant 48h et pesées pour avoir leur poids sec (PS). Selon la méthode de Clarke et Mc Caig, (1982) la teneur relative en eau est calculée par la formule suivante

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

Où :

TRE = teneur relative en eau foliaire.

PF = poids de la matière fraîche foliaire (mg).

PT= poids de la matière turgide foliaire (mg).

PS= poids de la matière sèche foliaire (mg).

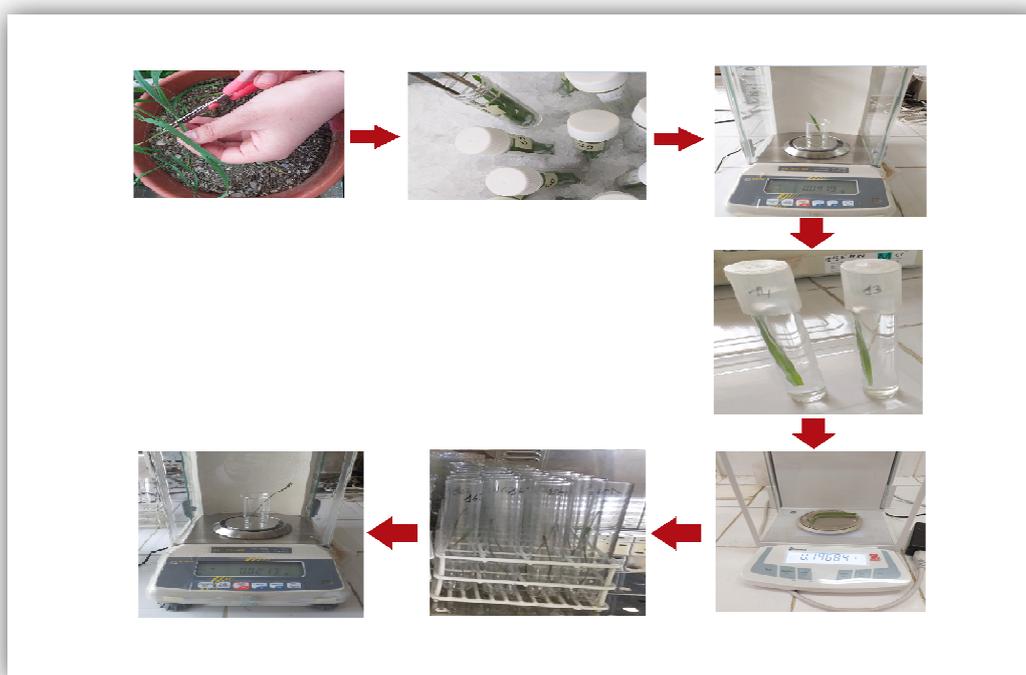


Figure 14 : les étapes de la teneur relative en eau (TRE)

(Source personnel).

6-3-3 Mesure de protéines solubles foliaires

Les protéines solubles foliaires de *Triticum aestivum* sont quantifiées selon la méthode de Bradford (1976) en utilisant le réactif de Bradford.

C'est une méthode spectrophotométrique permet de mesurer la concentration protéique basée sur une réaction colorimétrique entre les protéines et le colorant bleu de Coomassie G250 (Weckber et Cory, 1988). 100 mg de feuilles fraîches sont broyées, séparément, dans la glace dans un 1500 μ l de tampon d'extraction (Tris-HCL PH=8.1) (Annexe 03) à l'aide de broyeur à bille.

Une centrifugation est ensuite réalisée à 15000 tr/mn pendant 5 min à 4°C. Le surnageant récupéré représente la fraction des protéines ou extrait brute(fig15).

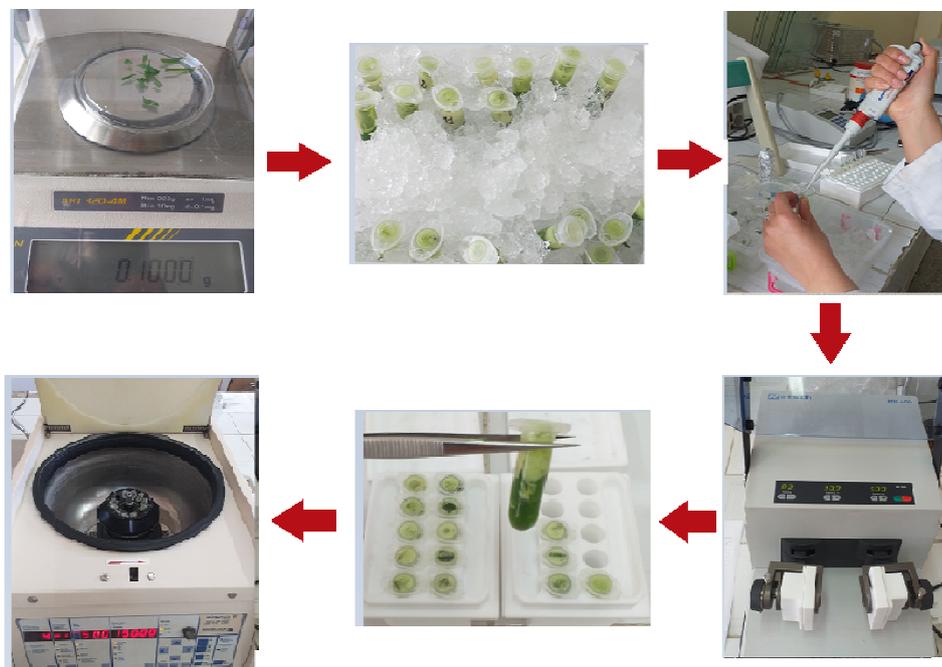


Figure15 : les étapes d'extraction des protéines

(Source personnel).

Dans un tube à essais une aliquote de 100 μ l de l'extrait est additionnée à 3 ml de réactif de Bradford(Annexe04). La coloration de bleu se développe dans un temps de minimum de 5 min et ne dépassant pas 60 min. la DO est lue au spectrophotomètre d'absorption à une longueur d'onde $\lambda= 595$ nm. Les teneurs en protéines (mg. g⁻¹ de MVF) sont déterminées par référence à une gamme étalon préparée à partir d'une solution mère de BSA à 1 mg. ml⁻¹, après diluée la solution de BSA à différents concentrations (0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 ; 1) Tab 04.

Tableau04 : préparation de la gamme étalon à partir de 1 mg/ml BSA.

BSA mg/ml	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Volume de solution filles (ml)	1	2	3	4	5
Eau distillé (ml)	4	3	2	1	0
Réactif de BRADFORD (ml)	3	3	3	3	3

Après, on lit les D.O à 595 nm afin d'établir le courbe étalon.

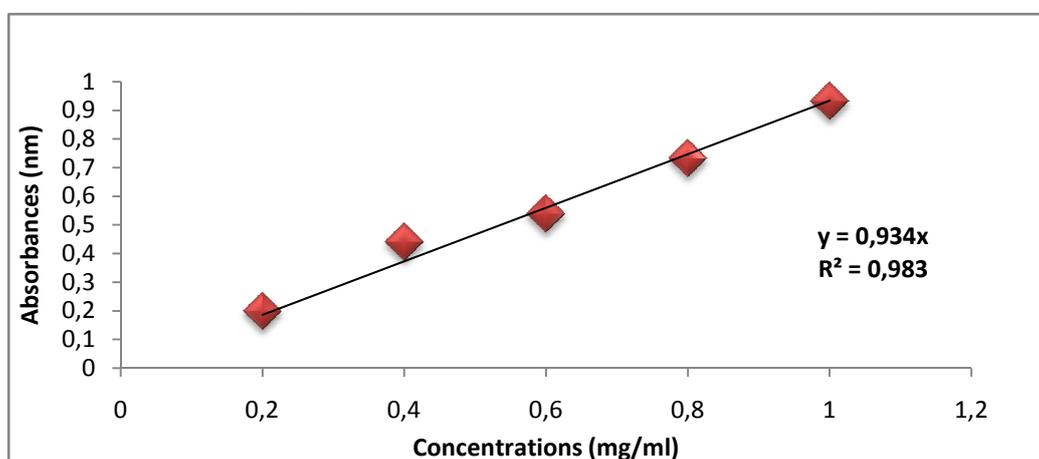


Figure 16: le courbe étalon de BSA

6-4 Mesure d'activités enzymatiques

6-4-1 La catalase

La catalase est une enzyme commune dans presque tous les organismes vivants exposés à l'oxygène, majoritairement peroxysomale mais elle existe aussi dans le cytosol. Leur nom a été donné par Loew en 1901 (in Boulahia, 2016) à cause de la capacité de cette protéine à décomposer des millions de molécules de peroxyde d'hydrogène en eau et oxygène chaque seconde.



La décomposition de peroxyde d'hydrogène est déterminée par la diminution de l'absorbance à 240 nm (coefficient d'extinction molaire $\epsilon = 36 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) Dorey *et al.*, (1998).

Le mélange réactionnel contient 1500 μl de tampon catalase (annexe05) et 12 μl de H_2O_2 à 6%. Le zéro est réalisé à 240 nm contre une cuve en quartz contenant le même volume de tampon et d'échantillon. La réaction est déclenchée par l'addition de 50 μL de l'extrait protéique contenant l'enzyme. La variation de l'absorbance (le déclin de la DO) est suivie pendant 30 secondes et 1 min (fig17).

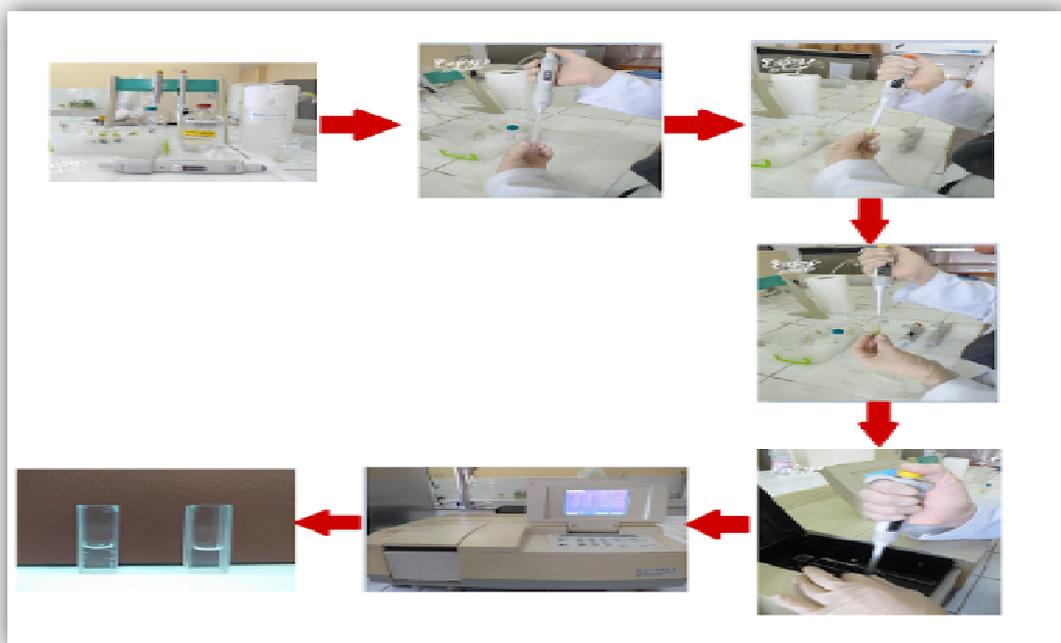


Figure 17 : mesure l'activité de la catalase (source personnel).

L'activité CAT est exprimée en nmoles de H_2O_2 dégradées par minute et par mg de protéines. La conversion de la vitesse initiale (changement de l'absorbance à 240 nm) en activité spécifique de la catalase est exprimée comme suit :

$$\text{Activité (nmol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ prot)} = \Delta\text{DO} / \text{min} \times 100 / (36 \times \text{mg protéines})$$

Chapitre III : Résultats et discussion

III-1 paramètre morphologiques

La morphologie des plantes de blé tendre témoins et stressées est présentée dans la figure 18. Les plantes témoins présentent un port bien développé avec des feuilles de couleur verte. Sous l'effet de stress, les plantes de blé tendre ne montrent pas de différences morphologiques (couleur, taille,) notables par rapport aux plantules témoins. En effet, la longueur des tiges est nettement réduite.

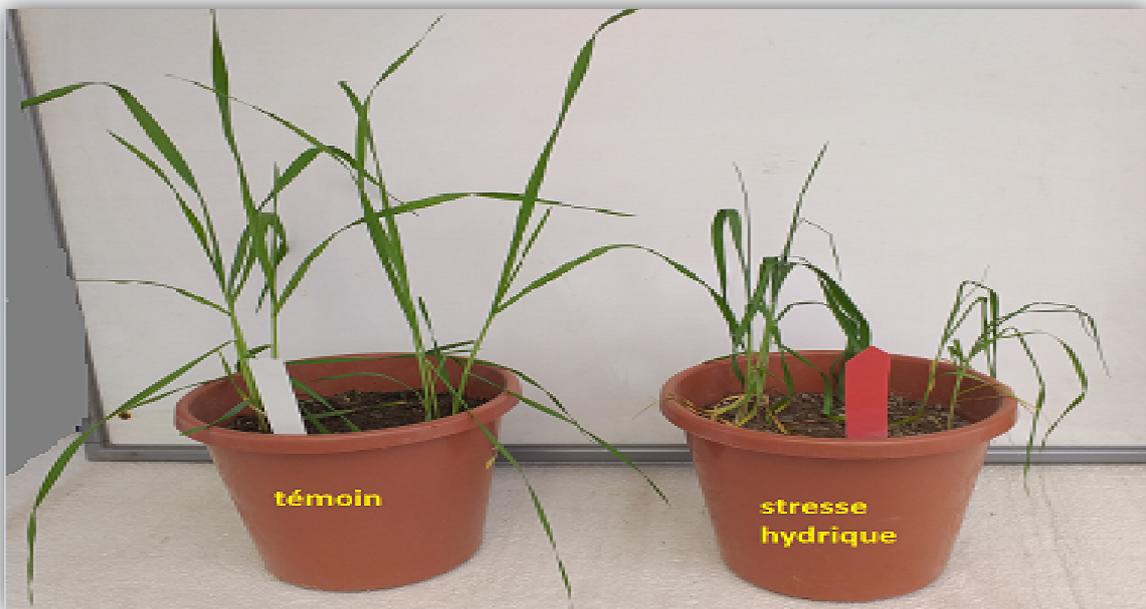


Figure 18 : Aspect morphologique des plantes de blé tendre témoin et sous l'effet du stress.

1-1 Hauteur

L'analyse de la variance a révélé des effets significatifs ($P < 0.05$) entre les deux facteurs (régime hydrique * variété) et hautement significatifs ($P < 0.001$) entre les génotypes, (annexe 06, tableau 01).

La valeur moyenne de la hauteur de la plante la plus élevée est notée chez L1 (KACHU*2/3PBW343*2/KUKUNA//PBW343*2/KUKUNA), en revanche Ain abid enregistre la plus faible valeur pour cette caractéristique avec des valeurs de 20.88 cm et 11.88 cm respectivement.

Sous conditions de stress (hydrique), Nous avons observé une diminution de la valeur moyenne chez les différents génotypes testés, la valeur maximale été notée chez L4(PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/WBLL1/4/SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU) 13.48 cm et une valeur minimale été notée chez Ain abid 8.4 cm (fig 19).

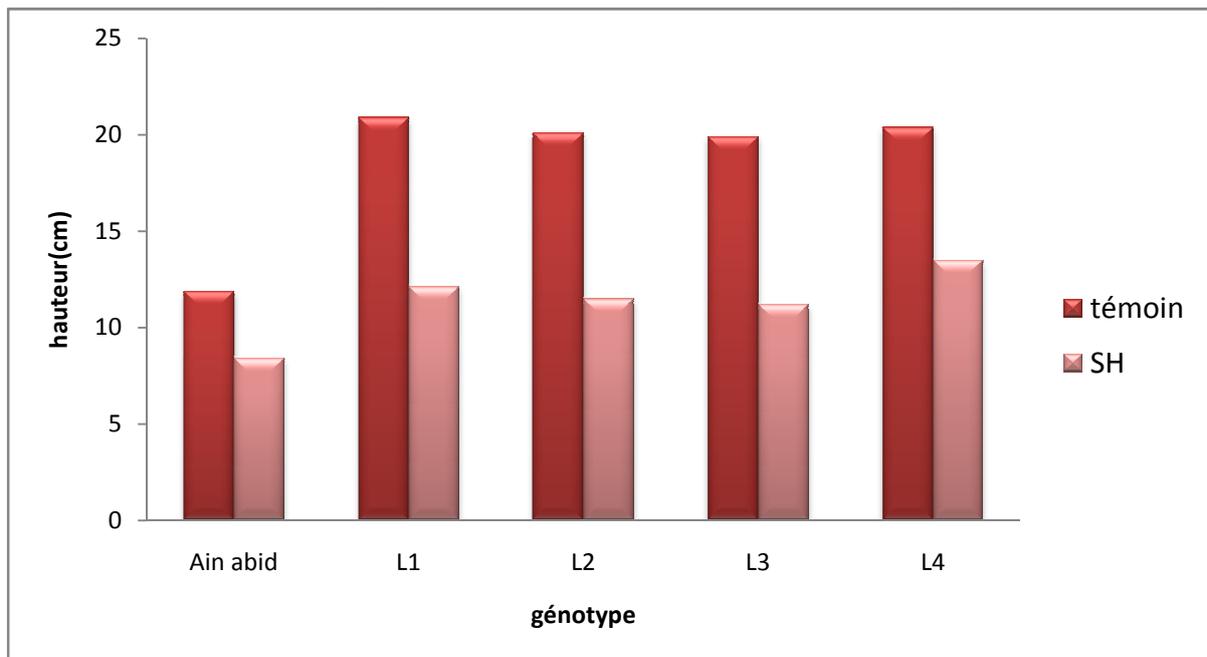


Figure19 : Variation de la hauteur des cinq génotypes de blé tendre (Témoin, Stressé).

L1 : KACHU*2/3/PBW343*2/KUKUNA//PBW343*2/KUKUNA, **L2** : PRL/2*PASTOR, **L3** : KACHU*2/BECARD,
L4 : PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/WBLL1/4/SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU, **SH** : stress hydrique.

Le développement végétatif sous conditions limitant d'alimentation hydrique est fortement perturbé (Ferryra et *al.*, 2004) Cette diminution est une des réponses des végétaux à la déshydratation, elle contribue à la conservation des ressources en eau, ce qui permet la survie de la plante (Lebon et *al.*, 2004). L'influence de déficit hydrique est souvent rapportée en termes de hauteur des plantes, des nombres de talles (Kouassi, 1984).

Pigeaire et *al.* (1988), en appliquant quatre régime hydrique sur deux variété de soja (Hodgson et kingsoy) cultivé en pot , ont montre que le stress affecte la croissance de la tige principale et des branches avec la même intensité .

1-2 La surface foliaire

L'analyse de la variance a révélé des effets non significative ($P>0.05$) entre les deux facteurs (régime hydrique *variété) ainsi les génotypes, et significative pour l'effet de régime hydrique, (annexe06, tableau02).

La figure n°20 montre une diminution importante de la taille des feuilles des différents génotypes étudiés en fonction du stress hydrique appliqué en conditions d'irrigation, la variété Ain abid (17.07 cm^2) présente la surface la plus grande contrairement aux génotypes L1, L2, L3 et L4. Sous stress hydrique, nous avons observé une diminution de la surface foliaire chez les différents génotypes testés, les valeurs obtenues s'étalent entre (10.83 ± 8.73) cm^2 , la valeur maximale été notée chez le génotype L4 (PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/WBLL1/4/SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU) (10.83 cm^2) et une valeur minimale été notée chez le génotype Ain abid (8.73 cm^2).

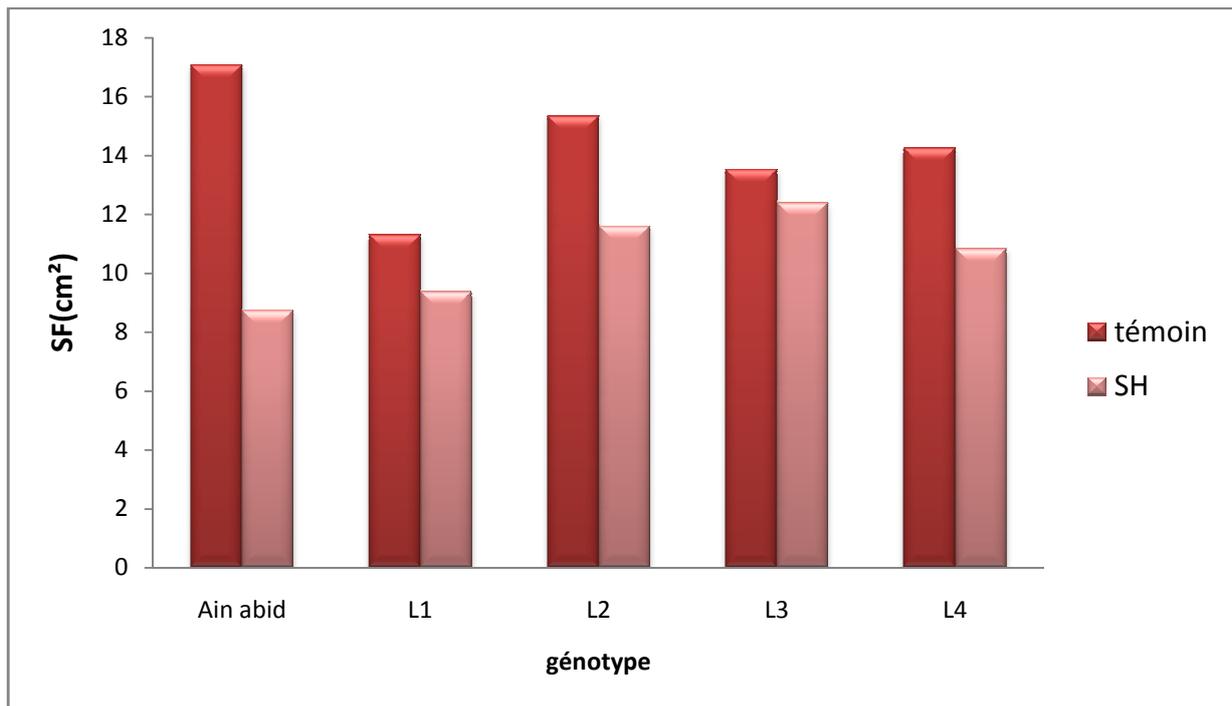


Figure20 : Variation de la surface foliaire des cinq génotypes de blé tendre (Témoin, Stressé).

L1 : KACHU*2/3/PBW343*2/KUKUNA//PBW343*2/KUKUNA, **L2** : PRL/2*PASTOR, **L3** : KACHU*2/BECARD,
L4 : PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/WBLL1/4/SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU, **SH** : stress hydrique.

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

Le développement végétatif sous conditions limitantes d'alimentation hydrique est fortement perturbé (Ferryra et al., 2004), on note principalement une diminution importante de la taille et de la surface foliaire. Cette diminution est une des réponses des végétaux à la déshydratation, elle contribue à la conservation des ressources en eau, ce qui permet la survie de la plante (Lebon et al., 2004). La diminution de la surface foliaire des feuilles et du nombre de talles est considérée comme une réponse ou adaptation au manque d'eau (Blum., 1996).

1-3 La biomasse

L'analyse de la variance a révélé des effets non significative ($P > 0.05$) entre les deux facteurs (régime hydrique *variété) ainsi les génotypes, et significative ($P < 0.05$) pour l'effet de régime hydrique, (annexe06, tableau03).

La biomasse aérienne la plus élevée est enregistrée chez les témoins avec une valeur maximale de 0.91 enregistrée chez les génotypes L2 et une valeur minimale de 0.5 enregistrée chez les génotypes Ain abid. En revanche, on note une diminution de chez l'ensemble des génotypes étudiés sous condition de manque d'eau, la valeur minimale a été notée chez le génotype L1 avec 0.32 et une valeur maximale 0.52 enregistrée chez le génotype L4 (fig 21).

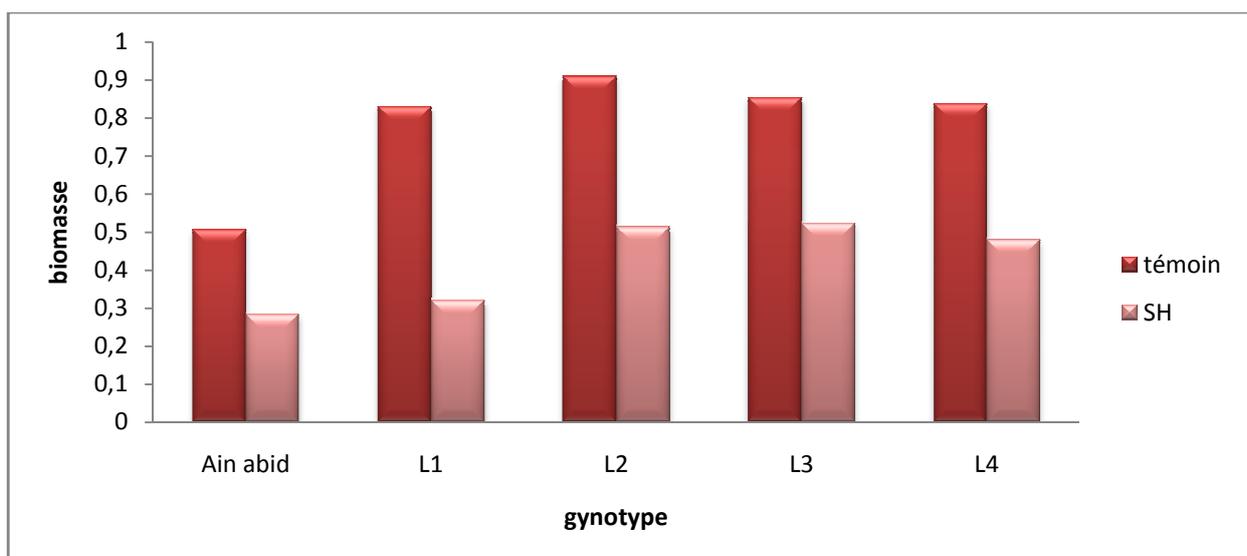


Figure 21 : variation de la biomasse de blé tendre (témoin, stressé).

Ces résultats de la biomasse, montrent généralement que le stress hydrique a un effet négatif sur la biomasse totale des plantes de blé tendre. Ils sont en accord avec ceux obtenus par plusieurs chercheurs. En effet, (Moayedi et *al.*, 2010) montrent une diminution importante pour la biomasse des plantules de blé par l'effet de stress hydrique prolongé. En outre, beaucoup d'auteurs présentent que cette diminution serait attribuée à une forme particulière d'adaptation morphologique (Baldy, 1986).

III-2 caractères phénologique

1- La durée de la phase végétative :

L'analyse de la variance a révélé des effets significative ($P < 0.05$) entre les génotypes pour la précocité à l'épiaison, (annexe06, tableau04).

La valeur moyenne de la durée de la phase végétative la plus élevée est enregistrée chez Ain abid avec une durée moyenne de 93.3 jours (plus tardif), alors que L2 (PRL/2*PASTOR) est le plus précoce avec une moyenne de 79.7 jours. La comparaison des valeurs moyennes prises par les génotypes montrent que L1, L2 (PRL/2*PASTOR) et L4 sont les plus précoces avec une moyenne de 80 jours, alors que L3 (KACHU*2/BECARD) et Ain abid présentent la durée de la phase végétative la plus longue avec une moyenne de 87,7 jours. Tandis que L3 (KACHU*2/BECARD) prend une valeur intermédiaire de 82.3 jours. Les génotypes étudiés présentent peu de différence pour cette variable, vu que les valeurs moyennes sont très proches (fig22).

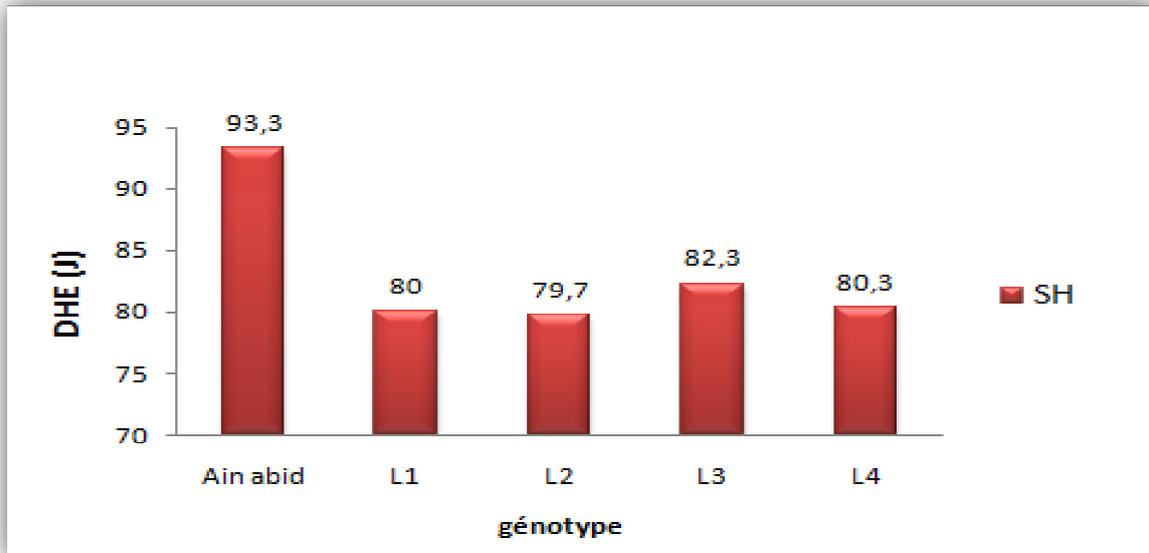


Figure 22 : transgressions de la durée de la phase végétative des génotypes

L1 : KACHU*2/3/PBW343*2/KUKUNA//PBW343*2/KUKUNA, L2 : PRL/2*PASTOR, L3 : KACHU*2/BECARD,
 L4 :PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/WBLL1/4/SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU, DHE = Durée de la phase végétative, SH : stress hydrique.

Le choix du cycle de végétation est donc très important pour que la plante puisse faire une bonne utilisation des disponibilités du milieu tout en s’harmonisant aux conditions climatiques de l’environnement de production (Bouzerzour et *al.*, 2002).. Ali Dib, (1992) ; Ben Salem et *al.*, (1997); Bouzerzour et *al.*, (1998a) indiquent que le sens de sélection est dirigé vers une plus grande précocité d’épiaison pour améliorer les productions des zones sèches. Ce mécanisme biologique pourrait être quantifié d’esquive puisque les génotypes précoces peuvent accomplir leur cycle en évitant ainsi la sécheresse terminale (Megherbi et *al.*, 2012). Toutefois, la précocité est un mécanisme important de résistance dans ces conditions, mais il ne suffit pas, étant donné la possibilité d’avoir des stress au début ou au milieu de saison (Hayek et *al.*, 2005), et ça c’est le cas de la présente campagne. Oosterom et *al.*, (1993) et Abbassenne et *al.*, (1997) affirment qu’une précocité excessive au stade épiaison fait courir les risques de destruction des organes floraux par le gel tardif en zones d’altitude. L’utilité de la sélection sur la base de la précocité au stade épiaison est justifiée aussi par le souci de donner à la plante un cycle de développement qui lui permet d’éviter les contraintes climatiques tels que le froid tardif (Bouzerzour et Benmahammed, 1994), la sécheresse et les hautes températures de fin de cycle (Oosterom et *al.*, 1993).

III-3 Analyses des paramètres physiologiques

3-1 Analyse du taux de la chlorophylle totale

L'analyse de la variance montre que l'interaction entre les deux facteurs (régime hydrique *variété) ainsi que l'effet variété et l'effet de régime hydrique ne sont pas significatifs ($P>0,05$), (annexe06, tableau05).

Concernant ce paramètre, au niveau du témoin, on note les valeurs du taux de la chlorophylle totale différent selon les génotypes. Les cinq génotypes marquent des valeurs qui fluctuent entre (37.53 et 31.83) U SPAD, les génotypes L4, L1, Ain abid et L2 représente le TCT le plus élevé, avec un maximum chez L4 (37.53U SPAD), tandis que le TCT le plus faible est été motionne chez le génotype L3 (KACHU*2/BECARD) (31.83U SPAD).

Le taux de la chlorophylle totale augmente en présence du stress hydrique chez les différent génotypes étudiés. On remarque que les génotypes testés ont augmentés leur TCT par rapport aux témoins, sauf le génotype L4 est diminué leur TCT par rapport aux témoins.

Le génotype L3 (KACHU*2/BECARD) enregistre un taux maximal avec une valeur de (37.27 U SPAD) et le génotype Ain abid qui marque une teneur minimal de (35.6 U SPAD) (Figure.09).

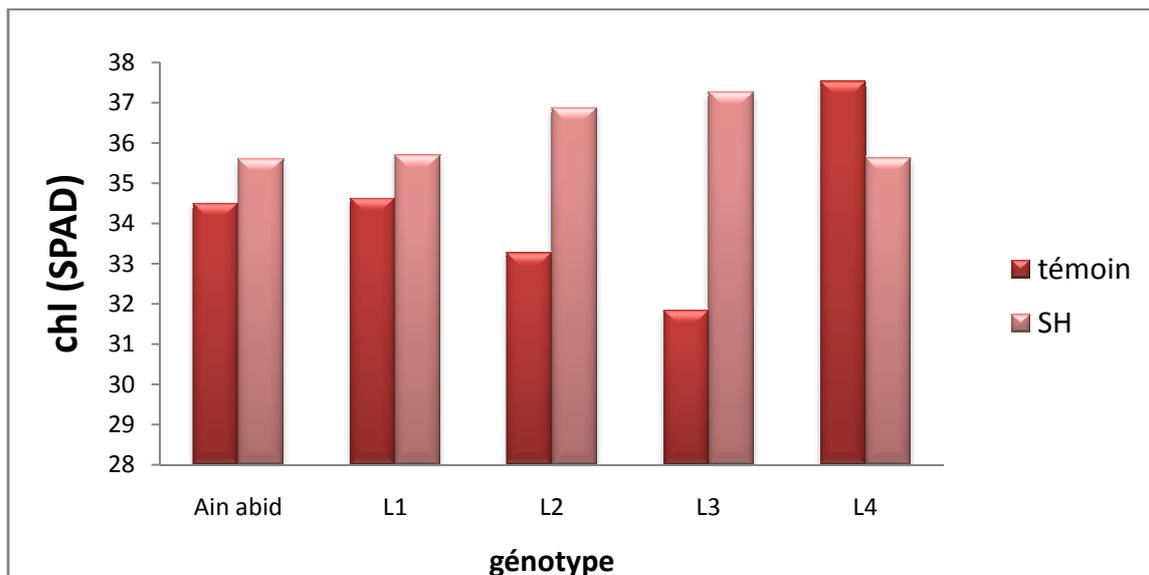


Figure22 : Variation de taux de chlorophylle totale des cinq génotypes de blé tendre (Témoins, Stressé).

L1 : KACHU*2/3/PBW343*2/KUKUNA//PBW343*2/KUKUNA, **L2** : PRL/2*PASTOR, **L3** : KACHU*2/BECARD,
L4 :PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/WBLL1/4/SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU, **SH** : stress hydrique.

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

L'augmentation des teneurs en chlorophylle totale est la conséquence de la réduction de la taille des cellules foliaires sous l'effet d'un stress hydrique qui engendre une plus grande concentration (Siakhène, 1984 Ainaoui, (2006). Par contre, la chute des teneurs en chlorophylle est la conséquence de la réduction de l'ouverture des stomates visant à limiter les pertes en eau par évapotranspiration et par augmentation de la résistance à l'entrée du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse (Bousba et al.,2009). La quantité de la chlorophylle des feuilles peut être influencée par beaucoup de facteurs tels que l'âge des feuilles, la position des feuilles, et les facteurs environnementaux tels que la lumière, la température et la disponibilité en eau (Hikosaka et al., 2006).

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

L'analyse de la variance montre que l'interaction entre les deux facteurs (régime hydrique *variété) ainsi que l'effet variété ne sont pas significatifs ($P > 0,05$) toutefois elle est significative pour l'effet de régime hydrique ($P < 0,05$) avec le coefficient de variation est de (annexe06, tableau06).

Les teneurs relatives en eau les plus élevées sont enregistrées chez les témoins irriguée, avec une valeur maximale de 89.15% observé chez les génotypes Ain abid et une valeur minimale de 75.41% enregistré chez le génotype L2 (Figure24). En revanche, on note une diminution de la teneur en eau relative chez l'ensemble des génotypes étudiés sous condition de manque d'eau, la valeur minimale été notée chez le génotype L3 avec 59.82% et une valeur de TRE maximale (80.07%) enregistrée chez le génotype L4.

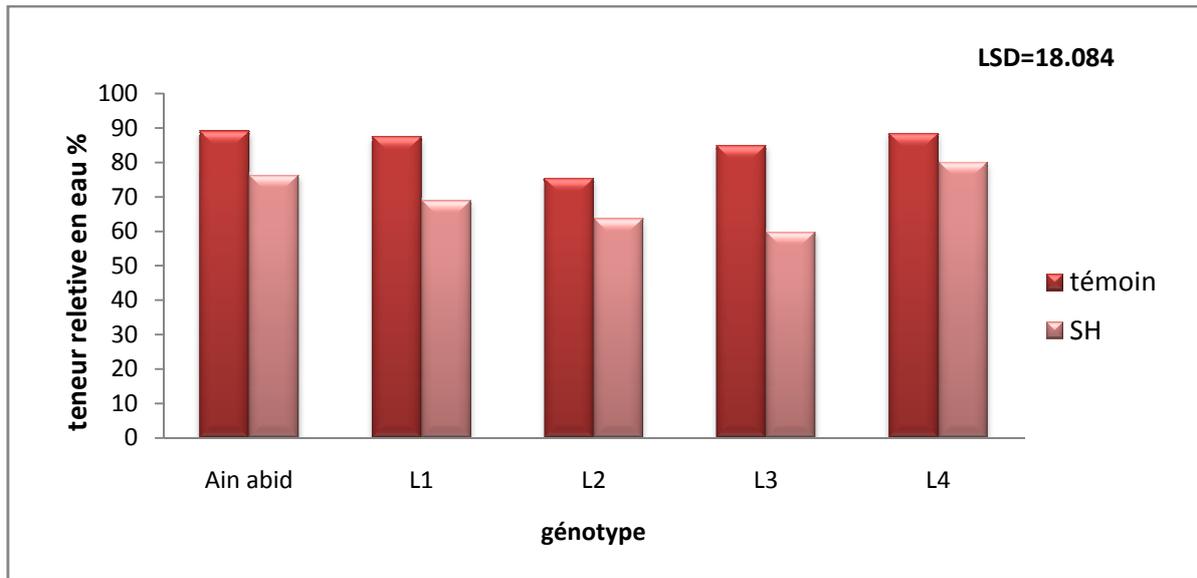


Figure 24 : Variation de la teneur relative en eau des cinq génotypes de blé tendre (Témoins, Stressé).

L1 : KACHU*2/3/PBW343*2/KUKUNA//PBW343*2/KUKUNA, **L2** : PRL/2*PASTOR, **L3** : KACHU*2/BECARD,
L4 :PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/WBLL1/4/SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU, **SH** : stress hydrique.

La teneur relative en eau, c'est un paramètre physiologique indicateur de la résistance des espèces vis-à-vis d'un stress hydrique. Les espèces végétales qui maintiennent des teneurs foliaires relatives en eau élevées sont considérées comme étant des espèces résistantes à la sécheresse (Berka et Aïd, 2009). Une diminution de la teneur en eau relative indique la gravité de la déshydratation, alors que l'ajustement osmotique peut échouer à maintenir la turgescence dans les tissus affectés. Il est évident que les génotypes stressés ont montré une diminution de la TRE ; cette variation génotypique pourrait être attribuée à des variations dans le contrôle stomatique de la transpiration (Ding *al.*, 1989), la capacité d'extraire l'eau par les racines (lilley, 1994). Le manque d'eau est un élément déterminant pour la croissance des plantes, Particulièrement en région arides et semi arides. Il induit chez les plantes stressées une diminution du contenu relatif en eau, et une réduction significative de la production de biomasse totale (Albouchi et *al.*, 2000). L'analyse du teneur relatif en eau permet de décrire d'une manière globale, le statut hydrique en réponse au stress hydrique, et d'évaluer l'aptitude à réaliser une bonne osmorégulation, et maintenir une turgescence cellulaire (EL Jaafari et *al.*, 2000).

Casals 1996 in Ainaoui, 2016 a montré que l'effet dépressif de la carence en eau sur l'état hydrique de la plante peut être irréversible, si la période de stress est prolongée. Un comportement semblable a été observé chez un bon nombre de plantes chez le blé. (Ykhlef, 2001). D'autre part, Matin et *al.*, (1989) in Nouri, (2002) montrent que les génotypes qui maintiennent une TRE élevée dans la présence de stress hydrique sont des génotypes tolérants.

3-4 analyses le taux de protéines soluble foliaire

L'analyse de la variance montre que l'interaction entre les deux facteurs (régime hydrique *variété) ainsi que l'effet variété et l'effet de régime hydrique ne sont pas significatifs ($P > 0,05$) (annexe06, tableau07).

Les teneurs moyennes en protéines solubles foliaires les plus élevés sont enregistrées chez les témoins irrigués, avec une valeur maximale de 8,6 mg/g MVF observé chez le L4 et une valeur minimale de 2,71 mg/g MVF enregistré chez le génotype Ain abid (Figure08). En revanche, on note une augmentation de la teneur moyenne en protéines foliaire chez l'ensemble des génotypes étudiés sous condition de manque d'eau, la valeur minimale été notée chez le L3 4,1mg/g MVF et une valeur maximale 6,53 mg/g MVF enregistrée chez le L1 (fig25).

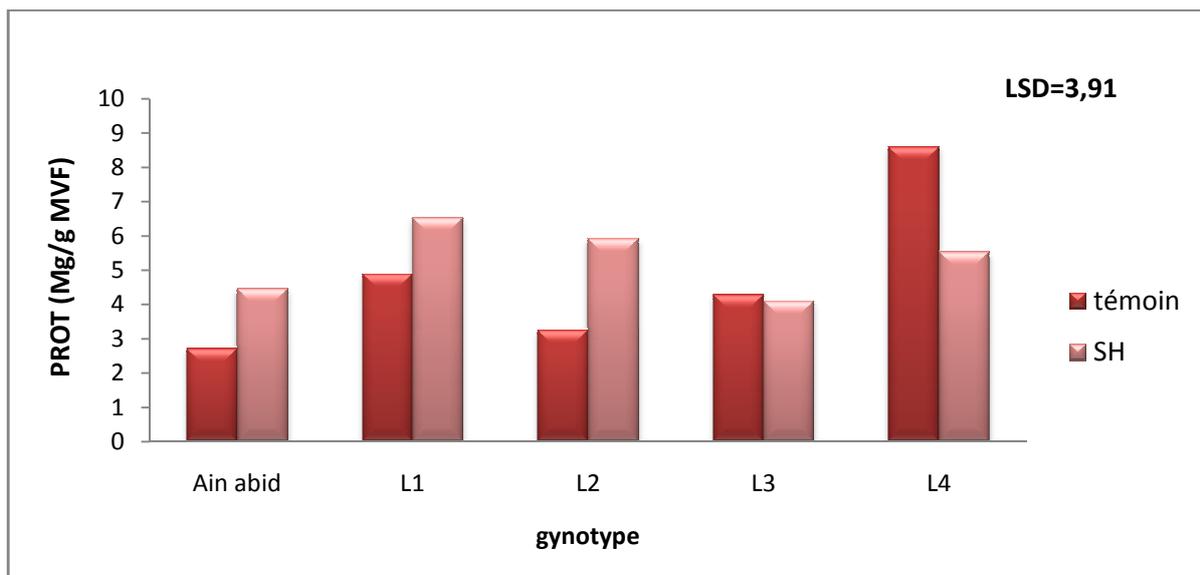


Figure25 : Variation de la teneur en protéines solubles foliaires des cinq génotypes blé tendre (témoin et stressés).

L1 : KACHU*2/3/PBW343*2/KUKUNA//PBW343*2/KUKUNA, **L2 :** PRL/2*PASTOR, **L3 :** KACHU*2/BECARD,
L4 : PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/WBLL1/4/SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU, **SH :** stress hydrique.

plusieurs auteurs ont décrit que le stress hydrique peut provoquer une baisse ou une hausse des protéines totales (Rai et *al.*, 1983). Les cinq génotypes étudiés ont répondu aux conditions de stress appliqués par une hausse et diminution dans le niveau de protéines totales comparativement aux témoins, ce qui confirme que les contraintes abiotiques induisent des modifications quantitatives dans la synthèse des protéines. Ce résultat peut être expliqué par le fait que la plante cherche à protéger son intégrité morpho-physiologique, en réponse aux dommages et aux effets défavorables du stress appliqué en élaborant des enzymes et des protéines dont le rôle est de neutraliser les molécules générées par ce stress (Gardés Albert et *al.*, 2003). La stimulation des protéines est due à une activation d'un ensemble de gènes permettant la synthèse des protéines spécifiques associées aux stress qui assurent une protection de l'ensemble vital des protéines cellulaires pour maintenir les structures protéiques et membranaires de la cellule végétale.

Les protéines induites lors d'un stress appellent «protéines de stress» Hamilton et Heckathorn, (2001) telles que les protéines HSP (protéines assurent une protection lors d'un stress, on les trouve également surexprimées lors de l'exposition des plantes à la sécheresse, ou a des fortes teneurs en sel) Wang et *al.*, (2004) et AQP (protéines semble régulée l'homéostasie d'eau lorsque ce dernier est perturbé par le stress hydrique) Srivastava et *al.*, (2016). Ces protéines sont en association avec la tolérance au stress dans de nombreuses plantules, surtout pour le cas des cultures annuelles tels que les céréales Bouakez et Hamadouche, (2015).

Monneveux et Nemmar, (1986) ; Zerrad et *al.*, (2006). En effet, ces auteurs ont montré que la sécheresse favorise la protéolyse, elle conduit, en conséquence à une diminution de la quantité de protéines de poids moléculaire élevés et à une augmentation de la teneur en protéines solubles et en acides aminés. Ces constatations ont été confirmées par Gate, (1995), qui a montré que la quantité d'ADN et ARN, responsable de la synthèse des protéines, dans les feuilles diminue suite aux conditions limitantes en eau. En fait, en présence d'une contrainte hydrique, la synthèse des protéines est d'une part, inhibée et d'autre part, celles-ci subissent une dégradation pour donner lieu à des acides aminés solubles ayant dans certains cas une fonction adaptative telle la <<proline>>.

Ces acides aminés solubles contribuent également à l'augmentation de la teneur en solutés cellulaire se traduisant par une osmorégulation plus efficace de la plante.

III- 4 Analyse de catalase

L'analyse de la variance montre que l'interaction entre les deux facteurs (régime hydrique *variété) ainsi que l'effet variété ne sont pas significatifs ($P > 0,05$) toutefois elle est significatif pour l'effet de régime hydrique ($P < 0,05$) avec le coefficient de variation est de (annexe06, tableau08).

L'évolution de l'activité catalase de la partie aérienne chez les plantes témoins et plantes stressées se traduit par des variations comparables. Les fortes accumulations d'activité catalase sont observées au traitement stressé, tandis que les plus faibles teneurs sont marquées chez les témoins.

Les deux génotypes L3 et L4 présentent une forte augmentation avec 47.69 et 29.46 $\text{nmole.min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ de protéines, l'activité catalase est encore plus importante (16.64 $\text{nmole.min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ de protéines) chez le génotype L2. La catalase présente également une diminution de son activité chez les plantes témoins, la valeur minimale été notée chez le génotype L3 avec 1.75 $\text{nmole.min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ de protéines et une valeur maximale enregistrée chez le génotype Ain abid (11.57 $\text{nmole.min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ de protéines) (fig26).

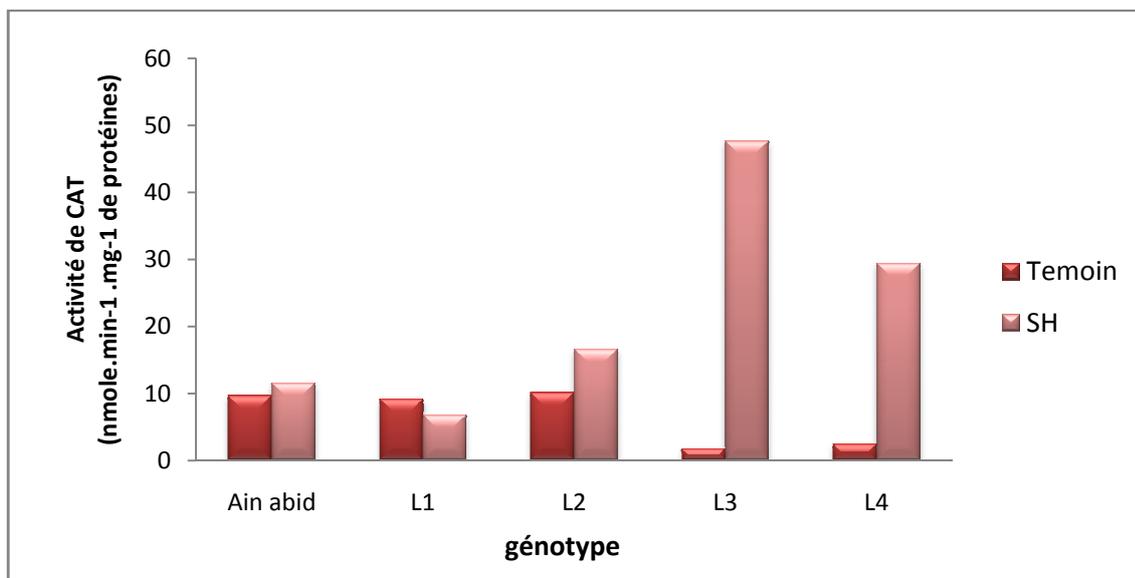


Figure26 : Activité de catalase des cinq génotypes de blé tendre (Témoins, Stressé).

L1 : KACHU*2/3/PBW343*2/KUKUNA//PBW343*2/KUKUNA, **L2 :** PRL/2*PASTOR, **L3 :** KACHU*2/BECARD,
L4 : PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/WBLL1/4/SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU, **SH :** stress hydrique.

D'après ces résultats nous avons mis en évidence que l'une des conséquences du stress hydrique chez le blé tendre, est l'apparition d'un stress oxydatif, c'est-à-dire l'accumulation d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) (Appel et Hirt, 2004), proportionnelle à l'intensité du stress induit. Le dosage des enzymes intervenant dans la détoxification à savoir la catalase, l'ascorbate – peroxydase et la gaïacol-peroxydase montre que le déficit en eau a tendance à stimuler ces enzymes.

La stimulation de l'activité catalase, montre que cette enzyme joue son principal rôle en réduisant la teneur moyenne en H₂O₂ néfaste pour l'intégrité cellulaire Wilkinson et *al.*, (2002); Blokhina et *al.*, (2003) ; Flexas et *al.*, (2006); Meksem, (2007).

La diminution des activités de la CAT sous l'effet des plus fortes concentrations de prométryne serait due à la surproduction du peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) qui peut endommager l'activité de ces enzymes. Cette hypothèse est étayée par les travaux de Luna et *al.* (1994) et Mashoudi et *al.* (1997). Feitosa et *al.* (1992) ont également attribué l'inhibition de l'activité catalase à la forte concentration du H₂O₂ détectée dans les plantes en conditions de stress. La réponse de la cellule au stress oxydatif est modulée en fonction de la concentration en ERO. Une forte dose d'ERO induit la mort cellulaire, une faible dose permet la mise en place d'enzymes antioxydants Vranova et *al.*, (2002)

Conclusion

Le stress hydrique affecte le développement et le bon fonctionnement des plantes. Par ailleurs, et pour bien se développer, la plante doit disposer des mécanismes d'adaptation qui lui permettent de supporter la sécheresse. Dans le cadre de ce travail, le comportement de cinq génotypes de blé tendre est analysé.

A travers les résultats obtenus dans cette étude on peut constater que l'application d'une contrainte hydrique se manifeste chez l'ensemble des plantes de blé tendre étudiées par des traits généraux communs, il s'agit, d'une modification morpho- phénologique et physiologique et en réponse au stress.

Parmi les paramètres mesurés les plus affectés, figurent la teneur relative en eau, la surface foliaire et la durée de la phase végétative. Ces paramètres ont confié par une analyse statistique des différences significatives à hautement significatives entre les plantes témoins et plantes stressés. Alors que les caractères d'adaptation sont une durée végétative, une biomasse aérienne importante, une surface foliaire réduite, une faible teneur relative en eau et une précocité pour éviter la contrainte hydrique, au lesquelles le meilleur génotype est L4 (PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/WBLL1/4/SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU).

Toutefois, nous pouvons signaler que les génotypes utilisent les mêmes stratégies pour tolérer le stress hydrique.

Le stress hydrique permet une forte accumulation en teneur des protéines soluble foliaire ainsi l'activation des enzymes tels que la catalase qui permet de lutter contre les radicaux libres produits suite au stress hydrique.

Enfin, tout le monde espère que les recherches se poursuivent pour obtenir les meilleurs génotypes de blé (Donnars et Sarazin, 2007).

Références bibliographiques

- **Abbassenne, F., Bouzerzour, H., & Hachemi, L. (1997).** Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride. *Ann. Agron. INA, El Harrach*, 18 :24-36.
- **Ahmadi N., Chantereau J., Hekimian Lethève C., Marchand J.L., et Ouendeba B., (2002).** Les céréales. In : *Mémento de l'agronome*, Versailles. Ed. Quae, pp.777-831.
- **Ainaoui S, (2016).** Etude comparative de l'effet du stress hydrique sur le Comportement de quatre génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.).
- **Albouchi A. Bouzerzour H. Benmahammed A. Djekoun A, (2000).** Caractérisation des variétés locales, Syriennes et européennes de blé dur évaluées Constantine, numéro spécial. : 33 –38p.
- **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 Dib, T., Monneveux, P., et Araus, J.L. (1992).** Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur. II : caractères physiologiques d'adaptation. *Agronomie*, 12 :381-393.
- **Annerose, D. J. M. (1990).** Recherches sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Application au cas de l'arachide (*Arachis hypogea* L.) cultivée au Sénégal. Thèse de doctorat es Sciences Naturelles, Université Paris VII, 282p.
- **Apel, K. and Hirt,H., (2004).** Reactive oxygen species: Metabolism, Oxidative Stress, and Signal Transduction. *Annual Review of Plant Biology* 55(1): 373-399.
- **Assem, N., El Hafid, L., Haloui, B., et 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.

Références bibliographiques.

- **Bajji, M., Lutts, S., et Kinet, J. M. (2000).** La résistance au stress hydrique chez le blé dur : Comparaison des comportements au niveau cellulaire et au niveau de la plante entière. Zaragoza : ciheam. Options Méditerranéennes : série A. séminaires méditerranéens, 40 : 227- 231.
- **Baldy, C. (1986).** Comportement des blés dans les climats méditerranéens Ecologie méditerranéenne. Tome XII, Vol. (3 - 4), p.73 - 88.
- **Barrs, H. (1968).** Determination of water deficit in plant tissues. In: Water Deficit and Plant Growth. Koslowski T. Academy Press. New York. 235 -368.
- **Bartels, D. et Nelson, D., (1994).** Approaches to improve stress tolerance using molecular genetics. Plant Cell Environ 17: 659-667.
- **Bekaddour H., (2018).** Etude comparative de quelques lignées de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire d'ingénieur d'état en Agronomie.p :04.
- **Belaid Dj., (2015).** Cultures des céréales en Algérie : Aspects techniques et économiques. Collection : Science et techniques agronomiques, 209 p.
- **Belhassen E., This D., Monneveux P., (1995).** L'adaptation génétique aux contraintes de la sécheresse. Cahiers Agricoles 4 :251-261.
- **Belin Ch. (2006).** Structure et fonction de la protéine Kinase OSII dans la cellule de garde d'*Arabidopsis Thaliana*. Université de paris-sud U-R-F scientifique d'Orsay. Paris, thèse de doctorat : 12p.
- **Ben Mbarek K. et Boubaker M., (2017).** Manuel des grandes cultures – Les céréales. Ed. Universitaires européennes, 230 P.
- **Ben Salem, M., Boussen, H., & Slama, A. (1997).** Évaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : recherche de paramètres précoces de sélection. Sixièmes Journées scientifiques du réseau Biotech.-Génie Génétique des plantes, Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF/UREF), Orsay. Sécheresse, 2 : 75- 83.
- **Benkaddour M. (2014).** Modification physiologique chez des plantes de blé (*Triticum durum* desf) exposées à un stress salin. Université badji Mokhtar, Annaba. Thèse de doctorat : 23-80-81p.
- **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.

Références bibliographiques.

- **Benlaribi M., Monneveux Ph. et Grignac P., (1990).** Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Agronomie* 10: 305-322.
- **Benmahammed, A. (2005).** Hétérosis, transgressions et efficacité de la sélection précoce et retardée de la biomasse, du nombre d'épis et utilisation des indices chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.). Thèse de Doctorat d'Etat en Biologie végétale, option, Génétique et Amélioration des plantes. Université de Constantine. 125p.
- **Benmahammed, A., Bouzerzour, H., Mekhlouf, A., et Benbelkacem, A. (2008).** Variation de la teneur relative en eau, l'intégrité cellulaire, la biomasse et l'efficacité d'utilisation de l'eau des variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L.) conduites sous contraintes hydrique. *Recherche Agronomique, INRA*, 21: 37-47.
- **Berka S et Aïd F. (2009).** Réponses physiologiques des plantes d'*Argania spinosa* L. Skeels soumis à un déficit hydrique édaphique. *Sécheresse*, vol 20, N°3 :296-302.
- **Bertthet J., (2006).** Dictionnaire de biologie. De Boeck et Larcier s. 1^{ère} édition. Edition de Boeck Université : 15-16.
- **Blokhina, O., Virolainen, E. and Fagerstedt, K.V., (2003).** Antioxidants, Oxidative Damage and Oxygen Deprivation Stress: a Review. *Annals of Botany* 91, 179-194.
- **Blum A, (1996).** Plant breeding for stress environments. CRC Press Inc Florida, USA;223p.
- **Blum, A., Ebercom, A. (1981).** Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. *Crop Sci*, 21 : 43-7.
- **Blum, A., et Pnuel, Y. (1990).** Physiological attributes associated with drought resistance of wheat cultivars in a mediterranean environment. *Aust. J. Agric. Res*, 41: 799-810.
- **Bonjean A., (2001).** Histoire de la culture des céréales et en particulier de celle du blé tendre. Dossier de l'environnement de l'INRA, n°21, pp. 29-37.
- **Bonjean A., (2001).** Histoire de la culture des céréales et en particulier de celle du blé tendre. Dossier de l'environnement de l'INRA, n°21, pp. 29-37.
- **Bouakez D et Hamadouche I., (2015).** Effet du stress hydrique au stade de germination sur la croissance de quelque génotype du blé dur (*Triticum durum* Desf.).Mémoire. Université Frères Mentouri.Constantine. P : 1-5-15-20-22-25.

Références bibliographiques.

- **Boufenar-Zaghouane F. et Zaghouane O., (2006).** Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine). 1 ère Edition. Institut techniques des grandes cultures ITGC- ICARDA, Alger. 154 p.
- **Boufenar-zaghouane F.et Zaghaoune O., (2006).** Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, l'orge et avoine). ITGC, ICARDA., Alger .154p.
- **BOULAHIA K. (2016).** Etude des conséquences au niveau biochimique, physiologique et moléculaire d'un traitement par un herbicide appartenant à la famille des s-triazines sur des plantules de haricot. thèse de Doctorat En Sciences Biologiques Spécialité p: 62.
- **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 -616p.
- **Bousba, R., Djekoun, A., Duraa, S., & Ykhlef, N. (2013).** Caractérisation moléculaire et association marqueur SSR phénotype pour la tolérance au stress hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). European Scientific Journal, 09 (12) : 1857–7881.
- **Bouzerzour, H., & Benmahammed, A. (1994).** Environmental factors limiting barley grain yield in the high plateau of eastern Algeria. Rachis, 7: 11-14.
- **Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Benkharbache, N., & Hassous, K. L. (2002).** Contribution de la sélection à l'amélioration et à la stabilité des rendements de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) dans l'étage bioclimatique semi-aride, Revue Recherche Agronomique de l'INRA, 10 : 45-58.
- **Bouzerzour, H., Djekoune, A., Benmahammed, A., & Hassous, L. (1998a).** Contribution de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte et de la précocité au rendement de l'orge en zone semi-aride d'altitude, Méthodes et techniques, Cahiers Agricultures, 07 : 307 -17.
- **Boyer, J.S., (1982).**Plant productivity and environment.Science 218: 443-448.
- **Bradford M.M. (1976).** A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry., 72: 248-254.

Références bibliographiques.

- **Brisson N., (2008).** Modéliser la réponse des cultures à la contrainte hydrique avec le modèle STICS pour comparer des stratégies et anticiper les changements climatiques. Note technique Agroclim INRA Avignon, pp :9-18.
- **Casals, M. L. (1996).** Introduction des mécanismes de résistance à la sécheresse dans un modèle dynamique de croissance et de développement du blé dur. Thèse de doctorat, Institut national agronomique de Paris-Grignon.
- **Charmet G., (2011).** Wheat domestication: lessons for the future. Comptes rendus biologiques, n° 334, pp. 212-220. 35.
- **Charmet G., Abécassis J., Bonny S., Fardet A., Forget F. et Pellerin L., 2017.** Agriculture et alimentation durables : Trois enjeux pour la filière céréales. Ed. Quae, 189 p.
- **Cherfia, R. (2010).** Etude de la variabilité morpho-physiologique et moléculaire d'une collection de blé dur algérien (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de Magister, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie et Ecologie. Université Mentouri, Constantine. 77p
- **Clarke, J. M. (1986).** Effect of leaf rolling in leaf water loss in *Triticum* spp. Can J Plant Sci 66: 885- 891.
- **Clarke, J. M., & McCaig, T. N. (1982).** Excised leaf water relation capability as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. Can.J. Plant Sci. V. 62: 571-577.
- **Clavel D, Drame NK, Zuily Fodily Y. (2005).** Adaptation à la sécheresse et création variétale : le cas de l'arachide en zone sahélienne : première partie. Revue bibliographie, OCL, vol 12, N°3: 248-260.
- **Clement-Grandcourt M. et Prats J., (1971).** Les céréales collections d'enseignement agricole 2^{ème} Ed, Ballier France.351p.
- **Clerget Y., (2011).** Biodiversité des céréales : Origine et évolution. Société d'Histoire Naturelle du Pays de Montbéliard, pp. 1-16.
- **Collinson, S., Clawson, E., Azam-Ali, S., & Black, C. (1997).** Effects of moisture deficits on the water relations of bambara groundnut (*Vigna subterranean* L. Verdc.). J Exp Bo ; 48 : 877-84.

Références bibliographiques.

- **Cooper, P. J. M., Keating, J. D. H., & Hughes, G. (1983).** Crop evapotranspiration - technique for calculation of its components by field measurements. *Field Crops Res*, 7: 299-312.
- **Davidson, D. J., et Chevalier, P. M. (1990).** Pre-anthesis tiller mortality in spring wheat. *Crop Sci*; 30 : 832-6.
- **Debiton C, (2010).** Identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum*L.) favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées isogéniques waxy. Thèse.Doct. Univ, Blaise Pascal.
- **Ding A. Sokolov L.N. & Kleczkowski L.A, (1989).**Sugar/osmoticum levels modulate differential abscisic acid independent expression of two stress-responsive sucrose synthesis genes in Arabidopsis. *Biochem J*. 344: 503 -509 p.
- **Donnars, C., Sarazin, M. (2007)** Les céréales jouent un rôle de premier plan dans l'équilibre alimentaire. *Alimentation - INRA N° 7*, p. 1 - 4.
- **Dorey S., Baillieul F., Saindrenan P., Fritige B., Kaufmann S. (1998).**Tobacco class I and II catalases are differentially expressed during elicitor-induced hypersensitive cell death and localized acquired resistance. *Molecular Plant-Microbe Interactions.*, 11: 1102-11090.
- **Dovrak J., (1998).** The origin of wheat chromosomes 4A and 4B and their genome reallocation *Triticum aestivum* L., *Can, Genet, Cytol*; 25: 210- 214.
- **El fakhri, M., Mahboub, S., Benchekroun, M., & Nsarellah, N. (2011).** Effet du stress hydrique sur la répartition ionique dans les feuilles et les racines du blé dur (*Triticum Durum*). *Nature & Technologie*, 05: 66-71.
- El fakhri, M., Mahboub, S., Benchekroun, M., & Nsarellah, N. (2011). Effet du stress hydrique sur la répartition ionique dans les feuilles et les racines du blé dur (*Triticum Durum*). *Nature & Technologie*, 05: 66-71.
- El Jaafari S, 1993. Contribution à l'étude des mécanismes biophysiques et biochimiques de résistance à la sécheresse chez le blé. Thèse de doctorat.Univ.Gembloux.Belgique: 214p.
- **Eliard JI., (1974).** Manuel d'agriculture générale. Bases de la production végétale. Ed. J.B. Bailliére. 344p.
- **Feillet P. (2000).** Le grain de blé composition et utilisation.1ère édition INRA.Paris, 303p.

Références bibliographiques.

- **Feillet P., (2000).** Le grain de blé : composition et utilisation. INRA. Paris.
- **Feitosa L.C., Cambraia J., OlivoCano M.A., Ruiz H.A. (2001).** Plant growth and solute accumulation and distribution in two sorghum genotypes under NaCl stress. *Brazilian Journal in Plant Physiology.*, 13: 270-284
- **Feldman M., (1976).** Taxonomic classification and names of wild, primitive, cultivated, and modern cultivated wheat. In : Simmonds N.W. (ed)., *Evolution of crop plants.* Longman, London, 120-128.
- **Ferryra R., Sellés G., Ruiz R.S. & Sellés I.M, (2004).** Effect of water stress induced at different growth stages on grapevine cv. Chardonnay on production and wine quality. *Acta Hort.*664: 233- 236p.
- **Flexas, J., Diaz-Espejo, A., Galmes, J., Kaldenhoff, R., Medrano, H. et Ribas-Carbo, M., (2007).** Rapid variations of mesophyll conductance in response to changes in CO₂ concentration around leaves. *Plant Cell Environ* 30: 1284-1298.
- **Foyer, C.H. and Noctor,G., (2005).** Oxidant and antioxidant signalling in plants: a reevaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. *Plant, Cell and Environment* 28: 1056-1071.
- **Gardés-Albert M., Bonnefont-Rousselot D., Abedinzadeh, Z.,Jore D., (2003).** Espèces réactives de l'oxygène. *L'actualité chimique.*91-96.
- **Gate P. Et Giban M., (2003).** Stade du blé . Edition ITCF, Paris 68p.
- **Gate P., (1995)** – Ecophysiologie du blé. Edition LONDRES TECET BOC paris.
- **Gate, P., Bouthier, A., Casabianca, H., & Deleens, E. (1993).** Caractères physiologiques décrivant la tolérance à la sécheresse des blés cultivés en France : interprétation des corrélations entre le rendement et la composition isotopique des grains. In : *Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale.* Colloque INRA-ENS AAGROPOLIS, Montpellier (France), à paraître (Colloque INRA n°64).
- **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*

Références bibliographiques.

- **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.
- **Gooding, M. J. (2009).** The wheat crop. In: Wheat chemistry and technology, Khan, K., Shewry P.R, eds. St.Paul, MN: AACCC International, 19-38.
- **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.
- **Grieu PH, Maury P, Debacke PH, Sarrafi A. (2008).** Améliorer la tolérance du tournesol : apports de l'écophysiologie et de la génétique. Innovation Agronomiques, N°2 :37- 51.
- **Harrath N., (2003).** Analyse génétique de l'intégrité cellulaire et de la vitesse de dessèchement foliaire chez le blé dur. Mémoire de magister. Institut des science de la nature, centre universitaire Larbi Ben Mhidi, OEM, 50P.
- **Hayek, T., Ben Salem, M., & Zid, E. (2005).** Mécanisme ou stratégie de résistance à la sécheresse: Cas du blé, de l'orge et du triticale. CIHEAM-IAMZ, Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens, 40: 287-290.
- **Hazmoune T., (2006).** Le semis profond comme palliatif à la sécheresse. Rôle du coléoptile dans la levée et conséquences sur les composantes du rendement. Thèse docteur d'état. Univ Constantine ; 168p.
- **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.
- **Henkrar F., (2017).** L'application des marqueurs moléculaires dans l'amélioration génétique du blé marocain : diversité, caractérisation génétique et sélection assistée par marqueurs des gènes de résistance à la rouille, semi-nanisme et qualité boulangère. Thèse de doctorat. Faculté des sciences, Université Mohamed V- Rabat, 229 p.
- **Hikosaka W., (2006).** les relations hydriques dans la plante entière. In: Physiologie végétale. Ed. De book &Larcier. Bruxelles. 44-58p.
- **Hopkins, W. G. (2003).** Physiologie végétale. 2ème édition. De Boeck, Bruscelles: 61-476.

Références bibliographiques.

- **Hopkins. (2003)** Physiologie végétale. Editions de Boeck. Université rue des minimes, Bruxelles : 451-452-453-459-460-464-466-449-464 p.
- **Jones, H.G. et Jones, M.B., (1989).** Introduction : Some terminology and common mechanisms . In Plants Under Stress. Cambridge UK. Cambridge University Press. 1-10.
- **Kaiser, W. M. (1987).** Effect of water deficit on photosynthetic capacity. *Physiol. Plant*, 71, 142-149.
- **Le Stum H., Bonjean A., Bouquery J-M., Mathieu J., Ruch O. et Valluis B.,(2017).** Le blé. Ed. France Agricole, 269 p. Le Stum H., Bonjean A., Bouquery J-M., Mathieu J., Ruch O. et Valluis B., 2017. Le blé. Ed. France Agricole, 269 p.
- **Lebon E., Pellegrino A. Tardieu F. &Lecoeur J, (2004).** Shoot development ingrapevine is affected by the modular branching pattern of the stem and intra and inter-shoot trophic competition. *Annals of Botany*. 93 : 263 -274 p.
- **Levitt J., (1980).**reponses of plant to environmental stress. Vol, 2 acadimie press,new york.697p.
- **Llily F.Gaspar Th.Van Cutsem P, (1994).** Acetyl- and methylesterification of pectins of friable and compact sugarbeet calli : consequences for intercellular adhesion. *Planta* 192:545-556p.
- **Luna C.M., Gonzalez C.A., Trippi V.S. (1994).** Oxidative damage caused by an excess of copper in dat leaves. *Plant and Cell Physiology.*, 35: 11-15.
- **Madhavarao K., Raghavendra ., Janardhan K., (2006).** Printed in the Netherlands. *Physiology and Molecular Biologie of stress Tolerance in plants* Springer 1-14p.
- **Madrap, (2017).**<http://madrp.gov.dz/>.

Annexes

Annexe 1 : Equipement et produits de laboratoire

Verrerie et Petit Matériel	Appareils	Solution et produit
-Bicher	-Centrifugeuse	-Eau distillée stérilisée
-Boite pétri	-Congélateur	-Tris HCL
-Tube Eppandof	-La hôte	- Bleu de CoomassieG250.
-Eprouvette graduée.	-Agitateur	- Ethanol
-Entonnoir verre	- ph mètre	- d'acide phosphorique
-Fiole verre	-Balance	-Fructose
-Micropipette	-Spectrophotomètre	-Sucrose
-Macro pipette	-Etuve	- β-mercaptoéthanol
-Papier absorbant	-Appareil à glace	-Potassiumphosphate monobasique (KH ₂ PO ₄)
- papier filtre	-Etallomage (pH) basique-	-
- Papier aluminium	Agitateur balance	
-Ciseau	- Réfrigérateur	
-Pince	-broyeur à bille	
- Barreaux magnétiques.	-vortex	
-cuvette (en plastique et		
-Pot		

Annexe 02 :

La capacité de rétention

Un pot en plastique perforé à la base a été rempli ($P1=4\text{kg}$) de sol, ensuite une saturation avec l'eau de robinet tout en couvrant le pot à l'aide d'un papier aluminium pour éviter l'évaporation de l'eau.

Après 24h (le temps indispensable à l'élimination de l'eau de gravitation) le pot est pesé de nouveau ($P2=4,86\text{Kg}$). La différence entre $P1$ et $P2$ est la quantité d'eau retenue par le sol et déterminé par l'équation suivante :

$$CR=P2-P1$$

Avec :

CR = la capacité de rétention.

P1 = le poids avant saturation.

P2 = le poids après saturation.



Annexe 03 :

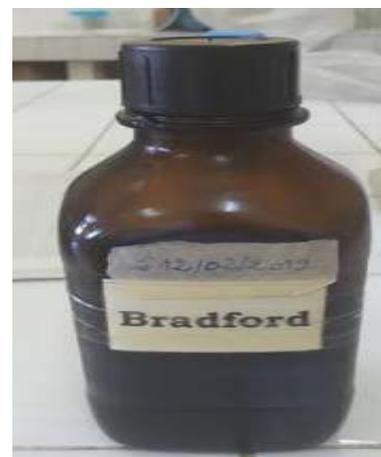
Tampon d'extraction de protéines foliaire :

Pour 200ml PH= 8.01	
-Tris Hcl 0.1 M	- 2.42 g
-Sucrose 10%	-
- β -mercaptoéthanol à 0.05%	- 0.1 ml
-eau distillée	- compléter jusqu'à 200 ml

Annexe 04

Réactif d de Bradford (1976) :

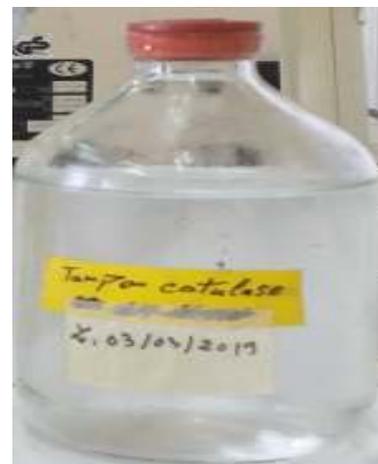
Pour 1000ml	
- Bleu de CoomassieG250.	-100mg
- Ethanol à95%.	-50 ml.
- d'acide phosphorique à85%.	-100ml.
-Eau distillé.	Compléter jusqu'à 1000 ml.



Annexe 05

Tampon de la catalase

Pour 600 ml ph=7.5	
-Potassium phosphate monobasique (KH ₂ PO ₄) 136.09 M	4.08g
- Potassium phosphate dibasique (K ₂ HPO ₄) 174.2M	5.22g
-Eau distillé	- Compléter jusqu'à 600 ml



Annexe 06 : Analyses statistiques

Tableau 01 :

A- valeurs moyennes des géotypes

hauteur (cm)					
	Ain abid	L1	L2	L3	L4
témoin	11,88	20,88	20,1	19,9	20,38
SH	8,4	12,12	11,48	11,2	13,48

B- analyse de variance

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P	signification	CV%
Bloc	2	10.13	5.06	9.13			4.7
Régime hydrique	1	377.36	377.36	679.84	0.01	**	
Résiduel	2	1.11	0.55	0.15			
Géotype	4	155.26	38.81	10.16	<.001	***	
Régime hydrique*géotype	4	43.48	10.87	2.84	0.05	*	
Résiduelle	16	61.14	3.82				
Totale	29	648.50					

Tableau 02

A- valeurs moyennes des génotypes

SF (cm ²)						
	Ain abid	L1	L2	L3	L4	
témoin	17,07	11,3	15,34	13,52	14,25	
SH	8,73	9,37	11,59	12,39	10,83	

B- analyse de variance

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P	signification	CV%
Bloc	2	3.41	1.705	0.26			3.3
Régime hydrique	1	101.79	101.79	15.41	0.05	*	
Résiduel	2	13.20	6.60	0.92			
Génotype	4	36.18	9.04	1.26	0.32	NS	
Régime hydrique*génotype	4	45.12	11.28	1.57	0.23	NS	
Résiduelle	16	115.05	7.19				
Totale	29	314.77					

Tableau 03 :

A- valeurs moyennes des génotypes :

BIOMASSE						
	Ain abid	L1	L2	L3	L4	
témoin	0,507	0,83	0,91	0,853	0,837	
SH	0,283	0,32	0,513	0,523	0,48	

B- analyse de variance :

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P	Signification	CV%
Bloc	2	0.04	0.02	1.26			7.4
régime hydrique	1	0.78	0.78	45.74	0.021	*	
Résiduel	2	0.03	0.017	0.59			
Génotype	4	0.19	0.048	1.66	0.209	NS	
Régime hydrique*génotype	4	0.19	0.049	1.70	0.200	NS	
Résiduelle	16	0.46	0.029				

Tableau 04 :**A- valeurs moyennes des génotypes :**

précocité à l'épiaison (J)						
	Ain abid	L1	L2	L3	L4	
SH	93,3	80	79,7	82,3	80,3	

B-analyse de variance :

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P	signification	CV%
Bloc	2	58.53	29.27	1.23			2.9
Génotype	4	403.07	100.77	4.24	0.03	*	
Résiduelle	8	190.13	23.77				
Totale	14	651.73					

Tableau 05**A- valeurs moyennes des génotypes :**

CHL					
	Ain abid	L1	L2	L3	L4
témoin	34,5	34,63	33,27	31,83	37,53
SH	35,6	35,7	36,87	37,27	35,63

B-analyse de variance :

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P	signification	CV%
bloc	2	18.36	9.18	1.23			2.7
Régime hydrique	1	17.63	17.63	2.36	0.26	NS	
résiduel	2	14.96	7.48	1.03	0.62	NS	
génotype	4	19.54	4.88	0.67	0.17	NS	
Régime hydrique*génotype	4	53.63	13.40	1.84			
Résiduelle	16	116.58	7.2				
Totale	29	240.72					

Tableau 06

A- valeurs moyennes des génotypes :

TRE %					
	Ain abid	L1	L2	L3	L4
témoin	89,15	87,51	75,41	84,97	88,45
SH	76,32	68,94	63,73	59,82	80,07

B- analyse de variance :

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P	signification	CV%
bloc	2	31.23	15.62	0.11			1.6
Régime hydrique	1	1411.04	1411.04	9.62	0.09	NS	
résiduel	2	293.22	146.61	1.61			
génotype	4	1308.10	327.02	3.60	0.02	*	
Régime hydrique*génotype	4	399.23	99.81	1.1	0.39	NS	
Résiduelle	16	1452.78	90.80				
Totale	29	4895.61					

Tableau 07

A- valeurs moyennes des génotypes :

teneur en protéines soluble foliaire					
	Ain abid	L1	L2	L3	L4
témoin	2,71	4,89	3,25	4,28	8,6
SH	6,35	6,53	5,92	4,1	5,53

B-analyse de variance :

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P	signification	CV%
Bloc	2	30.30	15.15	2.56			23.6
Régime hydrique	1	6.65	6.65	1.13	0.4	NS	
Résiduel	2	11.83	5.91	1.13			
Génotype	4	33.46	8.36	1.6	0.22	NS	
Régime hydrique*génotype	4	54.18	10.54	2.02	0.14	NS	
Résiduelle	16	83.56	5.22				
Totale	29	208.01					

Tableau 08

A- valeurs moyennes des génotypes :

La catalase					
	Ain abid	L1	L2	L3	L4
témoin	9,7	9,18	10,13	1,75	2,48
sh	11,57	6,84	16,64	47,69	29,46

B-analyse de variance :

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P	signification	CV%
Bloc	2	438.0	219.0	2.11			32.2
Régime hydrique	1	1870.3	1870.3	180.2	0.05	*	
Résiduel	2	207.6	103.8	0.29			
Génotype	4	988.7	247.2	0.68	0.61	NS	
Régime hydrique*génotype	4	2464.7	616.2	1.69	0.21	NS	
Résiduelle	12	4362.9	363.6				
Totale	25	9379.6					

Avec :

- **P=0.001** Effet variable très hautement significatif (***).
- **P=0.01** Effet variable hautement significatif (**).
- **P=0.05** Effet variable significatif (*).
- **P>0.05** Effet variable non significatif (NS).

On a considéré le coefficient de variation (CV) qui représente l'erreur, il est exprimé en pourcentage de la moyenne comme suit :

- **Faible** : $CV = 10\%$.
- **Moyen** : $10\% = CV = 20\%$.
- **Elevé** : $20\% = CV = 40\%$.